

# FORSCHUNGSBERICHT AGRARTECHNIK

des Arbeitskreises Forschung und Lehre der

Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI MEG) **335**

Andreas Herrmann

## **Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei unter- schiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen**

Habilitation  
1999

Halle (Saale)



Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei  
unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen

Der Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Martin-Luther-Universität

Halle-Wittenberg

als

Habilitationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor agriculturarum habilitatus (Dr. agr. habil.)

vorgelegt von

Dr. Andreas Herrmann

geb. am 03. Dezember 1960  
Neustadt (Orla)

Gutachter: Prof. Dr. habil. W. Büscher (Halle)  
Prof. Dr. habil. J. Hahn (Berlin)  
Prof. Dr. habil. H. Seufert (Gießen)

Verteidigung: 11. Januar 1999

Halle/Saale 1999

## Impressum

Copyright: im Selbstverlag (1999)

Bezugsquelle: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Institut für Agrartechnik und Landeskultur  
Ludwig-Wucherer-Str. 81  
06108 Halle (Saale)

Kurzbezeichnung  
der Universitätsbibliothek: Ha4

Druck: copy-blitz  
Dokumenten-Management GmbH  
Weinbergweg 22  
06120 Halle (Saale)

Alle Rechte, auch die der Übersetzung und des Nachdruckes sowie jeder Art der photomechanischen Wiedergabe, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten.

## Inhaltsverzeichnis

0	Formelzeichen und Maßeinheiten	8
1	Problem- und Aufgabenstellung	11
2	Kenntnisstand: Grundsätze, Begriffe, Systematik	14
2.1	Allgemeines	14
2.2	Bewertung	15
2.3	Prozeß-, Verfahrens- und Maschineneinheiten	17
2.4	Verfahrenstechnische Leistung	19
2.5	Zeitgliederung	22
2.5.1	Zeit als Kriterienbestandteil	22
2.5.2	Entwicklung der Zeitgliederung für die Landwirtschaft in Deutschland	23
2.6	Schlagparameter als Einflußgrößen für verfahrenstechnische Kriterien	26
2.7	Maschinenausnutzung und Maschinenauslastung	29
2.8	Systematik transportverbundener Arbeitsverfahren	29
2.9	Systematik der Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport	32
3	Material und Methoden	36
3.1	Untersuchungen in den Ernte-, Umschlag- und Transportarbeitsgängen	36
3.1.1	Überblick	36
3.1.2	Kriterien, Einflußgrößen und Primärdaten	38
3.1.3	Bestimmung der Primärdaten	39
3.2	Zeitgliederungsschema	41
4.	Ergebnisse	43
4.1	Kosten der Arbeitserledigung	43
4.1.1	Modellgrundlagen	43
4.1.2	Festkosten $K_F$	47
4.1.3	Reparaturkosten $K_R$	49
4.1.4	Kosten für Dieselkraftstoff $K_{DK}$	50
4.1.5	Kosten für Hilfsmaterial $K_H$	51
4.1.6	Arbeitskosten $K_{AK}$	52

4.2	Verfahrenstechnische Leistung	52
4.2.1	Modellgrundlagen	52
4.2.2	Arbeitsgang Ernte	54
4.2.2.1	Modell auf der Basis Grundzeit $T_1$	54
4.2.2.2	Modell auf der Basis Operativzeit $T_{02}$	58
4.2.2.3	Modell auf der Basis Gesamtarbeitszeit $T_{08}$	60
4.2.3	Arbeitsgang Transport	64
4.2.3.1	Modell auf der Basis Operativzeit $T_{02}$	64
4.2.3.2	Modell auf der Basis Gesamtarbeitszeit $T_{08}$	66
4.2.4	Verknüpfung von Ernte und Transport	68
4.2.4.1	Grundlagen	68
4.2.4.2	Parallelverfahren	
4.2.4.3	Absätziges Verfahren	73
4.2.4.4	Bedingt absätziges Verfahren	75
4.3	Simulation von Beispielf Verfahren	81
4.3.1	Allgemeines	81
4.3.2	Parallelverfahren: Schlüsselmaschine Feldhäcksler	81
4.3.2.1	Charakteristik des Verfahrens	81
4.3.2.2	Einflußgrößen-Leistung-Zusammenhänge	83
4.3.2.3	Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien	85
4.3.2.3.1	Ertrag, Schwadabstand, Schwadmasse	85
4.3.2.3.2	Schlaglänge	88
4.3.2.3.3	Lademasse und Transportgeschwindigkeit	89
4.3.2.3.4	Schlaggröße	92
4.3.2.3.5	Transporteinheitenanzahl	95
4.3.2.3.6	Transportentfernung	98
4.3.3	Absätziges Verfahren: Schlüsselmaschine Quaderballenpresse	100
4.3.3.1	Charakteristik der Verfahren	100
4.3.3.2	Einflußgrößen-Leistung-Zusammenhänge	103
4.3.3.3	Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien	106
4.3.3.3.1	Ertrag, Schwadabstand, Schwadmasse	106

4.3.3.3.2	Schlaggröße	109
4.3.3.3.3	Transportentfernung	112
4.3.3.3.4	Jährliche Erntefläche	124
4.3.4	Bedingt absätziges Verfahren	127
4.3.4.1	Charakteristik der Verfahren	127
4.3.4.2	Einordnung in die Systematik	128
4.3.4.3	Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien	129
4.3.4.3.1	Schlaglänge	129
4.3.4.3.2	Jährliche Erntefläche	135
5	Diskussion	137
5.1	Versuchsdurchführung	137
5.2	Zeitgliederung	141
5.3	Verknüpfung zwischen Ernte und Transport	144
5.4	Modellkritik	147
5.4.1	Kostenmodell	147
5.4.2	Leistungsmodell	151
5.5	Anwendbarkeit und Weiterentwicklungsmöglichkeiten	154
6	Zusammenfassung	157
7	Literatur	159
	Verzeichnis der Abbildungen	168
	Verzeichnis der Tabellen	171
	Anlagen	



## 0 Formelzeichen und Maßeinheiten

Formelzeichen	Maßeinheit	Erläuterung
$a$	-	Regressionskonstante für Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie
$A_a$	ha/a	jährliche Erntefläche
$A_{\text{Netz/RB}}$	m <sup>2</sup> /RB	Netzfläche je Rundballen
$AP$	DM	Anschaffungspreis
$A_{\text{usn}}$	h/a	jährliche Ausnutzung
$A_{\text{usn}_R}$	h/a	Ausnutzungsbasis für Reparatur
$\dot{A}_{T_i}$	ha/h	Flächenleistung in einer Zeitsumme $T_i$
$b$	-	Regressionskoeffizient für Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie
$b_{\text{eff}}$	m	effektive Arbeitsbreite
$b_1$	km	Schlagbreite
$c$	-	Regressionskonstante für Bindezeitfunktion
$d$	-	Regressionskoeffizient für Bindezeitfunktion
$d_\pi$	m	Durchmesser eines Rundballens
$h_{\text{RB}}$	m	Höhe eines Rundballens
$k_{\text{Ausl}}$	-	Motorauslastungskoeffizient
$k_{T_{02}/T_{08}}$	-	Koeffizient zur Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung $\dot{m}_{T_{08}}$ auf der Grundlage von $\dot{m}_{T_{02}}$
$k_4$	-	Koeffizient zur Kalkulation der $T_4$ auf der Grundlage der $T_{02}$
$k_5$	-	Koeffizient zur Kalkulation der $T_5$ auf der Grundlage der $T_{04}$
$k_R$	-	Reparaturkoeffizient
$K_{\text{AE}}$	DM/t	Kosten der Arbeiterledigung
$K_A$	DM/t	Abschreibungskosten
$K_Z$	DM/t	Zinskosten
$K_F$	DM/t	Festkosten
$K_R$	DM/t	Reparaturkosten
$K_{\text{DK}}$	DM/t	Kosten für Dieselmotorkraftstoff
$K_H$	DM/t	Kosten für Hilfsmaterial
$K_{\text{AK}}$	DM/t	Arbeitskosten
$h_{\text{QB}}$	m	Höhe eines Quaderballens
Lauflänge	m/kg	Lauflänge des Bindegarns
Lohnans	DM/h	Lohnansatz (incl. Lohnnebenkosten)
$l_{\text{Gam/GB}}$	m/GB	Länge des Bindegarns je Großballen
$l_{\text{Gam/QB}}$	m/QB	Länge des Bindegarns je Quaderballen
$l_{\text{Gam/RB}}$	m/RB	Länge des Bindegarns je Rundballen
$l_{\text{QB}}$	m	Länge eines Quaderballens

$\dot{m}_{T_i}$	t/h	Masseleistung einer Zeitsumme $T_i$
$\dot{m}_{T_1}$	t/h	Masseleistung in der Grundzeit $T_1$ (= technologischer Durchsatz)
$\dot{m}_{T_{1max}}$	t/h	maximale Masseleistung in der Grundzeit $T_1$ (= maximaler technologischer Durchsatz)
$\dot{m}_{T_{11}}$	t/h	Masseleistung in der Preßzeit $T_{11}$ (bei Rundballenpressen)
$\dot{m}_{T_{02}}$	t/h	Masseleistung in der Operativzeit $T_{02}$
$\dot{m}_{T_{025}}$	t/h	Masseleistung in der erweiterten Operativzeit $T_{025}$
$\dot{m}_{T_{02UB(E)}}$	t/h	Masseleistung eines Umschlagmittels für die Beladung (Entladung) in der Operativzeit $T_{02}$
$\dot{m}_{T_{08R}}$	t/h	Leistungsbasis für Reparatur
$\dot{m}_{T_{08}}$	t/h	Masseleistung in der Gesamtarbeitszeit $T_{08}$
$m_A$	t/ha	erntbarer Ertrag
$m_B$	t/Bunker	Kornmasse in einem Mähdrescherbunker
$\dot{m}_B$	t/h	Abbunkerleistung eines Mähdreschers
$m_S$	kg/m; t/km	Schwadmasse
$m_d$	t/d	geerntete Masse je Tag
$m_{GB}$	t/GB	Masse eines Großballens
$m_{RB}$	t/RB	Masse eines Rundballens
$m_L$	t/TE	Lademasse einer Transporteinheit
$\dot{m}_{LU}$	t/h	Entladeleistung eines Überladewagens
$m_{LU}$	t/TE	Lademasse eines Überladewagens
$m_{T_i}$	t	realisierte Masse in einer Zeitebene
ND	a	Nutzungsdauer
$n_A$	-	Anzahl Schläge, die an einem Tag geerntet werden
$n_B$	-	Anzahl Bindungen je Quaderballen
$n_L$	-	Anzahl Transportumläufe je Transporteinheit und Tag
$n_E$	-	Anzahl Erntemaschinen
$n_{TE}$	-	Anzahl Transporteinheiten
$n_{TEK}$	-	kritische Transporteinheitenanzahl
$n_U$	-	Anzahl Überladewagen
$n_W$	-	Wicklungszahl bei Rundballen
$n_{RB}$	-	Anzahl Rundballen je Schwad
$\dot{n}_{T_i}$	Stück/h	Stückleistung in einer Zeitsumme $T_i$
P	kW	physikalische Leistung
$P_{nenn}$	kW	Motornennleistung
Preis <sub>DK</sub>	DM/l	Preis für Dieselkraftstoff
Preis <sub>Garn</sub>	DM/kg	Preis des Bindegarn
Preis <sub>Netz</sub>	DM/m <sup>2</sup>	Netzpreis für Rundballen
$s_1$	km	Schlaglänge
$s_{611}$	km	Entfernung vom Standort zum Arbeitsort
$s_{612}$	km	Entfernung vom Arbeitsort zum Standort
$s_{62}$	km	durchschnittliche Entfernung zwischen verschiedenen Arbeitsorten
$s_T$	km	Transportentfernung

T	h	Zeit
$T_a$	h/a	jährliche Einsatzzeit
$T_d$	d	Kampagneeinsatztage einer Maschine
$T_1$	h	Grundzeit (KTBL: Hauptzeit)
$T_{21}$	h	Wendezeit
$T_{25}$	h	zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit
$T_3$	h	Zeit für Pflege und Wartung (Rüstzeit)
$T_4$	h	Zeit für die Beseitigung von Störungen
$T_5$	h	Erholungszeit (Zeit für Kurzpausen)
$T_{61}$	h	Zeit für die Fahrt vom Standort zum Arbeitsort und umgekehrt
$T_{62}$	h	Zeit für die Fahrt zwischen verschiedenen Arbeitsorten
$T_8$	h	sonstige Verlustzeiten
$T_{02}$	h	Operativzeit (KTBL: Grundzeit)
$T_{025}$	h	erweiterte Operativzeit
$T_{04}$	h	Produktionsarbeitszeit (KTBL: Ausführungszeit)
$T_{05}$	h	Feldarbeitszeit
$T_{08}$	h	tägliche Gesamtarbeitszeit (KTBL: Gesamtarbeitszeit)
$T_i$	h	Zeitebene
$T_U$	h/Umlauf	Umlauf- oder Zykluszeit beim Transport
$t_{11}$	h/Schwad	Zeit zum Ernten eines Schwades
$t_{12}$	h/RB	Zeit zum Binden und Ausstoßen eines Rundballens
$t_{21}$	h/Wendung	Zeit je Wendung
$t_{24F}$	h/Umlauf	Fahrtzeit des Überladewagens zwischen den Mähdreschern
$t_{243}$	h/Umlauf	Hilfszeit beim Entladen des Überladewagens
$t_{25}$	h/Bezugsgröße	zyklischeverfahrensbedingte Verlustzeit (in Abhängigkeit vom Arbeitsgang und Kalkulationsziel werden unterschiedliche Bezugsgrößen unterstellt)
$t_B$	h/TE	Zeit je Beladevorgang
$t_E$	h/TE	Zeit je Entladevorgang
$t_F$	h/TE	Zeit für Feldfahrt
v	km/h	Arbeitsgeschwindigkeit
$v_{max}$	km/h	maximale Arbeitsgeschwindigkeit
$v_T$	km/h	Geschwindigkeit beim Transport
$\dot{V}_{PT1}$	l/kWh	spezifischer Dieselverbrauch in der Grundzeit $T_1$
$\dot{V}_{DKT1}$	l/h	Dieselverbrauch in der Grundzeit $T_1$
$\dot{V}_{DKT08}$	l/h	Dieselverbrauch in der Gesamtarbeitszeit $T_{08}$
$\dot{V}_{Ti}$	m <sup>3</sup> /h	Volumenleistung in einer Zeitsumme $T_i$
W	kWh	physikalische Arbeit
Zinssatz	-	Zinssatz



## 1 Problem- und Aufgabenstellung

Ernte-, Transport- und Umschlagarbeitsgänge bilden in ihrer unterschiedlichsten Gestaltung und Kombination eine fast unüberschaubare Anzahl von Arbeitsverfahren in der Landwirtschaft. Sie treten prinzipiell beim Anbau aller pflanzlichen Produkte auf. In Abhängigkeit von der Pflanzenart und von der Verwertungsrichtung der Produkte kann sich die Gestaltung der Arbeitsgänge stark voneinander unterscheiden. So kommen unterschiedliche Maschinen und Geräte zum Einsatz, und die Anforderungen an die Anzahl der Arbeitskräfte und ihre Qualifizierung sind sehr verschieden. Nicht zuletzt stellen sich verfahrenstechnische Kriterien in den einzelnen Arbeitsgängen sehr differenziert dar. Ernte-, Transport- und Umschlagarbeitsgänge sind auf die unterschiedlichste Art und Weise miteinander verknüpft, was wiederum große Auswirkungen auf die Größenordnung der Kriterien besitzt. Die Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und Kriterien sowie auftretende Wechselwirkungen sind in einigen Bereichen noch weitestgehend ungeklärt. Diese Zusammenhänge sind in ihrer Allgemeingültigkeit und in ihrer Verfahrensspezifität tiefgründiger zu analysieren und zu quantifizieren.

Trotz aller Verschiedenheit der Verfahrensgestaltung und der Verknüpfung der Arbeitsgänge sollen Einteilungsprinzipien entwickelt werden, nach denen die Arbeitsverfahren strukturiert werden können. Auf der Grundlage dieser zu entwickelnden Systematik werden für einige verfahrenstechnische Kriterien Modelle formuliert. Dabei geht es nicht um eine zuverlässige und allgemeingültige Methode der Verfahrensbewertung, da diese neben Aussagen zur Wirtschaftlichkeit z.B. auch qualitative Aspekte des Technikeinsatzes berücksichtigen sollte (MÜLLER und PROCHNOW 1996). Die Modellentwicklung ist vielmehr auf folgende Kriterien eingeschränkt:

- verfahrenstechnische Leistung,
- Arbeitszeit- und Arbeitskräftebedarf,
- jährliche Einsatzzeit und
- Kosten der Arbeitserledigung.

Damit kann allenfalls von einer relativ niedrigen Hierarchieebene der Bewertung gesprochen werden (HAHN 1991).

Die Habilitationsschrift hat nicht die Verfahrens- oder Technikbewertung an sich zum Gegenstand. Die Bewertung bildet lediglich den Rahmen für das eigentliche Anliegen, das darin besteht, die genannten Kriterien einer umfassenden Analyse zu unterziehen. Es soll der Zusammenhang zwischen relevanten Einflußgrößen und den Kriterien weitestgehend allgemeingültig dargestellt werden. Damit soll eine Voraussetzung geschaffen werden, verfahrenstechnische Bewertung noch effizienter zu gestalten.

Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die Beschreibung der Dynamik des Leistungsverhaltens von Maschinen in Abhängigkeit von den Einflußgrößen gelegt. Damit entsteht die Voraussetzung, die Maschinenauslastung in die Betrachtungen zu den Kosten der Arbeitserledigung mit einzubeziehen. Der Anwendung eines statischen Leistungswertes (Leistungsmittelwert) als Grundlage für die Darstellung der Kosten der Arbeitserledigung ist als neuer methodischer Ansatz die modellierte verfahrenstechnische Leistung eines Mechanisierungsmittels unter konkreten Einsatzbedingungen gegenüberzustellen. Mit dieser Methode sollen sich stark differierende Einsatzbedingungen besser in den Kosten der Arbeitserledigung widerspiegeln.

Einen zweiten Schwerpunkt wird die Auswirkung der Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen den Ernte- und Transportarbeitsgängen auf die Kosten der Arbeitserledigung darstellen. Im Gegensatz zur Analyse der Arbeitsgänge, bei der die verfahrenstechnische Leistung das Hauptkriterium der Betrachtungen ist, wird bei der Untersuchung der Verknüpfungsmöglichkeiten der Arbeitszeitbedarf das zentrale Kriterium sein. Beim Arbeitszeitbedarf sind im Gegensatz zur Leistung die Kriterienwerte mehrerer Arbeitsgänge addierbar.

Grundlage für die Erstellung der Algorithmen ist ein detailliertes Zeitgliederungsschema, das auf dem ehemaligen DDR-Standard (TGL 22289) beruht und an die Erfordernisse der Modelle angepaßt wird (ANONYM 1974). Zahlreiche eigene Untersuchungen in Praxisbetrieben dienen zur Überprüfung von Hypothesen, zum Aufstellen neuer Algorithmen und zur Untersetzung und Überprüfung der Modellansätze mit Praxisdaten. Auch hier war das Zeitgliederungsschema ein unerläßliches methodisches Instrument.

Wie mit dem Leistungs- und Kostenmodell Fragestellungen aus verfahrenstechnischer

Sicht bearbeitet werden können, soll mit Hilfe praktischer Beispiele dargestellt werden. Dafür werden drei Arbeitsverfahren ausgewählt, die sich durch unterschiedliche und charakteristische Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport auszeichnen.

Das zu erstellende methodische Instrumentarium soll für folgende praktische Problemkreise unterstützende Aussagen liefern:

- strategische Verfahrensausrichtung eines Betriebes und Verfahrensgestaltung bei konkreten Einsatzbedingungen (Einsatzbedingungen = Betriebsgröße, Schlaggrößen, Anbaugestaltung, Transportentfernungen u.a.),
- Gestaltung der Einsatzbedingungen für konkrete Mechanisierungsstrategien unter der Option niedriger Kosten und
- verfahrenstechnische Prognosen für die Landmaschinenindustrie im Rahmen der Vorentwicklung neuer Maschinen und Verfahren.

Im zu erstellenden Leistungs- und Kostenmodell sollen folgende verfahrenstechnische Teilprobleme besondere Beachtung finden:

- stochastischer Zusammenhang zwischen Ertrag, Arbeitsbreite, Schwadmasse und technologischem Durchsatz (vgl. Abschnitte 4.2.2.1, 4.3.2.3.1 und 4.3.3.3.1),
- Auswirkung einer komplexen Einflußgrößenkonstellation auf die verfahrenstechnische Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  (vgl. Abschnitt 4.2.2.3)
- Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen der Leistung bei der Ernte und der Leistung beim Transport (vgl. Abschnitt 4.2.4),
- Quantifizierung zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten in Parallelverfahren und bedingt absätzigen Verfahren (vgl. Abschnitt 4.2.4),
- Anwendbarkeit der Methode für den Komplexeinsatz (vgl. Abschnitt 4.2.4) und
- Auswirkung der aktuellen Leistung auf die Kosten der Arbeitserledigung (vgl. Abschnitt 4.1).

Schlußfolgerungen für die praktische Verwertung des zu erstellenden Modells und für die weitere wissenschaftliche Bearbeitung des Themenkreises runden die Abhandlung ab.

## 2 Kenntnisstand: Grundsätze, Begriffe, Systematik

### 2.1 Allgemeines

Die Definition von Begriffen und die Systematisierung von Gegenständen eines Wissenschaftsgebietes stellen die Grundlage für das wissenschaftliche Arbeiten und für die Verständigung unter Wissenschaftlern dar.

Der Bezeichnung des Wissenschaftsgebietes **Verfahrenstechnik** soll der Begriff **Technologie**, wie er in der Zeit vor der Wiedervereinigung in Ostdeutschland verwendet wurde, als inhaltsgleich gegenübergestellt werden. Eine grundsätzliche Auseinandersetzung mit dem Verfahrenstechnik- oder Technologiebegriff soll an dieser Stelle jedoch nicht geführt werden. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang lediglich auf THURM (1970) und MÜLLER (1989). In diesen beiden Quellen finden sich zahlreiche Literaturhinweise zur Definition des Technologiebegriffes und zur historischen Entwicklung des Wissenschaftsgebietes.

Über die Entwicklung der Technologie schreibt THURM (1970) treffend und in aller Kürze:

“ Die Technologie hat sich von einer beschreibenden zu einer systematischen Disziplin entwickelt, deren Aufgabe darin besteht, die Gesetzmäßigkeiten produktionstechnischer Vorgänge zu ermitteln und nutzbar zu machen.”

Mit dem Selbstverständnis des Fachgebietes Technologie setzt sich auch sehr umfassend HOFMANN (1965) auseinander. Er zeigt auf, wie unterschiedlich die Begriffsbestimmung sowie der Gegenstand und die Methoden des Fachgebietes von der Fachwelt definiert werden. Auch heute mangelt es der Verfahrenstechnik noch an wissenschaftlichem Selbstverständnis, mit dem sie sich im Ensemble der agrarwissenschaftlichen und technischen Fachdisziplinen als eigenständiges, klar definiertes und abgegrenztes Wissenschaftsgebiet darzustellen vermag. Das Problem wird zunehmend von den Verfahrenstechnikern in der Landwirtschaft erkannt. Eine neue Standpunktsuche wird daher gegenwärtig vorgenommen (SCHÖN 1997, SOMMER und SCHÖN 1997).

Als systematische Disziplin erhebt die Verfahrenstechnik den Anspruch einer Wissenschaftsdisziplin. Im folgenden soll diesem Anspruch dadurch Rechnung getragen werden, daß grundlegende Begriffe definiert und Probleme im Sinne der Aufgabenstellung strukturiert vorgestellt werden sollen.

## 2.2 Bewertung

Die **Bewertung** von Verfahren war schon immer ein wichtiges Anliegen der agrartechnischen Forschung und Prüfung (MÜLLER und PROCHNOW 1996). Standen anfänglich nahezu ausschließlich Fragen der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund, finden heute eine Vielzahl von Kriterien bei der Bewertung Berücksichtigung. Sie lassen sich in Kriterienkomplexen (MÜLLER 1989: Kriterienkomplexe = Bewertungskriterien; VDI-Richtlinie 3780: Kriterienkomplexe = Werte im technischen Handeln) zusammenfassen (Tab. 1). LÜTH (1982) unternahm den Versuch, Begriffe, die im Zusammenhang mit der Bewertung von Bedeutung sind, zu definieren.

Im Sinne der VDI-Richtlinie 3780 (ANONYM 1991a) handelt es sich bei der Technikbewertung um "das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das

- den Stand einer Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert,
- unmittelbare und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und mögliche Alternativen abschätzt,
- aufgrund definierter Ziele und Werte diese Folgen beurteilt oder auch weitere wünschenswerte Entwicklungen fordert,
- Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten daraus herleitet und ausarbeitet,

so daß begründete Entscheidungen ermöglicht ... werden können." Eine Auseinandersetzung mit dem Begriff Technikbewertung und die Abgrenzung zur Technikfolgeabschätzung erfolgt in den Erläuterungen zur VDI-Richtlinie 3780 (ANONYM 1991b).

Tab. 1: Kriterienkomplexe für die Bewertung von Verfahren (verschiedene Quellen)

<p>in: Methodische Grundlagen zur Bewertung technologischer Verfahren ... (LÜTH 1978)</p>	<p>in: Technologische Grundlagen in der Landwirtschaft (MÜLLER 1989)</p>	<p>in: Ausgewählte Begriffe, Formeln und Berechnungsgrundlagen... (HERRMANN, K. und SORGE 1992)</p>	<p>in: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen (VDI-Richtlinie 3780)</p>
<p>1. Kriterien, die das technologisch-technische Niveau der Lösung im Hinblick auf die weitgehende Ausschöpfung des Ertragspotentials des Arbeitsgegenstandes und damit auf die quantitative und qualitative Erfüllung der Produktionsziele zum Gegenstand haben.</p> <p>2. Kriterien, mit denen das technologisch-technische Niveau der Lösung im Hinblick auf die menschliche Arbeit beurteilt werden kann.</p> <p>3. Kriterien, die das technologisch-technische Niveau der Arbeitsmittel, besonders Betriebs- und Leistungsparameter, kennzeichnen.</p> <p>4. Kriterien, die das Zusammenwirken der 3 Elemente des technologischen Prozesses und die Überführung neuer Verfahren in die Praxis kennzeichnen.</p> <p>5. Kriterien, die den ökonomischen Aufwand, die Effektivität der lebendigen und vergegenständlichten Arbeit aus betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht bewerten.</p>	<p>1. Produktmenge und verfahrensbedingte Produktionsverluste</p> <p>2. Produktqualität, Arbeitsqualität und verfahrensbedingte Qualitätsminderungen</p> <p>3. Eingesetzte Rohstoffe, Werkstoffe, Hilfsstoffe</p> <p>4. Eingesetzte Gebrauchsenergie</p> <p>5. Bedarf an Arbeitsplätzen</p> <p>6. Arbeitszeitbedarf</p> <p>7. Arbeitsbedingungen</p> <p>8. Umweltbeeinflussungen</p> <p>9. Investitionsbedarf, Kosten der stofflichen Aufwendungen und der Arbeitszeit sowie Erlösminderungen durch verfahrensbedingte Produktionsverluste und geringere Qualität</p>	<p>1. Erzeugte Gebrauchswerte</p> <p>2. Eingesetzte Gebrauchswerte</p> <p>3. Finanzieller Aufwand</p> <p>4. Lebendige Arbeit</p> <p>5. Arbeitsbedingungen</p> <p>6. Technologisches Zusammenwirken</p> <p>7. Umweltbeeinflussung</p>	<p>1. Funktionsfähigkeit</p> <p>2. Wirtschaftlichkeit</p> <p>3. Wohlstand</p> <p>4. Sicherheit</p> <p>5. Gesundheit</p> <p>6. Umweltqualität</p> <p>7. Persönlichkeitsentfaltung und Gesellschaftsqualität</p>

Für eine Bewertung ist immer vom Variantengrundsatz auszugehen, d.h. mindestens zwei Verfahrensvarianten gehen in die Bewertung ein (PAPESCH 1984). Nach HAHN (1991) erlaubt das Instrumentarium der verfahrenstechnischen Bewertung, die relative Vorzüglichkeit von Verfahrensvarianten für definierte Bedingungen zu ermitteln.

Die Begriffe Bewertung, verfahrenstechnische bzw. Verfahrensbewertung und Technikbewertung werden im folgenden synonym verwendet.

### 2.3 Prozeß-, Verfahrens- und Maschineneinheiten

Die verfahrenstechnische Bewertung hat Maschinensysteme oder einige ihrer Elemente bzw. technologische Verfahren (= Bestandteil der Produktionsverfahren) oder einige ihrer Elemente zum Gegenstand. Die wichtigsten Kategorien, die mit dem technologischen Verfahren im Zusammenhang stehen und damit immer wieder zentraler Betrachtungsgegenstand der Verfahrenstechnik als Wissenschaftsdisziplin sind, erfordern im Interesse der eindeutigen Verständlichkeit in der Fachwelt eine Begriffsdefinition. In der ehemaligen DDR erfolgte diese in Ansätzen im Fachbereichsstandard TGL 80-22290 (ANONYM 1969). In den ablösenden Standards der Jahre 1976 und 1984 (TGL 22290) wurden die Prozeß-, Verfahrens- und produktionstechnischen Einheiten hierarchisch strukturiert und definiert (ANONYM 1976 und 1984). In Anlehnung an die TGL 22290 und an die Gliederungs- und Definitionsvorschläge von HERRMANN, K. und SORGE (1992) wird eine leicht abgewandelte Systematik und Terminologie vorgestellt (Abb.1).

Ein **technologisches Verfahren** umfaßt die Gesamtheit der Prozesse, die zur Erzeugung eines Produktes erforderlich sind sowie die Gesamtheit der dazugehörigen Arbeitskräfte und Arbeitsmittel. **Arbeitsmittel** lassen sich in Handarbeitsmittel und Mechanisierungsmittel untergliedern. Bei den Mechanisierungsmitteln können **Maschinen** und **Geräte** unterschieden werden. Maschinen zeichnen sich im Gegensatz zu den Geräten durch treibende oder angetriebene Hauptmechanismen aus. Die Gesamtheit der Mechanisierungsmittel eines technologischen Verfahrens wird als **Maschinensystem** bezeichnet.

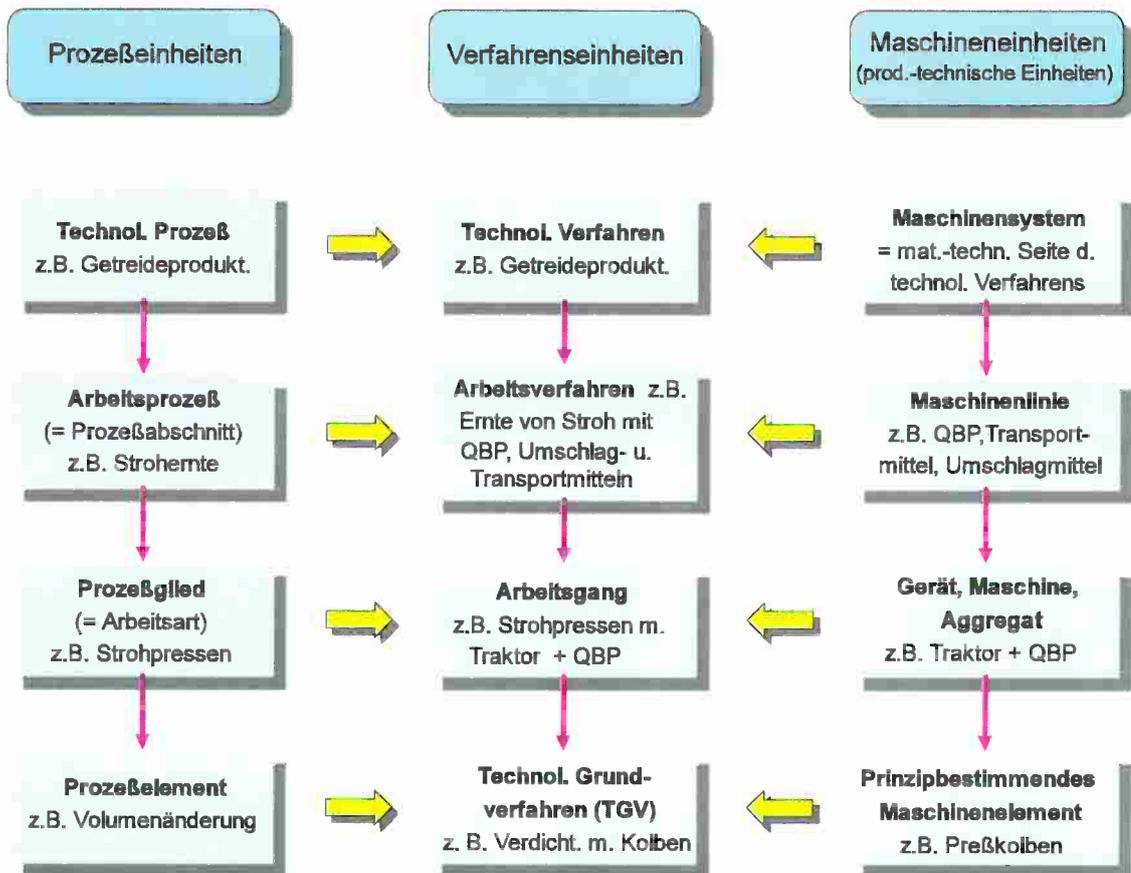


Abb. 1: Prozeß-, Verfahrens- und Maschineneinheiten (in Anlehnung an HERRMANN, K. und SORGE 1992 sowie TGL 22290)

Ein technologisches Verfahren setzt sich in der Regel aus mehreren Arbeitsverfahren oder Verfahrensabschnitten zusammen. Ein **Arbeitsverfahren** umfaßt einen mehr oder weniger in sich abgeschlossenen Prozeßabschnitt (z.B. Strohbergung: Pressen, Umschlag und Transport) mit den dazugehörigen Arbeitskräften und Arbeitsmitteln. Da sich Arbeitsverfahren nicht objektiv scharf voneinander abgrenzen lassen, ist es für wissenschaftliche Betrachtungen notwendig, die zum Arbeitsverfahren gehörenden Arbeitsgänge unter pragmatischen Gesichtspunkten festzulegen.

Ein **Arbeitsgang** ist durch den Einsatz eines oder mehrerer Mechanisierungsmittel, die die gleiche Arbeitsaufgabe verrichten, und durch die zugeordneten Arbeitskräfte charakterisiert. In einem Arbeitsgang können die Mechanisierungsmittel unter Umständen mehrere Arbeitsarten durchführen (z.B. Futterladewagen: Laden, Transportieren und Entladen).

In einem Arbeitsgang laufen in der Regel mehrere **Technologische Grundverfahren (TGV)** ab, die durch einzelne Baugruppen (prinzipbestimmende Elemente) der Maschine umgesetzt werden (z.B.: Halmgutaufnahme durch Pick-up, Fördern durch Förderrechen, Verdichten durch Preßkolben).

#### 2.4 Verfahrenstechnische Leistung

Innerhalb des Wissenschaftsgebietes Verfahrenstechnik nimmt der Leistungsbegriff eine zentrale Stellung ein. Die verfahrenstechnische Leistung landtechnischer Arbeitsmittel ist ein wichtiges Kriterium zur Charakterisierung, Bewertung und Gestaltung von Verfahren. Gleichzeitig dient sie als Ausgangsgröße für die Bestimmung des Arbeitszeitbedarfes und der Verfahrenskosten.

Aus physikalischer Sicht stellt die Leistung  $P$  den Quotient aus Arbeit  $W$  und Zeit  $T$  dar:

$$P = \frac{W}{T} \quad (1).$$

Bei der verfahrenstechnischen Interpretation des physikalisch-technischen Leistungsbegriffes bereitet vor allem die Arbeit  $W$  Schwierigkeiten. Ihre physikalische Definition als Produkt aus Kraft und Weg ist für den verfahrenstechnischen Leistungsbegriff nicht verwendbar. Die Arbeit ist vielmehr im übertragenen Sinn als realisierter Gebrauchswert zu betrachten. Ein Gebrauchswert kann sich konkret als Fläche  $A$ , Masse  $m$ , Volumen  $V$  oder Menge (Stückzahl)  $n$  darstellen.

Wichtig für die Beurteilung von Leistungsdaten ist die klare Festlegung der zugrundeliegenden Zeitbasis (vgl. auch Abschnitt 3.2). Als Zeitbezug kommen vorzugsweise folgende Zeitelemente zur Anwendung:

- die Grundzeit  $T_1$  (KTBL: Hauptzeit H),
- die Operativzeit  $T_{02}$  (KTBL: Grundzeit GZ),
- die Produktionsarbeitszeit  $T_{04}$  (KTBL: Ausführungszeit AZ),
- die Feldarbeitszeit  $T_{05}$  (KTBL: Ausführungszeit AZ) und
- die Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  (KTBL: Gesamtarbeitszeit GAZ).

Um Verwechslungen mit der physikalischen Leistung zu vermeiden, wurde von MÄTZOLD et. al. (1978) der Kapazitätsbegriff als Leistungssynonym eingeführt. Aber auch dieser Begriff ist sowohl in der Physik als auch in der Verfahrenstechnik teilweise mit anderen Inhalten belegt, so daß er sich in der Verfahrenstechnik nicht durchsetzen konnte.

Die verfahrenstechnische Leistung stellt den Quotient aus Gebrauchswert und Zeitsumme dar. In Abhängigkeit von den zu betrachtenden Gebrauchswerten kann die verfahrenstechnische Leistung nach

- Flächenleistung  $\dot{A}$  ,
- Masseleistung  $\dot{m}$
- Volumenleistung  $\dot{V}$  und
- Stückleistung  $\dot{n}$

unterschieden werden (Abb. 2).

Für Masseleistung und Volumenleistung werden besonders bei kontinuierlichen Gutströmen und grundzeitbezogenen Leistungen die SI-Begriffe Massestrom und Volumenstrom verwendet (SORGE 1990). Die Masseleistung wurde in der Literatur auch oft als Mengenleistung bezeichnet. Der Mengenleistungsbegriff geht auf die Definition von HEYDE (1973) zurück, nach der die Masse im landwirtschaftlichen Sinn die durch eine Maschine bewältigte Stoffmenge darstellt (z. B. Düngermenge, Menge eines Ertrages).

Der Durchsatz muß als ein Spezialfall der verfahrenstechnischen Leistung angesehen werden. Er bezieht sich auf das durch eine Maschine durchgesetzte Gut (z. B. Masse an Korn und/oder Stroh). Der Begriff Durchsatz sollte allerdings ausschließlich als die verfahrenstechnische Leistung verstanden werden, der als Zeitbasis die Grundzeit ( $T_1$ ) bzw. Hauptzeit (H) zugrunde liegt.

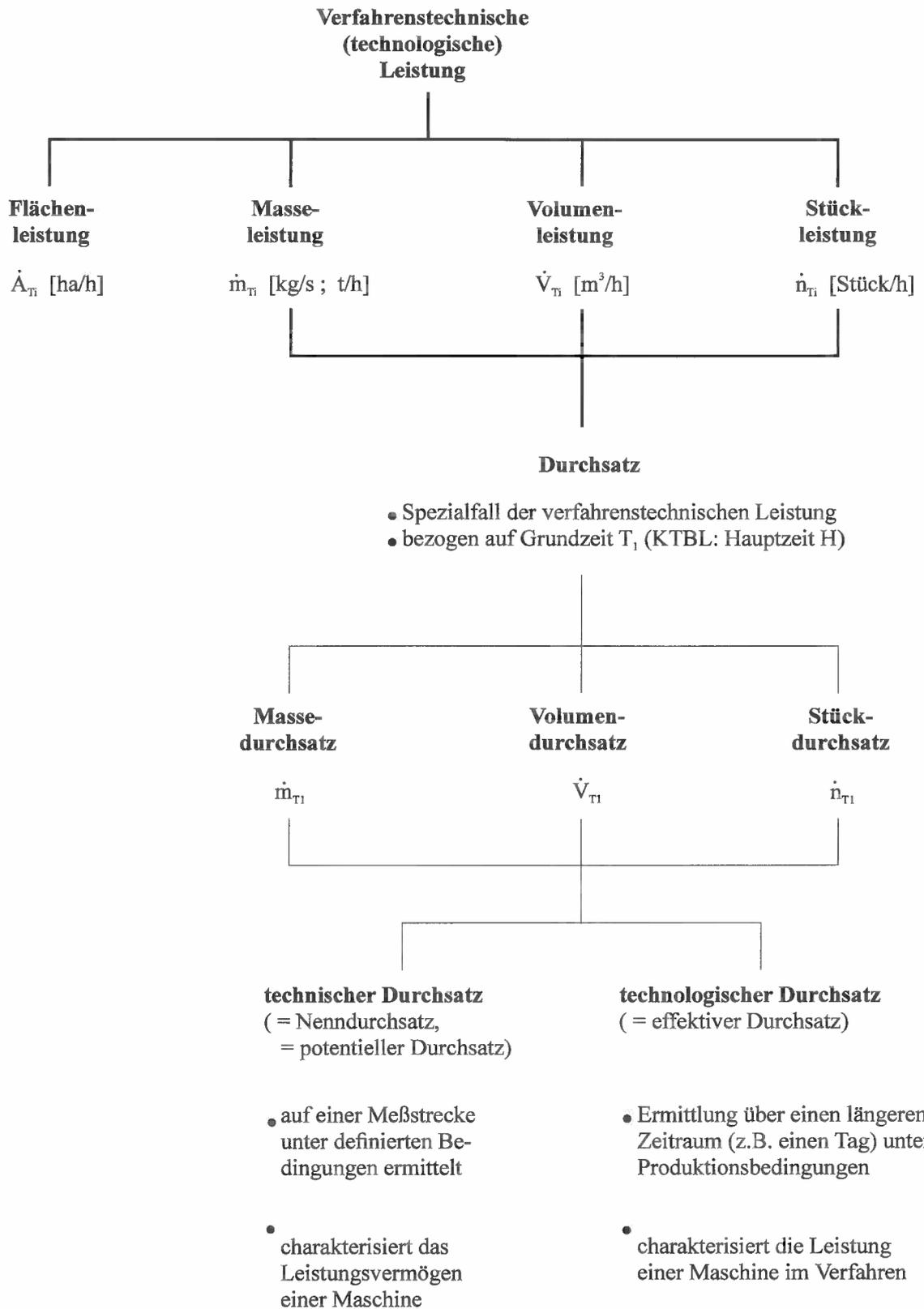


Abb. 2: Gliederung des verfahrenstechnischen Leistungsbegriffes

Verfahrenstechnisch bedeutsam ist die Unterscheidung des Durchsatzes in technischen und technologischen Durchsatz. Ersterer wird auf einer Meßstrecke unter definierten Bedingungen ermittelt. Durch ihn wird das Leistungsvermögen einer Maschine charakterisiert. Im Gegensatz dazu stellt der technologische Durchsatz die Leistung unter Produktionsbedingungen dar. Seine Bestimmung erfolgt über einen längeren Zeitraum (z. B. einen Tag). Er charakterisiert das Leistungsverhalten einer Maschine im Verfahren. Das Verhältnis zwischen technologischem und technischem Durchsatz wird als Maschinenauslastung bezeichnet (vgl. Abschnitt 2.7).

Der realisierte technologische Durchsatz ist für Verfahrenseinschätzungen und -vergleiche von besonderem Interesse. Bei seiner Analyse sind unbedingt die auf ihn wirkenden Einflüsse zu berücksichtigen.

## 2.5 Zeitgliederung

### 2.5.1 Zeit als Kriterienbestandteil

Prozesse und damit auch Verfahren sind zeitgebunden. Sie können als zeitlich begrenzte und zeitlich strukturierte Abläufe aufgefaßt werden.

Die Optimierung der Verfahrensgestaltung und der Vergleich mehrerer Verfahrensvarianten machen eine detaillierte Analyse der Verfahren erforderlich. Die Charakterisierung und der Vergleich von Verfahren erfolgen mit Hilfe von Kriterien (vgl. Abschnitt 3.1.2). Einige verfahrenstechnische Kriterien, die den Ist-Zustand eines Arbeitsablaufes charakterisieren, nehmen unmittelbar auf den Zeitaspekt von Verfahren Bezug:

- Zeitaufwand [ $h/t$ ;  $h/m^3$ ;  $h/ha$ ;  $h/\text{Stück}$ ],
- Arbeitszeitaufwand [ $Akh/t$ ;  $Akh/m^3$ ;  $Akh/ha$ ;  $Akh/\text{Stück}$ ],
- verfahrenstechnische Leistung [ $t/h$ ;  $m^3/h$ ;  $ha/h$ ;  $\text{Stück}/h$ ] (vgl. Abschnitt 2.4).

Daraus abgeleitete Größen, die für Modelle oder für Planungsaufgaben nutzbar sind und auf Soll-Zeiten basieren, sind z.B. der Zeitbedarf, der Arbeitszeitbedarf und Arbeitsnormen.

Auf der Grundlage der genannten Kriterien, die einen unmittelbaren Zeitbezug haben, lassen sich weitere wichtige Kriterien bestimmen. So stellen der Arbeitszeitbedarf und die verfahrenstechnische Leistung eine wichtige Grundlage für die Charakterisierung des technologischen Zusammenwirkens dar (z.B. Quantifizierung von zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten in transportverbundenen Fließarbeitsverfahren) (HERRMANN und PAPESCH 1995d). Auch die auf den Gebrauchswert bezogenen Kosten der Arbeitserledigung [DM/t; DM/m<sup>3</sup>; DM/ha; DM/Stück] lassen sich unter Berücksichtigung der verfahrenstechnischen Leistung einer Maschine differenzierter als unter Annahme einer Durchschnittsmaschinenleistung beschreiben (vgl. Abschnitt 4.1).

Besonders für die Quantifizierung der Kriterien, die unmittelbar mit dem Zeitaspekt der Verfahren verknüpft sind, ist es wichtig, den Zeitbezug klar zu definieren und möglichst logisch und allgemein verständlich zu systematisieren.

#### 2.5.2 Entwicklung der Zeitgliederung für die Landwirtschaft in Deutschland

Die Wurzeln des Arbeitszeitstudiums für die Landwirtschaft liegen in Deutschland sicherlich bei SEEDORF begründet (AUERNHAMMER 1976). SEEDORF (1919) beschrieb auf der Grundlage eines amerikanischen Vorbildes (Taylor-System) Zeit- und Bewegungsstudien.

Ein allgemeingültiger Gliederungsvorschlag der Arbeitszeit wurde allerdings erst von v. BISMARCK und BUCHHOLZ (1931) vorgelegt. Die Gesamtarbeitszeit wurde von ihnen in vier Kategorien unterteilt: Rüstzeit - Hauptzeit - Nebenzeit - Verlustzeit.

Hauptziel der Auswertung von Zeitstudien ist bei v. BISMARCK und BUCHHOLZ die Leistungsermittlung mit dem Ziel, aus den Ergebnissen eine verbesserte Verfahrensgestaltung ableiten zu können.

Nach dem zweiten Weltkrieg lassen sich in den beiden deutschen Staaten zwei Entwicklungsstränge von Arbeitszeitgliederungen nachweisen (Abb. A1). Im Westteil Deutschlands baut RÖHNER (1956) auf die Systematisierungsvorschläge von v. BISMARCK auf. Zu den vier von v. BISMARCK postulierten Teilzeiten fügt RÖHNER die Wegezeit als fünfte

hinzu. Nebenzeiten und Verlustzeiten werden von ihm weiter untergliedert. RÖHNER versuchte bereits 1955 das Zeitgliederungsschema auf der Grundlage lateinischer Bezeichnungen und Abkürzungen zu internationalisieren. Nach Kenntnisstand der Verfasser konnte sich diese Version der Zeitgliederung jedoch sowohl national als auch international nicht durchsetzen.

KRAUSE (1964) unternimmt den Versuch, den Zeitbezug der verfahrenstechnischen Leistung sowohl in seiner Komplexität im Zusammenwirken von Arbeitskräften, Arbeitsmitteln und Arbeitsgegenständen zu erfassen als auch die drei Komponenten in ihrer Spezifik gesondert zu analysieren (Abb. A2).

Wird die Arbeitsstudie unter dem Blickwinkel der wechselseitigen Beeinflussung zwischen Arbeitskräften, Arbeitsmitteln und Arbeitsgegenständen durchgeführt, handelt es sich nach KRAUSE um eine Aufgabenstudie. In der Aufgabenstudie findet die Zeitgliederung von RÖHNER Verwendung, wobei KRAUSE als sechste Teilzeit die Erholungszeit einfügt. Neben der Analyse des Geschehens in der Aufgabenstudie steht die gesonderte Betrachtung der einzelnen Verfahrenselemente in einer Arbeiter- oder Personenstudie, in einer Betriebsmittel- und in einer Werkstoffstudie. Für jede Art der Arbeitsstudie stellt KRAUSE ein gesondertes Zeitgliederungsschema vor.

Die Zeitgliederung der KTBL-Rechenmethode entspricht weitestgehend der Aufgabenstudie von KRAUSE. Bei Arbeitszeitbedarfskalkulationen bleiben lediglich die Erholungszeiten und die vermeidbaren Verlustzeiten unberücksichtigt. Zusätzlich zum Zeitgliederungsschema von KRAUSE wurde die Teilzeit "Ablaufbedingte Wartezeit" eingeführt (JÄGER 1991; Abb. A3). Sie entspricht der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit in transportverbundenen Fließarbeitsverfahren (FLEISCHER 1968).

In der ehemaligen DDR war ab 1956 der DDR-Standard TGL 2860-56 "Zeitgliederung in der Produktion" als Grundlage für Zeitstudien verbindlich (ANONYM 1956). Der Standard war in Anlehnung an die Auftragszeit nach REFA strukturiert (vgl. ANONYM 1993). Im Detail gab es allerdings starke sachliche und begriffliche Unterschiede (HAMANN und NAUMANN 1991). Für einzelne Volkswirtschaftszweige (z.B. Landwirtschaft) bildeten sich spezifische Zeitgliederungsschemata heraus (MACHER et al. 1974).

Für den Bereich der Landwirtschaft wurde eine einheitliche Zeitgliederung innerhalb des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW oder Comecon) angestrebt (KLAUS und PAUSE 1968). Im Jahr 1972 schaffte sich dieser mit der Standardempfehlung RS 3427-72 eine zwischen den Mitgliedsstaaten abgestimmte Zeitgliederung für die Landwirtschaft (ANONYM 1972). Nationale Standards lösten sich aber bald vom Schema der RGW-Empfehlung ab, so daß der erklärte Wille zur Vereinheitlichung der Zeitgliederung in der Landwirtschaft Osteuropas nicht umgesetzt werden konnte (vgl. HAHN 1984).

In der ehemaligen DDR wurde bereits 1970 der Fachbereichsstandard TGL 80-22289 für die Zeitgliederung in der Landwirtschaft verbindlich (ANONYM 1970). In seiner Strukturierung lehnte er sich eher an die Zeitgliederung von RÖHNER als an den DDR-Standard TGL 2860-56 für die industrielle Produktion an. Völlig neu war die Verwendung von numerischen Indizes für die Symbole der Teilzeiten. Vier Jahre später wurde der Standard durch die TGL 22289 abgelöst (ANONYM 1974). Die sieben Teilzeitebenen wurden im neuen Standard auf acht ausgedehnt (SCHIMMING 1975). Für die Zeitanalyse in Transport- und Umschlagarbeitsgängen erwies sich die TGL 22289 allerdings nur als bedingt geeignet. Deshalb entwickelte SCHMID (1977) Zeitbezeichnungen für Teilarbeiten in diesen Arbeitsgängen, die sich sehr gut in die Struktur und Terminologie der TGL 22289 einfügten (Abb. A4).

Die Zeitgliederungsschemata für die Landwirtschaft der DDR stellten Mischformen im Sinne der Aufgabenstudie von KRAUSE dar. HAHN (1984) forderte dagegen differenzierte Zeitgliederungsschemata für Arbeitskräfte, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände. Für landtechnische Arbeitsmittel stellte er ein Zeitgliederungsschema in Anlehnung an die TGL 22289 vor, wobei er das Schema von der üblichen Untergliederung der Gesamtarbeitszeit auf die Untergliederung der Kalenderzeit ausdehnte (HAHN 1984 und 1985). Eine Strukturierung der Kalenderzeit wurde ebenfalls von MÜLLER et al. (1982 und 1989) vorgenommen.

Die Forderung nach differenzierten Zeitgliederungsschemata für Arbeitskräfte, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände haben SCHWARZBACH und JALAB (1990 und 1991) aufgegriffen und einen entsprechender Entwurf vorgelegt.

## 2.6 Schlagparameter als Einflußgrößen für verfahrenstechnische Kriterien

In der Pflanzenproduktion stellen eine hohe Maschinenausnutzung und -auslastung *eine* Voraussetzung für niedrige Kosten der Arbeitserledigung dar (vgl. Abschnitt 2.7). Neben der Betriebsgröße, der Arrondierung des Betriebes, der Hängigkeit und vielen anderen Parametern üben auch die **Schlaggröße** und **Schlagform** einen erheblichen Einfluß auf die Ausnutzung und Auslastung von Maschinen und damit auf die Kosten der Arbeitserledigung aus.

Schlaggröße und Schlagform sind keine auf Dauer feststehenden Parameter. Die Schlaggestaltung hängt wesentlich von folgenden Rahmenbedingungen ab:

- Besitzverhältnisse an Grund und Boden,
- natürliche Gegebenheiten,
- Stand der Mechanisierung (DIETZEL und DIEMANN 1996).

Mit der Mechanisierung der Landwirtschaft wurde die Schlaggestaltung zur verfahrenstechnisch relevanten Einflußgröße. Die Ausgangslage für die kleinstrukturierte Landwirtschaft in den alten Bundesländern besteht in Schlaggrößen zwischen 2 bis 3 ha (BATZ 1990). Bis zur 11. Auflage 1989 ging auch die KTBL-Datensammlung für die Betriebsplanung in der Landwirtschaft nicht über die 5-ha-Parzelle (Schlag) hinaus. Empfehlungen für zweckmäßige Schlaggrößen gaben REISCH (1984) mit 4 bis 13 ha und GUERICKE (1978) mit 3 bis 15 ha an, wobei die oberen Bereiche bereits als geeignet für den Großmaschineneinsatz angesehen wurden. Nach SCHÖN (zit. bei SCHANZ-KÖLSCH 1996) ist die Flurstruktur in den westlichen Bundesländern ungenügend, da nach seiner Meinung zur vollen Ausnutzung großer kapitalintensiver Erntemaschinen Schlaggrößen von über 30 ha erforderlich sind. Im Osten Deutschlands, wo diese Strukturen weitestgehend vorhanden sind, ist vor allem die Optimierung der Arbeitsorganisation von Bedeutung.

Die Schlaggestaltung wurde im Osten Deutschlands im Zusammenhang mit der Kollektivierung und Mechanisierung der Landwirtschaft nahezu ausschließlich an der Verfahrenstechnik und an den Erfordernissen des Komplexeinsatzes (Einsatz mehrerer Schlüsselmaschinen mit der erforderlichen Nachfolgetechnik auf einem Schlag) ausgerichtet.

So wurde 1968 auf zukünftige Schlagmindestgrößen von 150 ha bei verhältnismäßig einheitlichen und von 60 ha bei stark wechselnden Bodenverhältnissen orientiert (SMUKALSKI et al. 1968). Zwei Jahre später wurden die Vorstellungen über zukünftige Mindestschlaggrößen bereits auf 50 bis 120 ha reduziert (EINHORN 1970).

In der landwirtschaftlichen Praxis haben sich übergroße Schläge jedoch auch zur Zeit der DDR nicht bewähren können. Verfahrenstechnische Probleme (z.B. mangelnde Überschaubarkeit der Schläge; zu geringe Behältervolumen für eine Schlaglänge bei Ausbringungsverfahren) und zunehmend auch ökologische Gesichtspunkte (z.B. Wasser- und Winderosion; "ausgeräumte" Flur) ließen die durchschnittliche Schlaggröße von 52,9 ha im Jahr 1977 (BRETSCHNEIDER 1989), auf 49 ha im Jahr 1981 (DITTRICH 1982) und auf 38,0 ha im Jahr 1987 sinken (BRETSCHNEIDER 1989). Im Jahr 1988 wurde die Größenordnung 40 bis 50 ha als Orientierung angesehen, da sie den ertragsorientierten, arbeitswirtschaftlichen und ökologischen Forderungen aus damaliger Sicht am ehesten entsprach (BARKURSKY und LANGE 1988).

Den ausgeräumten Riesenflächen der DDR wurde gegen Ende der 80er Jahre das Konzept der Schlageinheiten gegenübergestellt. Dabei wurden zwar mehrere Geländeschläge mit einer Fruchtart bestellt und zum Fruchtfolgefeld zusammengefaßt. Ihre Abgrenzung voneinander durch flurerschließende Wirtschaftswege und flurschützende Elemente wie Feldraine und Flurgehölze blieb allerdings erhalten (LISTE 1989).

Nach der Wiedervereinigung Deutschlands sah LISTE (1992) eine Schlaggröße zwischen 10 und 25 ha als geeigneten "ökonomisch/ökologischen" Kompromiß für die neuen Bundesländer an. Ähnlich äußert sich auch ROTH (1991), der Schlaggrößen unter 8 bis 10 ha nicht für zweckmäßig hält. Andererseits lehnt er aber eine Ausdehnung über 35 ha ab, da in diesen Fällen kaum noch ökonomische Vorteile zu erwarten sind.

Eine Analyse aus dem Jahr 1994 über alle Betriebe, die in Sachsen-Anhalt Anpassungshilfe beantragen, läßt eine Aussage zur derzeitigen Schlagstruktur in diesem Bundesland zu (HEINRICH et. al. 1994). Erfaßt wurden 28 590 Schläge mit einer Gesamtfläche von 1 151 535 ha. Das entspricht einer durchschnittlichen Schlaggröße von 40,28 ha. Die durchschnittliche Schlaggröße liegt je nach Region zwischen 35 und 88,5 ha.

Oft wird die Schlaggröße einseitig in den Mittelpunkt der Betrachtungen zur Schlaggestaltung gerückt, obwohl nach OTTO et. al. (1995) die Kriterien Längen-Breiten-Verhältnis, Schlagform u.a. eine umfassendere Beurteilung von Schlägen ermöglichen. Die Schlaggröße sollte nur einen abgeleiteten Parameter darstellen. Gleichgroße Schläge müssen in unterschiedlichen Landschaftsgebieten (z.B. Magdeburger Börde und Mittelgebirge) völlig unterschiedlich bewertet werden (MAUERSBERGER 1994).

JÄGER (1979) empfiehlt in Abhängigkeit von den dominierenden Fruchtarten Schlaglängen zwischen 400 und 900 m. Das angegebene Längen-Breiten-Verhältnis der Schläge differiert zwischen 5:1 und 10 : 1. In der ehemaligen DDR sah die TGL 42 200 für hackfruchtbetonte Fruchtfolgen Schlaglängen bis zu 1000 m und für getreide- und futterbetonte Fruchtfolgen Schlaglängen bis zu 1200 m vor (ANTONYM 1983). Aufgrund der größeren Schläge ergibt sich lediglich ein Längen-Breiten-Verhältnis von 1,3...2,5 : 1. SCHNURBUSCH (1991) hält eine Ausdehnung des Längen-Breiten-Verhältnisses auf 2...4 : 1 bei Schlaglängen bis zu 800 m für angebracht.

Die Aussagen in der Literatur über die Auswirkung der Schlagparameter auf die verfahrenstechnische Leistung und auf die Kosten der Arbeitserledigung sind genau so unterschiedlich wie die Empfehlung zur "optimalen" Schlaggestaltung. Um so wichtiger ist es, die komplexen Ursachen-Wirkungs-Beziehungen zwischen den Schlagparametern und den verfahrenstechnischen Kriterien in Modellen zu beschreiben (HERRMANN 1995). Die verfahrenstechnischen Kriterien können allerdings nicht als alleinige Argumente die Gestaltung von Schlägen bestimmen. Eine Auseinandersetzung mit ökologischen und landeskulturellen Erfordernissen ist unbedingt erforderlich. Im Interesse der Aufgabenstellung soll auf sie an dieser Stelle jedoch verzichtet werden.

## 2.7 Maschinenausnutzung und Maschinenauslastung

Eine Besonderheit des darzustellenden Modells ist die Berücksichtigung der kombinierten Auswirkung von Maschinenausnutzung und Maschinenauslastung auf die Kosten der Arbeitserledigung. An dieser Stelle soll lediglich eine Begriffsbestimmung erfolgen. Die differenzierte Auswirkung von Ausnutzung und Auslastung auf die Kosten wird in den Abschnitten 4.3.2.3, 4.3.3.3 und 4.3.4.3 vorgestellt.

Unter **Maschinenausnutzung** wird die Jahresleistung einer Maschine verstanden. Sie kann zeitlich in Jahreseinsatzstunden oder in Form des jährlichen Arbeitsumfanges (Hektar oder Tonnen) ausgedrückt werden.

Der Begriff **Maschinenauslastung** kennzeichnet dagegen die Ausschöpfung des potentiellen Leistungsvermögens einer Maschine unter den jeweiligen Einsatzbedingungen. Sie kann sich auf die Ausschöpfung

- der potentiellen Motorleistung,
- der potentiellen verfahrenstechnischen Leistung oder
- des Nutzvolumens bzw. der Nutzmasse beziehen (WISSING und SCHMIDT 1991).

Die Maschinenauslastung übt über den technologischen Durchsatz einer Maschine großen Einfluß auf die Kosten aus. Der Zusammenhang ist bisher allerdings nur unzureichend beschrieben worden.

## 2.8 Systematik transportverbundener Arbeitsverfahren

Bezogen auf die Transportmittel und -verfahren in der Landwirtschaft läßt sich eine Vielzahl von systematischen Einteilungsmöglichkeiten finden (MÜHREL 1983). Die Ursachen, die den Transport zu einem vielschichtigen verfahrenstechnischen Gegenstand werden lassen, sind in dem großen Spektrum der Einsatzbedingungen und in der Verschiedenheit der zu transportierenden Güter begründet (FRÖBA 1994, MÜHREL 1994).

Von besonderem Interesse aus verfahrenstechnischer Sicht ist eine systematische Einteilung der Transportverfahren unter Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Arbeitsgänge. Für die arbeitswirtschaftlich-verfahrenstechnischen Kriterien (z.B. verfahrenstechnische Leistung, Arbeitszeitbedarf, Kosten der Arbeiterledigung u.a.) sind die Verknüpfung der Arbeitsgänge und die zwischen ihnen bestehenden Wechselwirkungen wichtige Einflußgrößen.

Bereits 1967 entwickelte FLEISCHER eine Systematik auf der Grundlage des technologischen Zusammenwirkens, in der er die Wechselwirkungen zwischen dem Transport und den ihm vor- und nachgelagerten Arbeitsgängen berücksichtigte. Beinhaltet ein definierter Verfahrensabschnitt (= Arbeitsverfahren) einen Transportarbeitsgang, wird er nach FLEISCHER als "Transportverbundenes Arbeitsverfahren" bezeichnet (Abb. 3). FLEISCHER unterscheidet dabei drei grundsätzliche Typen von transportverbundenen Arbeitsverfahren:

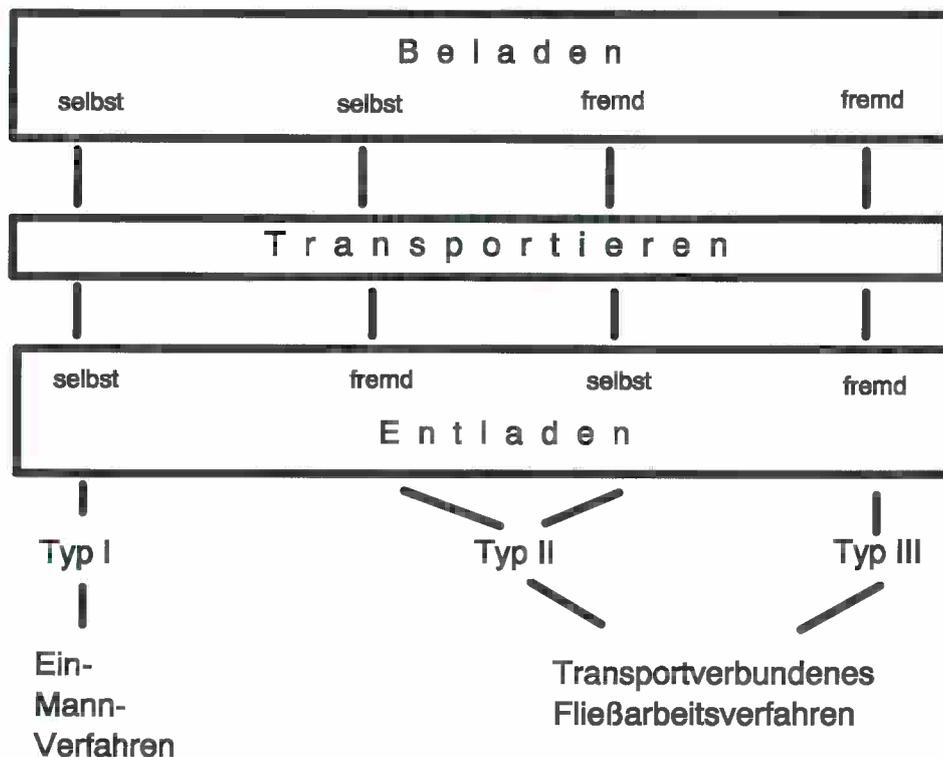


Abb. 3: Systematik transportverbundener Arbeitsverfahren (nach FLEISCHER, 1967)

- Typ I: Alle technologischen Grundverfahren (TGV) - Beladen, Transportieren und Entladen - werden von einer Arbeitskraft und von einer Maschine durchgeführt. Es bestehen keine unmittelbaren Wechselwirkungen mit vor- oder nachgelagerten Arbeitsgängen (Ein-Mann-Verfahren).
- Typ II: Be- bzw. Entladung der Transportfahrzeuge erfolgt durch andere Maschinen und Arbeitskräfte. Es besteht eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen der Be- bzw. Entladung und dem Transport. Im Interesse einer hohen Auslastung aller Maschinen und Arbeitskräfte ist eine Leistungsabstimmung erforderlich.
- Typ III: Be- und Entladung der Transportfahrzeuge erfolgen durch andere Maschinen und Arbeitskräfte. Die Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsgängen stellen sich komplizierter als bei Typ II dar. Entsprechend schwieriger ist auch die Leistungsabstimmung zwischen den einzelnen Arbeitsgängen.

Die Typen II und III sind "Transportverbundene Fließarbeitsverfahren". Da die Leistung der Maschinen, die dem Transportarbeitsgang unmittelbar vor- oder nachgeordnet sind, in der Regel kein ganzzahliges Vielfaches der Leistung eines Transportmittels ist, treten in transportverbundenen Fließarbeitsverfahren periodisch wiederkehrende Wartezeiten auf. Diese werden als zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten bezeichnet (FLEISCHER 1968). Im Ein-Mann-Verfahren treten diese Verlustzeiten nicht auf, da keine unmittelbaren Wechselwirkungen zwischen dem Transport und den vor- und nachgelagerten Arbeitsgängen bestehen.

KASTEN et. al. (1970) untergliedern die transportverbundenen Arbeitsverfahren noch in weitere Typen. Dabei werden zum Teil Spezialfälle der genannten drei Typen als selbständige systematische Einheiten betrachtet. Prinzipiell berücksichtigt aber die vorgestellte Einteilung von FLEISCHER (1967) den größten Teil der landwirtschaftlichen Transportverfahren.

Auch andere Autoren erstellten Systematiken zum Transport unter Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Arbeitsgänge. So wurden von GINDELE (1972) zwölf grundsätzliche Transportvarianten postuliert, die sich in der Gestaltung des transportverbundenen Arbeitsverfahrens voneinander unterscheiden (Abb. A 5).

JÄGER (1991) benutzt für sein Modell zur Ermittlung des Zeitbedarfs sieben Arbeitsabläufe, wobei Arbeitsablauf vier bis sieben sowohl im Zwei-Phasen- oder Drei-Phasen-Modell ablaufen kann.

## 2.9 Systematik der Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport

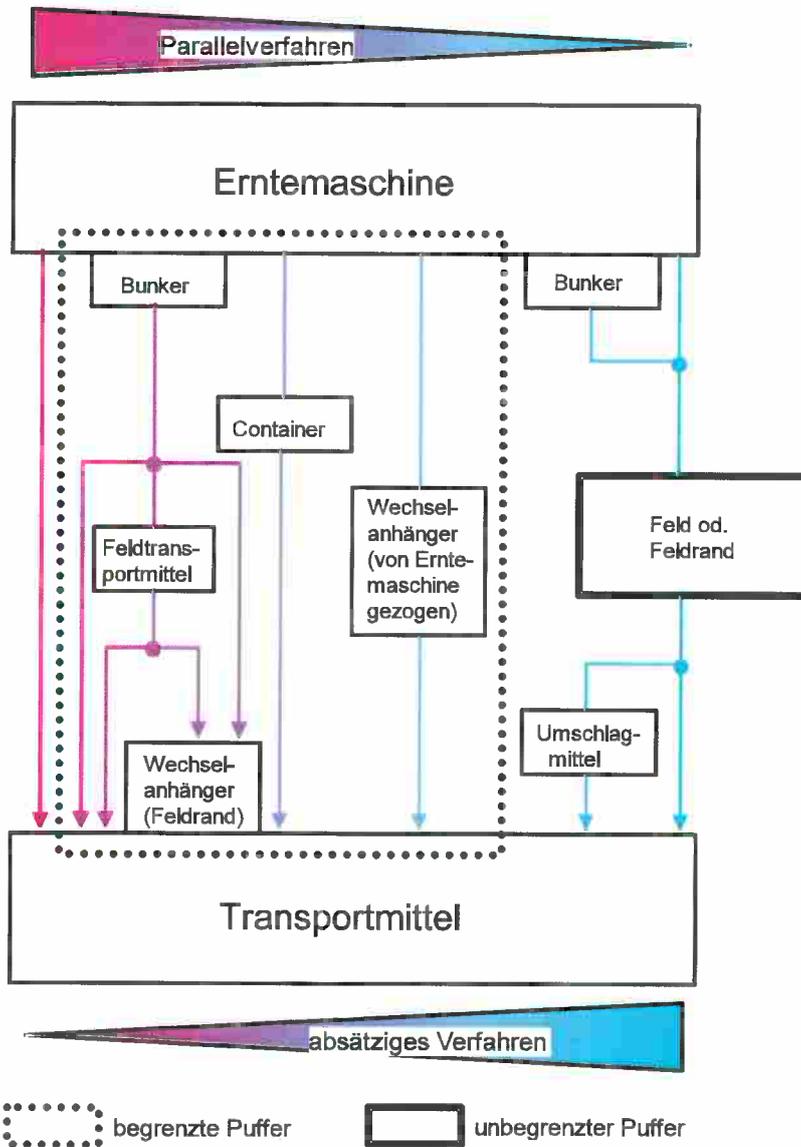
In den eigenen Untersuchungen werden ausschließlich die Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte- und Transportarbeitsgängen untersucht. Als grundsätzliche Verknüpfungsvarianten werden dabei das Parallelverfahren und das absätziges Verfahren unterschieden (Abb. 4). In der Praxis treten allerdings eine Reihe von Übergangsformen auf, die in Abhängigkeit von der konkreten Verfahrensgestaltung Merkmale beider Verfahrensvarianten in unterschiedlich starker Ausprägung aufweisen. Diese Übergangsformen können als bedingt absätziges Verfahren bezeichnet werden. Eine scharfe Abgrenzung der unterschiedlichen bedingt absätzigen Verfahren voneinander wird nicht vorgenommen, da die Verknüpfungsmöglichkeiten zu vielfältig sein können. Die Gliederung fügt sich damit am ehesten in die grundsätzliche Systematik von FLEISCHER ein, erweitert und konkretisiert sie allerdings hinsichtlich der Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen.

Bei der klassischen Form des Parallelverfahrens erfolgt die Beladung des Transportfahrzeuges durch das Nebenherfahren des Transportmittels neben der Erntemaschine. Da die Erntemaschine keinen Bunker hat, sind Erntemaschine und Transportmittel im Arbeitsverfahren unmittelbar miteinander verbunden und bei der Durchführung ihrer Arbeiten voneinander abhängig. Ein typisches Beispiel für das Parallelverfahren ist die Futterernte mit dem selbstfahrenden Feldhäcksler.

Der Vorteil des Parallelverfahrens besteht in seiner hohen Leistungsfähigkeit und in der Vermeidung eines Zeitverzuges zwischen Ernte und Transport. Zusätzliche Umschlagarbeitsgänge zwischen Ernte und Transport werden auf jeden Fall ausgeschlossen, was sich tendenziell kostensenkend auswirkt. Der Nachteil ist das Auftreten von zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten. Diese lassen sich zwar durch gute Arbeitsorganisation minimieren, aber in der Regel nie ganz ausschließen (HEEGE 1977). Je nach dem, ob das

potentielle Leistungsvermögen der Erntemaschinen oder das der Transportmittel größer ist, verlagern sich die Wartezeiten auf den Ernte- oder auf den Transportarbeitsgang. Die unproduktiven Wartezeiten wirken sich in jedem Fall kostenerhöhend aus.

Im absätzigen Verfahren können Ernte und Transport völlig unabhängig voneinander



gestaltet werden. Feld oder Feldrand dienen theoretisch als unbegrenzter räumlicher und zeitlicher Puffer zwischen den Arbeitsgängen. Durch diese Organisationsform der Verfahren werden zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten im Erntearbeitsgang ausgeschlossen. Erfolgt der anschließende Transport im Fließarbeitsverfahren, ist für die Beladung der Transportmittel allerdings ein zusätzlicher Umschlagarbeitsgang notwendig.

Abb 4: Allgemeines Maschinenfolgeschema zur Darstellung der Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport

Die Problematik der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten wird an der Schnittstelle zwischen Umschlag und Transport wieder aktuell (HERRMANN und SORGE 1994).

Wird der Transport im Ein-Mann-Verfahren durchgeführt, müssen in der Regel Spezialtransportfahrzeuge eingesetzt werden. Diese Maschinen zeichnen sich dadurch aus, daß sowohl die Beladung als auch der Transport und die Entladung durch das Mechanisierungsmittel und durch nur eine Arbeitskraft durchgeführt werden. Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten werden damit auch beim Transport ausgeschlossen (HERRMANN und PAPESCH 1995d).

Doch auch im absätzigen Verfahren haben die unterschiedlichen verfahrenstechnischen Leistungen bei der Ernte und beim Transport ihre arbeitswirtschaftliche Auswirkung. Bei ungenügender Leistungs- bzw. Kapazitätsabstimmung zwischen Ernte und Transport kommt es zur Herausbildung einer zeitlichen Schere zwischen beiden Arbeitsgängen. Der zeitliche Puffer zwischen Ernte und Transport ist im absätzigen Verfahren zunächst gewollt. Bei schlechter Leistungsabstimmung zwischen den Arbeitsgängen und unzureichende Arbeitsorganisation kommt es jedoch zu einem übermäßigen zeitlichen Verzug des Transports gegenüber der Ernte. Qualitätsverluste des Ernteproduktes (z. B. Einregnen von Großballen) und/oder Verzögerung der Nachfolgearbeiten auf dem Feld (z.B. Stoppelbearbeitung) können die Folge sein. Ein typisches Beispiel für ein absätziges Verfahren, bei dem der Transport sowohl im Fließverfahren als auch im Ein-Mann-Verfahren erfolgen kann, ist die Halmguternte mit Großballen (HERRMANN und PAPESCH, 1995b).

Die Vor- und Nachteile der Parallelverfahren und der absätzigen Verfahren wirken sich bei der Ernte der verschiedenen landwirtschaftlichen Produkte unterschiedlich aus. In vielen landwirtschaftlichen Ernteverfahren wird mit einer Form eines bedingt absätzigen Verfahrens daher ein Kompromiß zwischen dem konsequenten Parallelverfahren und dem absätzigen Verfahren gesucht. Charakteristisch für diese Verfahrensvariante ist der Einsatz räumlich und zeitlich begrenzter Puffer zur kurzzeitigen Aufbewahrung des Erntegutes zwischen dem Ernte- und dem Transportarbeitsgang. Die begrenzten Puffer können Bunker auf Erntemaschinen, Wechsellanhänger, Container oder spezielle Feldtransportfahrzeuge sein. Im bedingt absätzigen Verfahren sollen nach Möglichkeit die

Vorteile des Parallelverfahrens und des absätzigen Verfahrens kombiniert werden. Die begrenzten Puffer können über einen gewissen Zeitraum den Erntegutanfall zwischenlagern. Das bewirkt eine Verkürzung der Beladezeit der Transportfahrzeuge und eine Abpufferung der zyklischen verfahrensbedingte Verlustzeiten. Die Herausbildung einer zeitlichen Schere zwischen Ernte und Transport ist nicht möglich (HERRMANN 1996).

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Untersuchungen in den Ernte-, Umschlag- und Transportarbeitsgängen

##### 3.1.1 Überblick

Mit der Festigung der landwirtschaftlichen Strukturen in den neuen Bundesländern wurde immer deutlicher, daß die Verfahrensbewertung anhand verfahrenstechnischer Kriterien besonders für Großbetriebe von zunehmender Bedeutung ist. Daher wurden besonders in den letzten Jahren verstärkte Anstrengungen unternommen, Methoden zur Analyse und Modelle zur Kalkulation verfahrenstechnischer Kriterien in Ernte- und Transportverfahren zu entwickeln (CLEGG und NOBLE 1987, FÜRLI und HAHN 1994 und 1997, HEINRICHSMEYER 1998, WINTER in Vorbereitung). Neue Impulse bekamen die Bemühungen zur Kalkulation verfahrenstechnischer Kriterien in Ernte- und Transportverfahren durch die verstärkten Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der energetischen Verwertung nachwachsender Rohstoffe. Aufgrund der großen Masseströme, die hier während der Ernte zu bewältigen sind, ist die Optimierung logistischer Ketten eine zentrale Anliegen bei der Verfahrensgestaltung (HAHN und FÜRLI 1995, KATH-PETERSEN 1994, VENTURI et. al. 1998).

Das zu entwickelnde Leistungs- und Kostenmodell basiert auf einer Vielzahl eigener Untersuchungen in Ernte-, Umschlag- und Transportarbeitsgängen. Dabei handelt es sich ausschließlich um Arbeitsverfahren in der Halmgut- und Kornernte (Tab. 2). Die einzelnen Arbeitsgänge wurden zunächst vordergründig getrennt voneinander untersucht. Im Laufe der Zeit erfolgte aus den Einzeluntersuchungen zunehmend eine Gesamtbetrachtung der Arbeitsverfahren. Dabei wurden neben den Einflußgrößen-Kriterien-Beziehungen auch die Auswirkungen der Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsgängen auf die Kriterien Gegenstand der Betrachtungen. Die abstrakte Darstellung dieser Zusammenhänge mündete letztlich in dem vorzustellenden Leistungs- und Kostenmodell für die Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen.

Tab. 2.: Verfahrenstechnische Untersuchungen zu den Arbeitsgängen Ernte, Umschlag und Transport (QB = Quaderballen; RB = Rundballen; FL = Frontlader)

Lfd. Nr.	Monat/Jahr	Arbeitsart	untersuchte ➔ Mechanisierungsmittel	Literatur (Forschungsberichte am Institut für Agrartechnik und Landeskultur der Univ. Halle-Wittenb. [außer 9])
1	01/88 - 12/88	- Pressen QB - Umschlag QB - Transport QB	➔ Hesston 4800 + Ballensammelwagen H 4820 ➔ Radlader L2A; Zetor 8011 mit FL Tur 5 u.a. ➔ LKW Liaz turbo + Sattelaufleger; LKW W 50 u.a.	HERRMANN, A. (1988)
2	03/90 - 12/90	- Pressen RB - Umschlag RB	➔ CLAAS Rollant 66 ➔ Schwadmäher mit Hubarm; Fendt 365 GTA mit FL	SORGE, R.; HERRMANN, A.; HOFMANN, L. u. NEITZ, B. (1990)
3	07/90 - 01/91	- Umschlag RB	➔ Schwadmäher mit Hubarm; Fendt 365 GTA mit FL; Kran T 174	SORGE, R.; HERRMANN, A. u. L. HOFMANN (1991)
4	04/91 - 03/92	- Pressen RB	➔ CLAAS Rollant 46 silage	SORGE, R.; HERRMANN, A.; NEITZ, B.; HOFMANN, L. u. A. BACHNER (1992a)
5	04/91 - 11/92	- Pressen RB	➔ Krone KR 130 Mini-Stop	SORGE, R.; HERRMANN, A.; NEITZ, B. u. A. BACHNER(1992)
6	05/93 - 11/93	- Pressen QB	➔ Krone Big Pack 120-80 ➔ Krone KR 130 S	HERRMANN, A. (1993b)
7	09/94 - 12/94	- Häcksein Welkgut - Transport Welkgut	➔ CLAAS Jaguar 695 MEGA; CLAAS 696 (Container); CLAAS-Häcksler + Sattelaufleger ➔ LKW W 50 + HW 80 mit Häckselaufbau EAS 5; LKW DAF 95.380 ATI + Containeranhänger	PAPESCH, J. u. A. HERRMANN (1994)
8	07/94 - 01/95	- Transport QB	➔ Ballenladewagen BLW 2.2; HW 80.11	PAPESCH, J. u. A. HERRMANN (1995)
9	07/06 - 01/97	- Mähdrusch - Feldtransport - Straßentransp.	➔ CLAAS Lexion 480 ➔ Überladewagen HAWE 2500 T ➔ LKW (25 t Nutzmasse)	HERRMANN, A.; DAMMER, S. u. G. RÜSCHEN (1997a)

### 3.1.2 Kriterien, Einflußgrößen und Primärdaten

Die Kriterien, die für die Charakterisierung bzw. Bewertung der Arbeitsgänge ermittelt wurden, waren in der Regel folgende:

- verfahrenstechnische Leistung,
- Arbeitszeitbedarf und Arbeitskräftebedarf,
- Ballendichte und Bindsicherheit (ausschließlich bei Halmgutkompaktierungsarbeitsgängen),
- Kraftstoffverbrauch und
- Kosten der Arbeitserledigung.

Die Kriterien können nicht direkt während der Versuche bestimmt werden. Vielmehr ist eine Primärdatenerfassung auf dem Feld erforderlich, die sowohl für die spätere Quantifizierung der Kriterien als auch für die Bestimmung der sie beeinflussenden Größen notwendig ist.

Als Größen, die den Wert der Kriterien wesentliche beeinflussen und die sich aus den Primärdaten ableiten lassen, wurden folgende für die Versuchsauswertungen als wichtig angesehen:

- Ertrag,
- Schwadmasse,
- Schwadabstand,
- Schlaglänge,
- Wendezeiten,
- Ballenvolumen, -dichte, -masse,
- Lademasse und
- Arbeitsgeschwindigkeit.

An dieser Stelle ist anzumerken, daß unter bestimmten Umständen ein und dieselbe Größe je nach Betrachtungsweise sowohl Einflußgröße als auch Kriterium sein kann (z.B. Ballendichte).

Als Primärdaten wurden

- Zeiten,
- Wege,
- Massen,
- Verbräuche (Volumina) und
- Trockensubstanzgehalte bestimmt.

In die Kalkulation der Kosten der Arbeitserledigung gingen neben der verfahrenstechnischen Leistung monetäre Primärdaten ein, die aber nicht durch eine versuchstechnische Messung bestimmt werden mußten.

Neben der absoluten Werteermittlung der Primärdaten war es wichtig, darauf zu achten, daß sich die einzelnen Primärdaten eindeutig einander zuordnen lassen (z.B. Zeit, Weg, Masse, Abmessung *je* Halmgutballen). Nur so konnten für die Auswertung brauchbare Datensätze erstellt werden.

### 3.1.3 Bestimmung der Primärdaten

Die zurückgelegten Wege der Erntemaschine wurden im einfachsten Fall mit dem Meßrad und die dazugehörigen Zeiten mit der Stoppuhr oder dem Triostopp bestimmt. Am häufigsten wurde für die Untersuchungen an Rund- und Quaderballenpressen allerdings das Kraftstoffverbrauchsmeßgerät KVM 82-2 eingesetzt. Mit dem Gerät konnte der verbrauchte Kraftstoff über einen im Kraftstoffkreislauf installierten Flügelradgeber erfaßt werden. Die Impulse eines Initiators gaben analog dazu den zurückgelegten Weg wieder. Intern im Gerät wurde die abgelaufene Zeit bestimmt. Somit war es grundsätzlich möglich, jedem Ballen seinen spezifischen Kraftstoffverbrauch sowie seine Weg- und Zeitdaten zuzuordnen. Sehr wichtig war es weiterhin, daß mit dem KVM 82-2 die Primärdaten auch für die reine Arbeitszeit, für das Wenden am Vorgewende, für Standzeiten beim Binden (Rundballen) und sonstige Zeitarten bestimmt werden konnten.

In der Regel erfolgt die Datenerfassung in Schriftform. Nach der Versuchsperiode wurden die Daten in den Computer eingegeben. Bei den Untersuchungen zur Quaderballenpresse Krone Big Pack 120-80 wurden die Impulse für Kraftstoff und Weg sowie der Bindenadelimpuls allerdings mittels Telemetrieanlage Compact 256 zur mobilen Datenaufzeichnungsstation übertragen. Dort erfolgte die Aufzeichnung der Daten auf den DAT-Recorder SONY PC 116. Neben den aufgezeichneten Weg-, Kraftstoff- und Bindeimpulsen wurden auf einem vierten Kanal Störzeiten und Wendezeiten manuell markiert. Auf dem PC erfolgte dann die Umwandlung der analog aufgezeichneten Daten in digitale Werte. Damit war eine Weiterverarbeitung in Tabellenkalkulationsprogrammen möglich (vgl. HERRMANN 1993b).

Das Wiegen der Ballen erfolgte mit einer am Institut für Agrartechnik und Landeskultur gefertigten Wägeeinrichtung, welche an einen Traktor montiert wurde. Diese Wägeeinrichtung bestand aus einer Ballenzange und einem elektronischen Kraftmesser. Beim Vermessen und Wiegen der Ballen wurden gleichzeitig die Anzahl der nicht gebundenen oder gerissenen Bindungen erfaßt, so daß daraus die Bindsicherheit bestimmt werden konnte.

Für die Analyse der Transportarbeitsgänge war besonders die Bestimmung des Zeitbedarfes für die Be- und Entladung sowie weiterer Teilarbeiten von Bedeutung. Lademassen wurden über die Ballenanzahl je Transportmittel oder durch Wiegen der Transportfahrzeuge bestimmt.

Ernteerträge bzw. Schwadmassen wurden in der Regel indirekt über die Ballen- bzw. Lademasse und den dafür zurückgelegten Weg ermittelt. Diese Methode ist wesentlich genauer als eine Massebestimmung durch Probenahme im Schwad.

Die Ermittlung der Gutfeuchte erfolgte über die Entnahme einer Probe mit drei Wiederholungen aus dem Schwad und anschließender Trocknung bei einer Temperatur von 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz.

### 3.2 Zeitgliederungsschema

Für die exakte Quantifizierung von Kriterien, die einen Zeitbezug besitzen, ist eine logische sowie eine einfach erweiterbare und modifizierbare Gliederung der Arbeitszeit unerlässlich. Die Notwendigkeit einer detaillierten Zeitgliederung für die Analyse und Modellierung der Verfahrensabläufe wurde bereits dargelegt (vgl. Abschnitt 2.5.1).

Die Untersuchungen und die Modellbildung erfolgten auf der Grundlage der Zeitgliederung nach TGL 22289 (Abb. 5). Als allgemeines Zeitsymbol wird in ihr der Buchstabe "T" verwendet. Zeitangaben, die sich auf eine andere Größe beziehen (spezifische Teilzeiten oder spezifische Zeitsummen), werden in den eigenen Untersuchungen zur Unterscheidung von absoluten Zeiten durch "t" symbolisiert (z.B.  $t_{11}$  - Zeit je Beladevorgang beim Transport,  $t_{21}$  - Zeit je Wendung).

Die Symbole der einzelnen Teilzeiten und Zeitsummen unterscheiden sich durch die verwendeten Indizes. Dabei findet in der TGL 22289 das numerische Indexsystem Anwendung. Bei der Untersuchung von Verknüpfungen zwischen Arbeitsgängen wird im vorzustellenden Modell der numerische Index durch einen zusätzlichen Buchstaben ergänzt. Durch den hinzugefügten Buchstaben wird der entsprechende Arbeitsgang gekennzeichnet (z.B.  $T_{02E}$  - Operativzeit im Erntearbeitsgang).

Die Zeitgliederung der TGL 22289 hat acht grundsätzliche Zeitebenen ( $T_1$  bis  $T_8$ ). Die reine Arbeitszeit  $T_1$  (Grundzeit) und die Zeit für wiederkehrende Hilfsoperationen  $T_2$  (Hilfszeit) bilden in ihrer Summe die Operativzeit  $T_{02}$ . In Abweichung von der TGL-Zeitgliederung werden die in Fließarbeitsverfahren zyklisch auftretenden Wartezeiten als wiederkehrende Hilfsoperationen angesehen. Um die als  $T_{25}$  bezeichnete zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit in der Operativzeit berücksichtigen zu können, wird die erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  als zusätzliche Zeitsumme eingeführt. Die zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $T_{25}$  entspricht der Wartezeit  $T_{44}$  in der TGL 22289. Mit der Unterscheidung zwischen Operativzeit und erweiterter Operativzeit soll klar ausgewiesen werden, ob bei Kriterien mit Operativzeitbezug zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten berücksichtigt wurden oder nicht.

$T_1$  - Grundzeit

$T_2$  - Hilfszeit (Zeit für wiederkehrende Hilfsoperationen)

$T_{21}$  - Wendezeit

$T_{22}$  - Leerfahrtzeit (Zeit für Fahrten am Arbeitsort)

$T_{23}$  - Versorgungszeit (Zeit für die Übergabe oder Übernahme von Stoffen)

$T_{25}$  - zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit (Wartezeit in Fließarbeitsverfahren)  
**ersetzt im Modell  $T_{44}$**

Operativzeit

$$T_{02} = T_1 + T_2$$

Erweiterte Operativzeit

$$T_{025} = T_{02} + T_{25}$$

$T_3$  - Zeit für Pflege und Wartung (Rüstzeit)

$T_{31}$  - Tägliche Pflege und Wartung

$T_{32}$  - Vorbereitungs- und Abschlußzeiten

$T_{33}$  - Zeit für Maschineneinstellungen

$T_4$  - Störzeit (Zeit für die Beseitigung von Störungen)

$T_{41}$  - Funktionelle Störzeit

$T_{42}$  - Technische Störzeit

$T_{43}$  - Standzeit durch Störungen bei anderen Maschinen in einer Maschinenkette

$T_{44}$  - Wartezeit durch unvollkommene Leistungsabstimmung in einer Maschinenkette  
**entfällt im Modell zugunsten  $T_{25}$**

Produktionsarbeitszeit

$$T_{04} = T_{02} + T_3 + T_4$$

$T_5$  - Erholungszeit (Zeit für Kurzpausen)

Stückzeit (Feldarbeitszeit)

$$T_{05} = T_{04} + T_5$$

$T_6$  - Wegezeit

$T_{61}$  - Zeit für die Fahrt vom Standort zum Arbeitsort

$T_{62}$  - Zeit für die Fahrt zwischen verschiedenen Arbeitsorten

$T_7$  - Zeit für Pflege und Wartung der Maschine,  
 die mit der Prüfmaschine aggregiert ist  
**entfällt im Modell, wird in  $T_3$  mit berücksichtigt**

$T_8$  - Sonstige Verlustzeiten

$T_{81}$  - Verlustzeit aus organisatorischen Gründen

$T_{82}$  - Verlustzeit wegen ungünstiger Witterung

$T_{83}$  - Verlustzeit aus anderen Gründen

Gesamtarbeitszeit

$$T_{08} = T_{05} + T_6 + T_7 + T_8$$

Abb. 5: Zeitgliederung nach TGL 22289 (vgl. ANONYM 1974)

Die letzte wichtige Zeitsumme für die Modellbetrachtung stellt die Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  dar. In sie gehen zusätzlich zur Operativzeit  $T_{02}$  die Zeit für Pflege und Wartung (Rüstzeit)  $T_3$ , die Zeit für die Beseitigung von Störungen  $T_4$ , die Zeit für Kurzpausen  $T_5$ , die Wegezeiten  $T_6$  und die Zeiten für sonstige Verlustzeiten  $T_8$  ein. In der TGL 22289 gehört zur Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  noch die Zeit für die Wartung und Pflege der mit der Prüfmaschine aggregierten Maschine  $T_7$ . Die  $T_7$  ist als selbständige Teilzeit für die Fragestellung des Modells uninteressant. Sie geht sinnvollerweise in die Zeit für Pflege und Wartung  $T_3$  mit ein.

Für die untersuchten Arbeitsgänge wurden spezielle Zeitgliederungsschemata entwickelt, die auf der TGL 22289 aufbauen, aber die Besonderheiten der Arbeitsgänge und der Versuchsfragestellung berücksichtigen (Tab. A1 bis A3).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Kosten der Arbeitserledigung

#### 4.1.1 Modellgrundlagen

Die Kosten sind ein entscheidendes Kriterium bei der Verfahrensbewertung. Sie stellen den Geldwert der ganz oder teilweise verbrauchten Produktionsmittel dar (REISCH 1984). Die betriebswirtschaftliche Gliederung der Kosten in fixe und variable Kosten ist für eine Verfahrensanalyse in der Regel nicht differenziert genug. Sind die Aufwendungen für eingesetzte Materialien und Rohstoffe (Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel u.ä.) in den zu bewertenden Verfahrensvarianten gleich, können sie bei der Kostenermittlung vernachlässigt werden. Für den Verfahrensvergleich von Ernte- und Transportarbeitsgängen ist es dann ausreichend, lediglich die finanziellen Aufwendungen für Maschinen und Geräte und für die im Verfahren eingesetzten Arbeitskräfte zu betrachten. Für die Quantifizierung dieser Größen stellen die Kosten der Arbeitserledigung ein praktikables monetäres Kriterium dar.

Für die Modellbetrachtung wird prinzipiell auf die allgemein anerkannte und bewährte Kostentheorie für die monetäre Charakterisierung von Arbeitsgängen zurückgegriffen

(SCHÖN et. al., 1998). Genauere Methoden für die Kostenkalkulation werden immer wieder vorgeschlagen (WEIERSHAEUSER 1989, UPPENKAMP 1995). Eine grundlegende Analyse der Kostenkalkulationsmethoden ist allerdings nicht Anliegen der vorliegenden Untersuchungen. Wichtig für die Bewertung von Verfahren ist allerdings, daß die Kosten als spezifische Kosten ausgewiesen werden. Das heißt, sie sollten in Aufsammel-, Verteil-, Umschlag-, Transport- und Lagerverfahren immer auf das realisierte Produkt (Masse, Volumen, Anzahl) bezogen werden, da sich der Wert von Arbeitskräften und Arbeitsmitteln letztlich in den Produkten niederschlägt.

Eine flächenbezogene Ausweisung der Kosten, wie sie in der Betriebswirtschaft üblich ist, ist für wissenschaftliche Vergleiche auf der Ebene der Verfahren in der Regel abzulehnen. In der Betriebswirtschaft ist der Flächenbezug der Kosten dadurch gerechtfertigt, daß ihnen monetäre flächenbezogene Erträge gegenübergestellt werden können. Dies ist bei Betrachtungen auf Verfahrensebene in den meisten Fällen nicht sinnvoll oder nicht möglich. Hier würde die ausschließliche Ausweisung flächenbezogener Kosten unter Umständen zu falschen Einschätzungen führen, da sich die Kosten der Arbeitserledigung in Abhängigkeit bestimmter Einflußgrößen diametral auseinander bewegen. Das heißt, steigenden produktbezogenen Kosten würden sinkende flächenbezogene Kosten gegenüberstehen. Ausnahmen vom Produktbezug der Kosten sind lediglich bei Arbeitsgängen angebracht, bei denen keine andere Bezugsgröße als die Fläche möglich ist (z.B. Bodenbearbeitung, Pflege).

Soll die Masse den spezifischen Kosten der Arbeitserledigung als Bezugsgröße zugrunde gelegt werden, ist die Beziehung zwischen folgenden Größen zu berücksichtigen:

- Masseleistung in der Gesamtarbeitszeit  $\dot{m}_{T08}$  [t/h],
- Einsatztage des Verfahrens im Jahr  $T_d$  [d/a],
- tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  [h/d],
- Erntefläche im Jahr  $A_a$  [ha/a] und
- Ernteertrag  $m_A$  [t/ha]

$$T_d * T_{08} * \dot{m}_{T08} = A_a * m_A \quad \text{mit} \quad T_d * T_{08} = \text{Ausn} \text{ [h/a]} \quad (2)$$

Generell werden für die Kostenberechnung betriebliche Durchschnittswerte für die genannten Größen berücksichtigt. Diese Vorgehensweise ist für die langfristige Verfahrensplanung im Betrieb und für die Bewertung von Verfahren unter betrieblichen Einsatzbedingungen ausreichend. Bei Bedarf ist eine noch differenziertere Betrachtung möglich.

Die Kosten der Arbeiterledigung sollen folgende wesentliche Kostenelemente als Summe berücksichtigen:

- Abschreibung  $K_A$
  - Zinsen  $K_Z$
  - Reparaturen  $K_R$
  - Dieseldieselkraftstoff  $K_{DK}$
  - Hilfsmaterial  $K_H$
  - Arbeitskraft  $K_{AK}$
- } Festkosten  $K_F$

$$K_{AE} = K_A + K_Z + K_R + K_{DK} + K_H + K_{AK} \quad (3)$$

Kosten für Unterbringung und Versicherung sowie die Kosten für Schmierstoffe sind in der Regel kalkulatorisch ermittelte Kostenbestandteile, die keinen großen Einfluß auf die Gesamtkosten ausüben und aus der Sicht des Modells keinen methodisch interessanten Bestandteil darstellen. Aus diesem Grund werden sie in den Kalkulationen nicht berücksichtigt. Die einzelnen Kostenelemente werden von mehreren Größen beeinflusst (Abb 6). Die Masseleistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  ist für viele Kostenelemente bei der Ernte und beim Transport von besonderer Bedeutung.

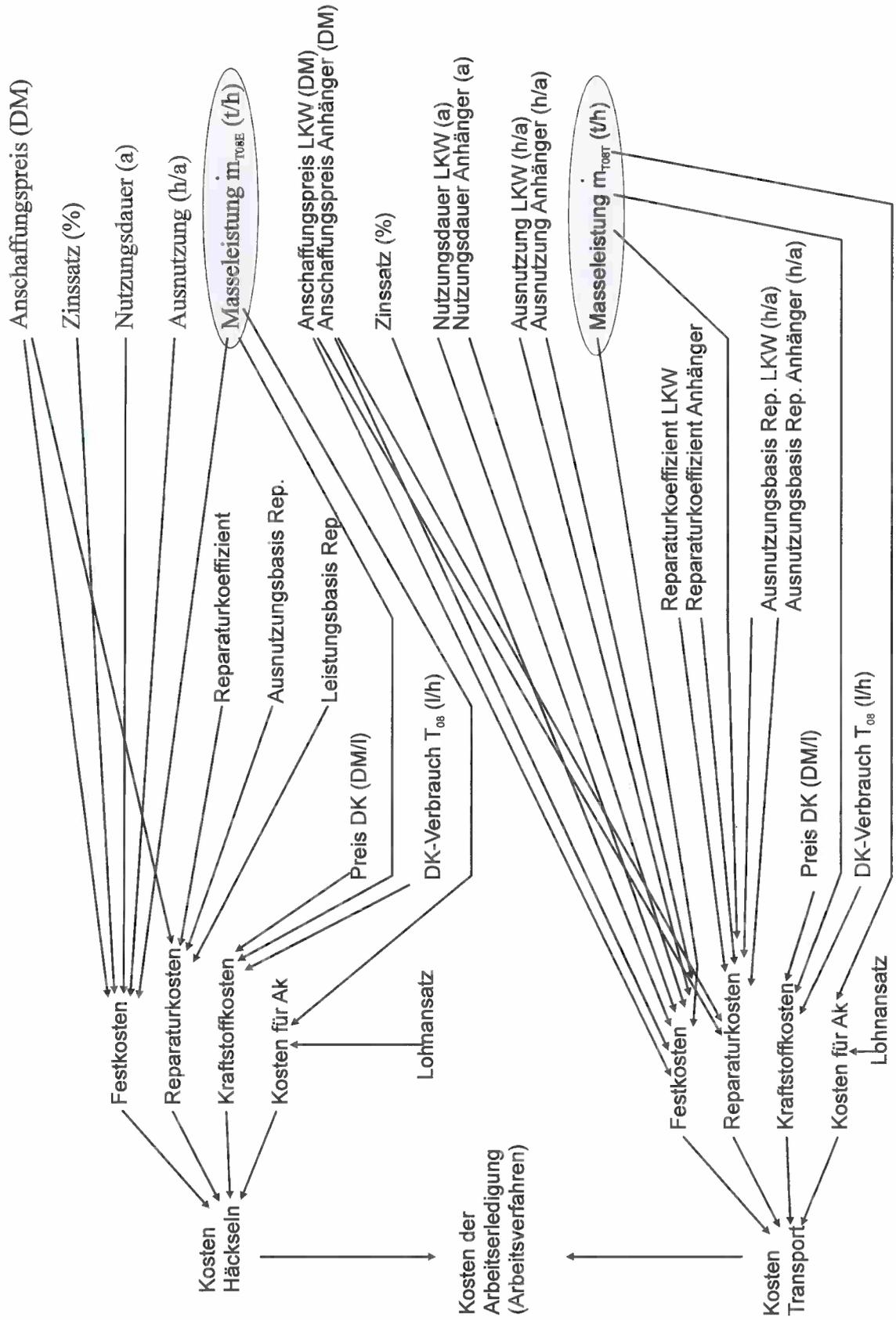


Abb. 6: Struktur des Kostenmodells für die Weikuternte mit dem Feldhäcksler im Parallelverfahren

4.1.2 Festkosten  $K_F$ 

Die spezifischen massebezogenen Festkosten lassen sich für Maschinen unterschiedlich berechnen. Unter Berücksichtigung von (2) ergeben sich prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Kosten für Abschreibung und Zinsen darzustellen:

$$K_F = \frac{AP}{ND * A_a * m_A} + \frac{AP * Zinssatz}{2 * A_a * m_A} \quad (4a)$$

$$K_F = \frac{AP}{ND * Ausn * \dot{m}_{T08}} + \frac{AP * Zinssatz}{2 * Ausn * \dot{m}_{T08}} \quad (4b)$$

Beide Ansätze sind grundsätzlich zur Festkostenberechnung von Maschinen geeignet, die ausschließlich für eine Arbeitsart konzipiert sind (z.B. Rübenroder, Kartoffelroder). Für Maschinen, die mehrere Arbeitsaufgaben übernehmen können, sollen die massebezogenen Festkosten nur anteilmäßig für das zu bewertende Verfahren berücksichtigt werden. Gute Beispiele für diese Art von Mechanisierungsmitteln sind Traktoren und Universaltransportmittel. Für die massebezogene Festkostenberechnung eignet sich unter diesen Umständen nur Formel (4b) in abgewandelter Form:

$$K_F = \frac{AP}{ND * \left( \sum_1^n Ausn_n \right) * \dot{m}_{T08}} + \frac{AP * Zinssatz}{2 * \left( \sum_1^n Ausn_n \right) * \dot{m}_{T08}} \quad (4c)$$

Dabei werden die Einsatzzeiten für alle Arbeitsaufgaben im Jahr addiert, aber nur die Leistung in der Gesamtarbeitszeit für den zu untersuchenden Arbeitsgang berücksichtigt.

Beim Traktortransport mit zwei Anhängern bezieht sich die Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $\dot{m}_{T08}$  nicht auf einen Anhänger, sondern auf die Transporteinheit. Der Einsatz von zwei Anhängern wird lediglich durch Verdoppelung des Anschaffungspreises berücksichtigt:

$$K_F = \frac{2 * AP}{ND * \left( \sum_1^n Ausn_n \right) * \dot{m}_{T08}} + \frac{2 * AP * Zinssatz}{2 * \left( \sum_1^n Ausn_n \right) * \dot{m}_{T08}} \quad (4d)$$

Bei der Ermittlung der Kosten der Arbeitserledigung in Abhängigkeit von der Ausnutzung wird oft eine Abschreibungsschwelle berücksichtigt. Sie stellt den Quotienten aus der Nutzungsdauer nach Arbeit (voraussichtliche Lebensdauer in h, ha oder t) und der Nutzungsdauer nach Jahren dar. Ist der tatsächliche jährliche Einsatzumfang der Maschine kleiner als die Abschreibungsschwelle, wird nach Zeit abgeschrieben, ist er größer, erfolgt die Abschreibung in der Regel nach Leistung (WEIERSHÄUSER 1990). Diese Vorgehensweise wird prinzipiell als sinnvoll angesehen. Aus zwei Gründen wird sie jedoch bei den Modellbetrachtungen nicht berücksichtigt:

1. Aus Formel (2) ist ersichtlich, daß kein proportionaler Zusammenhang zwischen geernteter Fläche und Masse sowie der benötigten Zeit besteht. Somit können für eine Maschine bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen der Wertesatz Lebensdauer nach Zeit, nach geernteter Fläche und nach geernteter Masse sehr unterschiedlich sein. Ein eindeutiger Punkt der Lebensdauer läßt sich damit nicht festlegen.
2. Die Degression der Festkosten kann ohne Berücksichtigung der Abschreibungsschwelle über den gesamten Wertebereich betrachtet werden. Der Kostenvergleich von Arbeitsgängen und Verfahren wird dadurch generell auf der gleichen Ebene, der Abschreibung nach Zeit, geführt.

Bei der Berechnung der Festkosten wurde davon ausgegangen, daß der Wert einer Maschine nach Ablauf der Lebensdauer aufgezehrt ist. Ein Restwert wurde demzufolge nicht berücksichtigt.

### 4.1.3 Reparaturkosten $K_R$

Die Ermittlung der Reparaturkosten ist schwierig. In der Literatur werden für ihre Kalkulation mehrere Vorgehensweisen empfohlen.

Von MEIßER (1994b) werden für die alten Bundesländer jährliche Reparaturkosten von 4 bis 8 % des Anschaffungspreises einer Maschine genannt, wobei im Einzelfall große Abweichungen von diesen Angaben auftreten können. KOWALEWSKY (1992) rät zurecht von einer Kalkulation der Reparaturkosten auf der Basis eines Prozentsatzes vom Anschaffungspreis einer Maschine ab. Bei der angestrebten massebezogenen Ausweisung der Kosten würden bei einer Verdoppelung der jährlichen Maschinenausnutzung die massebezogenen Reparaturkosten halbiert werden. Damit ist dieser Ansatz zur Reparaturkostenkalkulation ungeeignet.

Im verwendeten Modell wird postuliert, daß die massebezogenen Reparaturkosten bei Erntemaschinen unabhängig von der Maschinenausnutzung konstant sind. Zum Zweck der Reparaturkostenkalkulation wird zwar von einem prozentualen Anschaffungspreis als Grundlage ausgegangen. Die so ermittelten jährlichen Reparaturkosten werden allerdings auf eine mittlere jährliche Ausnutzung und auf eine mittlere verfahrenstechnische Leistung der Maschine in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  bezogen:

$$K_R = \frac{k_R * AP}{Ausn_R * \dot{m}_{T08R}} = const. \quad (5a)$$

Es wird unterstellt, daß je Produkteinheit immer die gleichen Reparaturkosten anfallen. Die je Zeiteinheit anfallenden Reparaturkosten verhalten sich damit proportional zur verfahrenstechnischen Leistung in  $T_{08}$ . Der so ermittelte Wert der massebezogenen Reparaturkosten wird unabhängig von der tatsächlichen Ausnutzung und von der tatsächlichen Leistung der Maschine zugrunde gelegt.

Für Traktoren und Transportmittel wird der Ansatz (5a) etwas verändert. Hier wird davon ausgegangen, daß unabhängig von der verfahrenstechnischen Leistung in  $T_{08}$  je Zeiteinheit immer die gleichen Reparaturkosten anfallen.

Damit verhalten sich die massebezogenen Reparaturkosten indirekt proportional zur Leistung in der Gesamtarbeitszeit:

$$K_R = \frac{k_R * AP}{Ausn_R * \dot{m}_{T08}} \quad (5b)$$

Bei der Kalkulation der Reparaturkosten wird vernachlässigt, daß mit fortschreitendem Alterungsprozeß der Maschinen die Reparaturkosten tendenziell steigen. Der Zusammenhang zwischen fortschreitendem Lebensalter der Maschinen und Reparaturkosten ist im hohen Maße stochastisch. Es gibt immer wieder Versuche, diesen Zusammenhang zu quantifizieren, um genauere Aussagen über die Reparaturkosten zu gewinnen (MORRIS 1989, PICCAROLO et. al. 1989, SVENSSON 1989). Die Modellansätze konnten sich allerdings bisher nicht durchsetzen. Sie sollen deswegen im eigenen Modell unberücksichtigt bleiben.

#### 4.1.4 Kosten für Dieselkraftstoff $K_{DK}$

Die zeitbezogenen Kosten für den verbrauchten Kraftstoff lassen sich als Produkt aus Kraftstoffpreis [DM/l] und Kraftstoffverbrauch in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  [l/h] darstellen. Dividiert man die zeitbezogenen Kosten durch die verfahrenstechnische Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ , erhält man die massebezogenen Kosten:

$$K_{DK} = \frac{Preis_{DK} * \dot{V}_{DKT08}}{\dot{m}_{T08}} \quad (6)$$

Der Kraftstoffverbrauch läßt sich in der Grundzeit  $T_1$  gut kalkulieren. Er ist das Produkt aus Motornennleistung  $P_{Nenn}$ , spezifischem Kraftstoffverbrauch  $\dot{V}_{PT1}$  und einem Auslastungskoeffizienten  $k_{Ausl}$ :

$$\dot{V}_{DKT1} = k_{Ausl} * P_{Nenn} * \dot{V}_{PT1} \quad (7)$$

Benötigt wird für die Kalkulation der massebezogenen Kraftstoffkosten nach Formel (6) aber der Kraftstoffverbrauch in der Gesamtarbeitszeit ( $\dot{V}_{DKT08}$ ). Die Kalkulation des Kraftstoffverbrauchs in höheren Zeitsummenebenen und somit auch in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  ist allerdings problematisch. Hier lassen sich die Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und Kraftstoffverbrauch nicht zufriedenstellend darstellen. Es läßt sich auch kein Zusammenhang zwischen dem Verbrauch in der Grundzeit ( $\dot{V}_{DKT1}$ ) und dem Kraftstoffverbrauch in höheren Zeitsummenebenen ( $\dot{V}_{DKTi}$ ) bestimmen. Somit bleibt als pragmatischer Ansatz für die Ermittlung des Kraftstoffverbrauches einer Maschine in der Gesamtarbeitszeit ( $\dot{V}_{DKT08}$ ) das Messen des täglichen Kraftstoffverbrauches. Dieser kann dann in Beziehung zur täglichen Arbeitszeit  $T_{08}$  gesetzt werden. Aus mehreren Wiederholungen kann ein durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch ( $\dot{V}_{DKT08}$ ) bestimmt und für Kalkulationszwecke genutzt werden. Der Öl- und Schmiermittelverbrauch wurde in der Kalkulation vernachlässigt. Soll er berücksichtigt werden, können für ihn ca. 2 % des Kraftstoffverbrauches unterstellt werden.

#### 4.1.5 Kosten für Hilfsmaterial $K_H$

Hilfsmaterial wurde in den in Tabelle 2 vorgestellten Versuchen ausschließlich bei der Halmguternte mittels Großballenpressen benötigt. Dabei handelte es sich bei Rundballenpressen um Bindegarn und Wickelnetz, bei Quaderballenpressen ausschließlich um Bindegarn. Für Rund- und Quaderballen lassen sich die Kosten beim Einsatz von Bindegarn folgendermaßen darstellen:

$$K_H = \frac{\text{Preis}_{Garn} * l_{Garn/GB}}{\text{Lauflänge} * m_{GB}}$$

$$\text{mit } l_{Garn/GB} = l_{Garn/QB} = 2 * n_B * h_{QB} + 2 * n_B * l_{QB}$$

(nur für Quaderballen)

$$\text{mit } l_{Garn/GB} = l_{Garn/RB} = n_W * \Pi * d_{\Pi}$$

(nur für Rundballen)

(8)

Rundballen können auch mit Netz gebunden werden. Die Kosten für den Netzeinsatz lassen sich folgendermaßen berechnen :

$$K_H = \frac{\text{Preis}_{\text{Netz}} * A_{\text{Netz/RB}}}{m_{\text{RB}}} \quad \text{mit} \quad A_{\text{Netz/RB}} = n_W * \Pi * d_{\Pi} * h_{\text{RB}} \quad (9)$$

#### 4.1.6 Arbeitskosten $K_{\text{AK}}$

Die Kosten für die Arbeitskraft sind der Quotient aus dem Lohnansatz und der verfahrenstechnischen Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  :

$$K_{\text{AK}} = \frac{\text{Lohnansatz}}{\dot{m}_{T08}} \quad (10)$$

Der Lohnansatz beinhaltet die Lohnkosten und die Lohnnebenkosten. Als realistische Größenordnung für den Lohnansatz werden für Maschinenarbeiten in Anlehnung an die Richtwerte des KTBL 25,- DM/h angesehen (ANONYM 1996/1997).

## 4.2 Verfahrenstechnische Leistung

### 4.2.1 Modellgrundlagen

Die verfahrenstechnische Leistung ist ein wichtiges Kriterium für die Verfahrensbewertung. Die in den Abschnitten 4.1.1 bis 4.1.6 vorgestellte Analyse der Kosten der Arbeits erledigung zeigt aber, daß außer bei den Kosten für Hilfsmaterial die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T08}$  in der Regel eine Schlüsselstellung bei der Berechnung der einzelnen Kostenelemente einnimmt.

In Anlehnung an (1) stellt die Masseleistung in einer bestimmten Zeitsummenebene den Quotient aus Masse und Zeitsumme dar:

$$\dot{m}_{T_i} = \frac{m_{T_i}}{T_i} \quad (11)$$

Formel (11) ist in der dargestellten Form für kalkulatorische Zwecke allerdings unbrauchbar, da das Verhältnis zwischen realisierter Masse in der zugrunde gelegten Zeitsummenebene von vielen Einflußgrößen abhängt. Lediglich nach der Durchführung bestimmter Arbeitsgänge in der Praxis kann auf der Grundlage der ermittelten Masse und der verbrauchten Zeit die tatsächliche Masseleistung für die gegebenen Einsatzbedingungen bestimmt werden.

Der einfachste Weg zur massebezogenen Kostenkalkulation ist die Unterstellung von Durchschnitts- oder Erfahrungswerten für die verfahrenstechnische Leistung. Damit werden allerdings die konkreten Einsatzbedingungen in einem Betrieb nur unzureichend erfaßt.

Für die Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung sollen die Zeitebenen Grundzeit  $T_1$ , Operativzeit  $T_{02}$  und Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  betrachtet werden. Bei der Kalkulation der Leistung geht es darum, daß sie auf der Grundlage von wesentlichen und leicht bestimm- baren (= meßbaren oder in ihrer Größenordnung bekannten) Einflußgrößen bestimmt werden kann. Die Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und Leistungsbestandteilen (Masse und Zeit) sollen möglichst deterministisch sein, um unrealistische Kalkulations- ergebnisse durch Kombinationseffekte der Stochastik verschiedener Zusammenhänge möglichst vermeiden zu können.

In Ernteverfahren sind in den einzelnen Zeitsummen folgende ausgewählte Größen von leistungsbeeinflussender Bedeutung:

- Grundzeit  $T_1$  (KTBL = Hauptzeit): Ertrag, Arbeitsbreite, Arbeitsgeschwindigkeit,
- Operativzeit  $T_{02}$  (KTBL = Grundzeit): Schlaglänge, Wendezeit,
- Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$   
(KTBL=Gesamtarbeitszeit): Rüstzeiten, Störzeiten, Zeiten für Kurzpausen, Schlaggröße (Länge und Breite), Entfernung vom Standort zum Arbeitsort, Entfernung zwischen den Arbeitsorten.

Modellbetrachtungen zur Leistung nehmen in höheren Zeitebenen an Komplexität zu.

Für stochastische Zusammenhänge im Modell sind die Einflußgrößen mit feststehenden Maßeinheiten zu verwenden. Da stochastische und deterministische Zusammenhänge im Modell miteinander verknüpft sind, wurde aus pragmatischen Gründen diese Vorgehensweise auf alle Formeln ausgedehnt. Die verwendeten Maßeinheiten sind dem Abschnitt 0, Formelzeichen und Maßeinheiten, zu entnehmen.

#### 4.2.2 Arbeitsgang Ernte

##### 4.2.2.1 Modell auf der Basis Grundzeit $T_1$

Leistungsanalysen auf der Zeitbasis  $T_1$  sind aus technischer und verfahrenstechnischer (technologischer) Sicht möglich (vgl. Abschnitt 2.4). Im Zusammenhang mit der Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung in der Grundzeit ist die Beschreibung des technologischen Durchsatzes  $\dot{m}_{T1}$  von besonderem Interesse. Er läßt sich durch die Größen Ertrag ( $m_A$ ), Arbeitsbreite ( $b_{eff}$ ) und Arbeitsgeschwindigkeit ( $v$ ) beschreiben:

$$\dot{m}_{T1} = 0,1 * m_A * b_{eff} * v \quad (12a)$$

Für Arbeitsgänge, in denen das Erntegut aus dem Schwad aufgenommen wird, kann auch die Schwadmasse unter Berücksichtigung des deterministischen Zusammenhanges

$$m_S = 0,1 * m_A * b_{eff} \quad (13)$$

als Einflußgröße zur Berechnung des technologischen Durchsatzes herangezogen werden. Damit ist es möglich, für Halmguterntemaschinen den technologischen Durchsatz in Abwandlung von (12a) folgendermaßen darzustellen:

$$\dot{m}_{T1} = v * m_S \quad (12b)$$

Mit (12a) und (12b) kann der technologische Durchsatz auf der Grundlage einfach zu

bestimmender Einflußgrößen kalkuliert werden. Zu beachten ist allerdings, daß die Arbeitsgeschwindigkeit keine grenzenlos frei wählbare Größe darstellt. In Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Arbeitsgeschwindigkeit nur in geringem Umfang von der Bedienperson der Maschine abhängt. Stärker als von unterschiedlichen Bedienpersonen wird die Arbeitsgeschwindigkeit durch die Einsatzbedingungen beeinflusst (MEYER 1986, SAHNEN 1986, JÄGER 1992).

In eigenen Versuchen wurde untersucht, inwieweit sich Durchsatz und Arbeitsgeschwindigkeit unabhängig voneinander beschreiben lassen. Diese Untersuchungen wurden ausschließlich in Halmguternteverfahren durchgeführt, so daß stochastische Zusammenhänge zwischen Durchsatz und Schwadmasse sowie zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Schwadmasse gesucht wurden.

Beim Einsatz von Quaderballenpressen in der Strohernte lassen sich in Abhängigkeit von der Schwadmasse drei charakteristische Zustandsbereiche von Geschwindigkeit und Durchsatz abgrenzen:

1. Maximale Arbeitsgeschwindigkeit bei geringen Schwadmassen
2. Steigender Durchsatz und sinkende Arbeitsgeschwindigkeit bei steigender Schwadmasse im mittleren Schwadmassenbereich
3. Maximaler Durchsatz bei hohen Schwadmassen.

Daraus leitet sich die Überlegung ab, den technologischen Durchsatz und die Arbeitsgeschwindigkeit mit je drei Funktionsansätzen zu beschreiben. Unter Berücksichtigung des deterministischen Zusammenhangs zwischen Schwadmasse, Geschwindigkeit und Durchsatz, wie er in Formel (12b) vorgestellt wurde, lassen sich die beiden Zielgrößen in den drei genannten Schwadmassenbereichen folgendermaßen darstellen:

$$1. \quad v = v_{\max} ; \quad \dot{m}_{TI} = v_{\max} * m_S \quad (14;15)$$

$$2. \quad v = \frac{a}{m_S} + b ; \quad \dot{m}_{TI} = a + b * m_S \quad (16;17)$$

$$3. \quad v = \frac{\dot{m}_{TI\max}}{m_S} ; \quad \dot{m}_{TI} = \dot{m}_{TI\max} \quad (18;19).$$

Der Vorteil der Beschreibung von Durchsatz und Arbeitsgeschwindigkeit mit je drei linearen Funktionen gegenüber der Beschreibung der Zusammenhänge mit je einer Funktion besteht in der Anwendbarkeit einfacher Funktionsansätze und in der deutlichen Abgrenzung der Maxima von Durchsatz und Geschwindigkeit. Nachteilig ist die ungenügende Interpretierbarkeit der Schnittpunktbereiche (HERRMANN, K. und HERRMANN 1991; HERRMANN et al. 1993).

Die Funktionen (14 bis 19) gelten prinzipiell auch für Rundballenpressen. Hier beziehen sie sich allerdings nur auf die reine Preßzeit  $T_{11}$ . Für das Leistungsverhalten einer Rundballenpresse in der Grundzeit  $T_1$  muß aber die Leistung in der Preßzeit  $T_{11}$  und das Verhalten der Maschine während der Standzeit beim Wickeln und Ausstoßen der Ballen  $T_{12}$  im Zusammenhang betrachtet werden. Dafür wird die Arbeitsgeschwindigkeit in (12b) zunächst als Quotient aus Schlaglänge  $s_1$  und Preßzeit je Schwad  $t_{11}$  ausgedrückt:

$$\dot{m}_{T11} = \frac{s_1}{t_{11}} * m_s \quad (12c)$$

Um die Masseleistung einer Rundballenpresse  $\dot{m}_{T1}$  darstellen zu können, wird in Formel (12c) zusätzlich die Zeit für das Wickeln und Ausstoßen der Ballen je Schwad eingefügt. Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$\dot{m}_{T1} = \frac{s_1}{t_{11} + n_{RB} * t_{12}} * m_s \quad (20).$$

Die Preßzeit je Schwad  $t_{11}$  und die Ballenanzahl je Schwad  $n_{RB}$  sind für den Nutzer des Modells allerdings völlig ungeeignete Ausgangsgrößen. Als schwadmasseabhängige Variable können sie durch andere Ausdrücke ersetzt werden. Es bietet sich an, die Preßzeit je Schwad  $t_{11}$  durch Auflösung des Ansatzes (12c) nach  $t_{11}$  folgendermaßen zu beschreiben:

$$\dot{m}_{TII} = v * m_S = \frac{s_1}{t_{11}} * m_S$$

$$t_{11} = \frac{s_1 * m_S}{\dot{m}_{TII}} \quad (21)$$

Die Ballenanzahl je Schwad  $n_{RB}$  in Formel (20) ist der Quotient aus der Gutmenge eines Schwades (Produkt aus Schwadmasse  $m_S$  und Schlaglänge  $s_1$ ) und aus der Masse eines Rundballens  $m_{RB}$ :

$$n_{RB} = \frac{m_S * s_1}{m_{RB}} \quad (22).$$

Die Standzeit zum Wickeln und Ausstoßen des Ballens  $t_{12}$  könnte mit einem Durchschnittswert in Formel (20) eingehen. Genauere Aussagen läßt jedoch die Berücksichtigung der Wicklungszahl  $n_w$  zu. In den Versuchen wurde ein linearer stochastischer Zusammenhang zwischen der Wicklungszahl  $n_w$  und der Standzeit zum Wickeln und Ballenausstoßen  $t_{12}$  gefunden:

$$t_{12} = c + d * n_w \quad (23).$$

Für den Durchsatz einer Rundballenpresse in der Grundzeit  $T_1$  ergibt sich durch Einsetzen von (21; 22 und 23) in Formel (20) folgender allgemeingültiger Zusammenhang:

$$\dot{m}_{TI} = \frac{1}{\dot{m}_{TII}^{-1} + (c + d * n_w) * m_{RB}^{-1}} \quad (24).$$

Die Formel beschreibt den technologischen Durchsatz einer Rundballenpresse in der Grundzeit  $T_1$  (KTBL: Hauptzeit H) unter Berücksichtigung der Einflußgrößen Schwadmasse  $m_s$ , Ballenmasse  $m_{RB}$  und Wicklungszahl  $n_w$ . Innerhalb dieser Berechnungsvorschrift (24) sind für den Durchsatz in der Preßzeit  $\dot{m}_{T11}$  in Abhängigkeit von der Schwadmasse die entsprechenden Funktionsansätze anzuwenden (15; 17; 19). In Versuchen wurden die maschinenspezifischen Regressionskonstanten und Regressionskoeffizienten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  und  $d$  für verschiedene Rundballenpressen bestimmt (HERRMANN et. al. 1992). Vereinfacht kann  $\dot{m}_{T11}$  in Formel (24) auch mittels Formel (12a) oder (12b) dargestellt werden. Dabei gilt  $\dot{m}_{T11} = \dot{m}_{T1}$ .

Wichtig für die Bestätigung der Ansätze war die Untersuchung mehrerer Typen von Rund- und Quaderballenpressen sowie die Ermittlung einer ausreichenden Anzahl von Wertesätzen in den drei charakteristischen Schwadmassenbereichen. In mehreren Untersuchungen unter Praxisbedingungen konnten die Ansätze bestätigt werden (SORGE et. al. 1990, SORGE et. al. 1992a, SORGE et. al. 1992b, HERRMANN 1993). Vergleiche zwischen dem Rundballen- und dem Quaderballenverfahren wurden auf der Grundlage des Modells in verschiedenen Publikationen vorgenommen (HERRMANN und SORGE 1992, SORGE und HERRMANN 1992, SORGE und HERRMANN 1993).

Können in Versuchen für eine Maschine nur wenige Datensätze erfaßt werden, ist die Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie bzw. die Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie nur mit jeweils zwei Funktionen zu beschreiben. Dazu sind Messungen in niedrigen und hohen Schwadmassenbereichen durchzuführen. Die Formeln (16) und (17) sind zu vernachlässigen (PAPESCH und HERRMANN 1994). Damit wird der Zeitbedarf für die Datenermittlung wesentlich verkürzt. Die Aussagefähigkeit der so erhaltenen Zusammenhänge ist für viele Problemstellungen oft ausreichend.

#### 4.2.2.2 Modell auf der Basis Operativzeit $T_{02}$

Eine komplexere Darstellung der Masseleistung ist in der Operativzeit  $T_{02}$  möglich. Zur Beschreibung der Masseleistung in der Operativzeit ist das Produkt aus dem technologischen Durchsatz und einem Umrechnungsfaktor nicht geeignet. Die Einflüsse der

Schlaglänge  $s_1$  und der Wendezeit  $t_{21}$  erfordern vielmehr eine differenziertere Betrachtungsweise (HERRMANN und HERRMANN, K. 1991). Es wird daher vorgeschlagen, den deterministischen Zusammenhang zwischen Schwadmasse, Geschwindigkeit und Durchsatz (12b) folgendermaßen für die Berechnung der Masseleistung  $\dot{m}_{T02}$  abzuwandeln:

$$\dot{m}_{T02} = \frac{s_1}{t_{11} + t_{21}} * m_s \quad (25).$$

Da die Preßzeit je Schwad  $t_1$  von der Schwadmasse abhängig ist, muß sie durch schwadmasseunabhängige Variable ersetzt werden. Dies kann durch angepaßte Anwendung von Formel (21)

$$\begin{aligned} \dot{m}_{T1} &= v * m_s = \frac{s_1}{t_{11}} * m_s \\ t_{11} &= s_1 * \frac{m_s}{\dot{m}_{T1}} \end{aligned} \quad (21)$$

und Einsetzen des Ausdrucks in Formel (25) erfolgen:

$$\dot{m}_{T02} = \frac{1}{\dot{m}_{T1}^{-1} + t_{21} * s_1^{-1} * m_s^{-1}} \quad (26).$$

Damit beschreibt Formel (26) die Masseleistung einer kontinuierlich arbeitenden Halmguterntemaschine in der Operativzeit  $T_{02}$  (KTBL: Grundzeit GZ) unter Berücksichtigung der Einflußgrößen Schwadmasse  $m_s$ , Schlaglänge  $s_1$  und Wendezeit  $t_{21}$ . Die Operativzeit berücksichtigt im dargestellten Fall allerdings nur die Grundzeit  $T_1$  und die Wendezeit  $T_{21}$ . Versorgungszeiten  $T_{22}$  und Leerfahrtzeiten  $T_{23}$  blieben unberücksichtigt.

Bei einer Rundballenpresse als Beispiel für eine diskontinuierlich arbeitende Halmguterntemaschine ist zusätzlich zu den in Formel (26) dargestellten Einflußgrößen die Zeit zum Wickeln und Ausstoßen der Ballen zu beachten.

Durch Berücksichtigung dieser Tatsache in Formel (25)

$$\dot{m}_{T02} = \frac{s_1}{t_{11} + n_{RB} * t_{12} + t_{21}} * m_s \quad (27)$$

kann die Leistung einer Rundballenpresse in der Operativzeit nach Gleichung (28) kalkuliert werden:

$$\dot{m}_{T02} = \frac{1}{\dot{m}_{T11}^{-1} + (c + d * n_w) * m_{RG}^{-1} + t_{21} * s_1^{-1} * m_s^{-1}} \quad (28).$$

Innerhalb dieser Berechnungsvorschriften (26) und (28) sind für den Durchsatz  $\dot{m}_{T1}$  bzw.  $\dot{m}_{T11}$  in Abhängigkeit von der Schwadmasse die entsprechenden Funktionsansätze (15; 17; 19) anzuwenden. Liegen für die Funktionsansätze die Regressionskonstanten  $a$  und die Regressionskoeffizienten  $b$  nicht vor, kann für den Durchsatz  $\dot{m}_{T1}$  bzw.  $\dot{m}_{T11}$  auch ein Erfahrungswert unterstellt werden.

#### 4.2.2.3 Modell auf der Basis Gesamtarbeitszeit $T_{08}$

Die Betrachtung der verfahrenstechnischen Leistung ist in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  am kompliziertesten. Die Zeitbasis ermöglicht aber andererseits die Berücksichtigung einer komplexen Einflußgrößenkonstellation (vgl. Abschnitt 4.2.1). Gleichzeitig wird mit der verfahrenstechnischen Leistung  $\dot{m}_{T08}$  die Schnittstelle zwischen dem Leistungskalkulationsmodell und dem Kostenkalkulationsmodell hergestellt (vgl. Abschnitte 4.1.1 bis 4.1.6).

Als einfacher Ansatz zur Ermittlung der verfahrenstechnischen Leistung  $\dot{m}_{T08}$  dient die Koeffizientenmethode. Dabei wird die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T02}$  mittels Koeffizient in die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T08}$  umgerechnet:

$$\dot{m}_{T08} = k_{T02/T08} * \dot{m}_{T02} \quad (29)$$

In Großbetrieben wurden in unterschiedlichen Verfahren der Getreide- und Halmguternte durchschnittliche Koeffizienten  $k_{T_{02}/T_{08}}$  zwischen 0,61 und 0,68 ermittelt. Mit der Methode lassen sich die Auswirkungen der bereits in den Abschnitten 4.2.2.1 und 4.2.2.2 dargestellten Einflußgrößen auf die Gesamtarbeitszeit erfassen. Auf die Leistung in der Gesamtarbeitszeit wirken aber noch weit mehr Einflußgrößen. Zu nennen sind Rüstzeiten, Störzeiten, Schlaggröße, die Entfernungen vom Standort zum Arbeitsort und die Entfernungen zwischen den Arbeitsorten. Für die Berücksichtigung dieser Größen ist die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T_{08}}$  tiefergründiger zu analysieren.

Ausgangspunkt ist die konkrete Anwendung der allgemeinen Beziehung für die verfahrenstechnische Leistung (11) auf die Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ :

$$\dot{m}_{T_{08}} = \frac{m_d}{T_{08}} \quad (30)$$

Formel (30) weist jedoch das Problem auf, daß sie mit der Zielgröße  $\dot{m}_{T_{08}}$  und der Einflußgröße  $m_d$  zwei unbekannte Variablen beinhaltet. Für praxisnahe Kalkulationen wird es so sein, daß die tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  am ehesten als bekannte Größe unterstellt werden kann. Um Formel (30) einer sinnvollen Lösung zuzuführen, wird versucht, die tägliche Erntemasse  $m_d$  durch andere Variable zu ersetzen. Dabei wird zunächst die tägliche Gesamtarbeitszeit in ihre Bestandteile zerlegt:

$$T_{08} = T_1 + T_{21} + T_3 + T_4 + T_5 + T_{61} + T_{62} + T_8 \quad (31)$$

Für die einzelnen Zeitelemente sind weitere Erklärungsmöglichkeiten zu suchen. Diese sind so zu wählen, daß sie die für eine Kalkulation sinnvollen Einflußgrößen berücksichtigen. Die tägliche Erntemasse  $m_d$  ist dabei als Einflußgröße einzubeziehen:

$$T_1 = \frac{m_d}{\dot{m}_{T1}}$$

$$T_{21} = \frac{m_d * t_{21}}{s_1 * 0,1 * m_A * b_{eff}}$$

$$T_3 = T_3$$

$$T_4 = k_4 * T_{02}$$

$$T_5 = k_5 * T_{04}$$

$$T_{61} = \frac{s_{611} + s_{612}}{v_T}$$

$$T_{62} = \frac{(n_A - 1) * s_{62}}{v_T}$$

$$\text{mit } n_A = \frac{m_d}{s_1 * b_1 * m_A * 100}$$

$$T_8 = T_8$$

(32) - (39)

In den Formeln (32) bis (39) kommen für die Einflußgrößen betriebliche Durchschnittswerte zur Anwendung. Diese Vorgehensweise ist für strategische Planungsentscheidungen ausreichend. Für den täglichen Rüstzeitbedarf  $T_3$  sind Richtwerte oder Erfahrungswerte anzusetzen. Die Störzeiten  $T_4$  und Zeiten für Kurzpausen  $T_5$  haben eine hohe Variabilität. Sie werden über die Koeffizienten  $k_4$  und  $k_5$  erfaßt. Ihre Ermittlung basiert ebenfalls auf Richtwerten bzw. Erfahrungswerten. Sonstige Verlustzeiten können über die Gesamtarbeitszeit  $T_8$  berücksichtigt werden.

Die Formeln (32) bis (39) können nun in (31) eingesetzt und nach  $m_d$  umgestellt werden. Dabei ergibt sich folgende Berechnungsvorschrift für die tägliche Erntemasse  $m_d$ :

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612} - s_{62}) * v_T^{-1} - T_8}{(1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5) * (t_{21} * s_1^{-1} * 10 * m_A^{-1} * b_{eff}^{-1} + \dot{m}_{T1}^{-1}) + s_{62} * 0,01 * s_1^{-1} * b_1^{-1} * m_A^{-1} * v_T^{-1}} \quad (40a)$$

Formel (40a) läßt sich unter Berücksichtigung der Masseleistung in der Operativzeit [Formel (26)] vereinfacht darstellen:

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612} - s_{62}) * v_T^{-1} - T_8}{(1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5) * \dot{m}_{T02}^{-1} + s_{62} * 0,01 * s_1^{-1} * b_1^{-1} * m_A^{-1} * v_T^{-1}} \quad (40b)$$

Die so ermittelte tägliche Erntemasse  $m_d$  gilt allerdings nur für den Fall, daß ein oder mehrere Schlagwechsel während der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  erforderlich sind. Die Formeln (40a) bzw. (40b) kommen damit zur Berechnung von  $m_d$  zur Anwendung, wenn gilt:

$$m_d > s_1 * b_1 * m_A * 100 \quad (41)$$

Trifft Formel (41) nicht zu, ist der zu bearbeitende Schlag so groß, daß auf ihm ein oder mehrere Tage gearbeitet wird. Unter diesen Umständen ist bei der Berechnung der täglichen Erntemasse  $m_d$  die Fahrtzeit zwischen den Schlägen  $T_{62}$  nicht zu berücksichtigen. Auf der Grundlage von (31) gilt dann (ohne  $T_{62}$ ):

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v_T^{-1} - T_8}{(1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5) * (t_{21} * s_1^{-1} * 10 * m_A^{-1} * b_{eff}^{-1} + \dot{m}_{T1}^{-1})} \quad (42a)$$

Formel (42a) kann analog (40a) unter Berücksichtigung der Masseleistung in der Operativzeit zusammengefaßt dargestellt werden:

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v_T^{-1} - T_8}{(1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5) * \dot{m}_{T02}^{-1}} \quad (42b)$$

Die Formeln (40) bzw. (42) können dann in (30) eingesetzt werden. Eine Berechnung der verfahrenstechnischen Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $\dot{m}_{T08}$  wird somit möglich. Der vorgestellte Ansatz berücksichtigt eine komplexe Einflußgrößenkonstellation. Folgende Größen gehen in die Kalkulation ein:

- Ertrag  $m_A$ ,
- effektive Arbeitsbreite der Erntemaschine  $b_{eff}$ ,
- technologischer Durchsatz  $\dot{m}_{T1}$ ,
- Zeit je Wendung  $t_{21}$ ,
- Schlaglänge  $s_1$ ,

- Schlagbreite  $b_1$ ,
- Rüstzeit  $T_3$ ,
- Störzeit  $T_4$ ,
- Zeit für Kurzpausen  $T_5$ ,
- sonstige Verlustzeiten  $T_8$ ,
- tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ ,
- Entfernung zwischen dem Standort und dem Arbeitsort  $s_{611}$  (umgekehrt  $s_{612}$ ),
- Entfernung zwischen den Schlägen  $s_{62}$  und
- Transportgeschwindigkeit  $v_T$ .

Für die Größen werden Durchschnittswerte des Maschineneinsatzes angenommen. Bei Bedarf ist mit einer von (32) bis (39) abgeleiteten Berechnungsvorschrift auch eine Ermittlung der Leistung in der Gesamtarbeitszeit mit den konkreten Einzelparametern eines Betriebes möglich. Der Datenerfassungsaufwand ist dafür allerdings recht hoch. Die Kalkulation auf der vorgestellten Grundlage betrieblicher Durchschnittswerte ist für eine strategische Planung des Maschineneinsatzes und der Verfahrensgestaltung sowie für die Kostenkalkulation ausreichend.

#### 4.2.3 Arbeitsgang Transport

##### 4.2.3.1 Modell auf der Basis Operativzeit $T_{02}$

Die verfahrenstechnische Leistung von Transportmitteln wird ähnlich wie die Leistung von Erntemaschinen kalkuliert. Für die Analyse des Zeitaspektes der Leistung ist die Zeitgliederung auf der Basis der TGL 22289 nur bedingt geeignet. Es bietet sich beim Transport an, die Grundzeit  $T_1$  in vier Teilzeiten zu zerlegen (SCHMID 1977; Abb. A5):

- Beladezeit  $T_{11}$ ,
- Lastfahrzeit  $T_{12}$ ,
- Entladezeit  $T_{13}$  und
- Leerfahrzeit  $T_{14}$ .

Damit ist der Transportzyklus mit seinen grundlegenden Zeitelementen beschrieben. Eine Analyse der verfahrenstechnischen Leistung in der Grundzeit  $T_1$  ist jedoch wenig sinnvoll, da die einzelnen Zeitelemente unmittelbar mit Hilfszeiten verbunden sind. Für die Analyse der verfahrenstechnischen Leistung beim Transport bietet sich als niedrigste Zeitebene die Zykluszeit oder Umlaufzeit  $T_U$  an. Sie beinhaltet alle Grund- und Hilfszeitelemente, die in jedem Transportumlauf periodisch wiederkehren.

In Anlehnung an (11) kann die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T02}$  beim Transport auf der Grundlage der Umlaufzeit folgendermaßen beschrieben werden:

$$\dot{m}_{T02} = \frac{m_L}{T_U} \quad (43)$$

Die Umlaufzeit  $T_U$  ist als Kalkulationsgröße allerdings ungeeignet, da sie wiederum von vielen Größen beeinflusst wird. Sie ist in ihre Grundzeitbestandteile aufzugliedern. Aus pragmatischen Gründen werden den Grundzeitelementen Be- und Entladung ( $T_{11}$  und  $T_{13}$ ) die dazugehörigen Hilfszeiten ( $T_{241}$  und  $T_{243}$ ) zugeordnet und zur Beladezeit  $T_B$  bzw. Entladezeit  $T_E$  zusammengefaßt. Bei Bedarf sind  $T_B$  und  $T_E$  weiter zu untersetzen. Die Leer- und Lastfahrtzeit auf der Straße ( $T_{12}$  und  $T_{14}$ ) bilden die Straßenfahrtzeit  $T_S$ , die wiederum in Abhängigkeit von der Transportgeschwindigkeit  $v$  und von der Transportentfernung  $s_T$  dargestellt werden kann. Unter der Leerfahrtzeit auf dem Feld  $T_{22}$  wird die Fahrtzeit vom Feldrand bis zur Beladestelle und umgekehrt verstanden:

$$T_U = \underbrace{T_{11} + T_{241}}_{T_B} + \underbrace{T_{12} + T_{14}}_{T_S = 2 * s_T * v^{-1}} + \underbrace{T_{13} + T_{243}}_{T_E} + T_{22} \quad (44)$$

Bei Bedarf sind in die Umlaufzeit  $T_U$  weitere periodisch auftretende Teilzeiten einzugliedern.

#### 4.2.3.2 Modell auf der Basis Gesamtarbeitszeit $T_{08}$ (KTBL: Gesamtarbeitszeit)

Auch für den Transport ist die Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung auf der Grundlage der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  am aussagekräftigsten, aber auch am komplexesten. Die Zeitbasis bietet die Möglichkeit, die Wirkung einer komplexen Einflußgrößensituation auf die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T08}$  darzustellen.

Für den Transport werden die Formeln (11), (30) bzw. (43) auf die konkrete Situation bezogen:

$$\dot{m}_{T08} = \frac{n_L * m_L}{T_{08}} \quad (45)$$

Ähnlich wie bei der Berechnung der verfahrenstechnischen Leistung in Erntearbeitsgängen (vgl. Abschnitt 4.2.2.3) weist auch Formel (45) das Problem auf, daß sie zwei unbekannte Variablen beinhaltet. Unbekannt ist dabei vor allem, wie viele Zyklen (Umläufe)  $n_L$  das Transportmittel in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  durchläuft. Als Lösungsweg wird eine analoge Vorgehensweise wie zur Bestimmung der täglichen Ernte  $m_d$  in Formel (30) vorgeschlagen. Dabei wird zunächst die Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  in ihre Bestandteile zerlegt:

$$T_{08} = n_L * T_U + T_3 + T_4 + T_5 + T_{61} + T_8 \quad (46)$$

Die periodisch wiederkehrenden Grundzeiten  $T_1$  und Hilfszeiten  $T_2$  können innerhalb der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  als Vielfaches  $n_L$  der Umlaufzeit  $T_U$  ausgedrückt werden. Fahrzeiten zwischen den Schlägen (Schlagwechsel)  $T_{62}$  werden in Formel (46) vernachlässigt, da davon ausgegangen wird, daß diese durch eine gute Arbeitsorganisation weitestgehend ausgeschlossen werden können.

Durch Umstellen von Formel (46) nach  $n_L$  und Einsetzen des Ausdruckes in (45) kann die verfahrenstechnische Leistung für Transportarbeitsgänge in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  folgendermaßen dargestellt werden:

$$\dot{m}_{T08} = \frac{(T_{08} - T_3 - T_4 - T_5 - T_{61} - T_8) * m_L}{T_U * T_{08}} \quad (47a)$$

Werden für die Teilzeiten  $T_3$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_{61}$  und  $T_8$  die entsprechenden Ansätze der Formeln (34) bis (37) und (39) unterstellt, läßt sich Formel (47a) noch besser für Kalkulationszwecke nutzen:

$$\dot{m}_{T08} = \frac{[T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v^{-1} - T_8] * m_L}{T_U * T_{08} * (1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5)} \quad (47b)$$

Die Berücksichtigung der Masseleistung in der Operativzeit bei der Darstellung der Masseleistung in der Gesamtarbeitszeit für die Erntearbeitsgänge [Formeln (40b) und (42b)] kann mittels (43) analog auch für den Transport erfolgen:

$$\dot{m}_{T08} = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v^{-1} - T_8}{\dot{m}_{T02}^{-1} * T_{08} * (1 + k_4 + k_5 + k_4 * k_5)} \quad (47c)$$

Die Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung  $\dot{m}_{T08}$  nach Formel (47) ist für eine isolierte Betrachtung von Transportarbeitsgängen ausreichend. Zwischen Ernte- und Transportarbeitsgängen existiert allerdings eine wechselseitige Beeinflussung, die auch auf die verfahrenstechnische Leistung Auswirkungen hat. Diese Zusammenhänge sollen im Abschnitt 4.2.4 vorgestellt werden.

#### 4.2.4 Verknüpfung von Ernte und Transport

##### 4.2.4.1 Grundlagen

Ernte- und Transportarbeitsgänge können unterschiedlich miteinander verbunden sein. Werden beide Arbeitsgänge als ein Arbeitsverfahren betrachtet, kann zwischen Parallelverfahren, absätzigen Verfahren und bedingt absätzigen Verfahren unterschieden werden (vgl. Abschnitt 2.9). Jede Verknüpfungsart führt zu unterschiedlichen Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsgängen und damit zu unterschiedlichen Auswirkungen auf die verfahrenstechnische Leistung der eingesetzten Maschinen. Sollen bei der Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung die Wechselwirkungen zwischen den Ernte- und Transportarbeitsgängen berücksichtigt werden, ist eine angepaßte mathematische Beschreibung der Zusammenhänge erforderlich.

Die Kenntnis und die Beachtung grundsätzlicher Zusammenhänge in transportverbundenen Arbeitsverfahren kann dazu beitragen, daß die Verfahrensentwicklung in der Industrie sowie die Verfahrenswahl und die Verfahrensgestaltung in der Landwirtschaft optimiert werden.

##### 4.2.4.2 Parallelverfahren

Das Parallelverfahren ist dadurch charakterisiert, daß Ernte und Transport unmittelbar miteinander verbunden sind. Zwischen beiden Arbeitsgängen existiert für die Zwischenlagerung des Erntegutes weder ein unbegrenzter Puffer (Feld oder Feldrand) noch ein begrenzter Puffer (z.B. Bunker, Feldtransportmittel). Dadurch wird die Herausbildung einer zeitlichen Schere zwischen diesen Arbeitsgängen ausgeschlossen. Andererseits lassen sich selbst bei optimaler Gestaltung des technologischen Zusammenwirkens zwischen Ernte und Transport verfahrensbedingte Wartezeiten (= zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten  $T_{25}$ ) in der Regel nicht vermeiden, was sich potentiell leistungsmindernd auf das Gesamtverfahren auswirkt.

Im zugrundeliegenden Zeitgliederungsschema nach TGL 22289 werden die Wartezeiten den Störzeiten  $T_4$  zugeordnet. Da jedoch die Wartezeiten im Parallelverfahren periodisch

wiederkehrende Teilzeiten darstellen, sollen sie in Anlehnung an FLEISCHER (1967) für die weiteren Betrachtungen in der "erweiterten Operativzeit  $T_{025}$ " berücksichtigt werden:

$$T_{025} = T_{02} + T_{25} \quad (48)$$

Die Wechselwirkung zwischen Ernte und Transport läßt sich im Modell am ehesten auf der Grundlage der periodisch wiederkehrenden Teilarbeiten erklären. Daher bietet sich die erweiterte Operativzeit  $T_{025}$  als Grundlage zur Beschreibung der Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsgängen an. Folgende deterministische Beziehung gilt in Parallelverfahren:

$$n_E * \dot{m}_{T025E} = n_{TE} * \dot{m}_{T025T} \quad (49)$$

Um die zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $T_{25}$  in Formel (49) einbeziehen zu können, wird als Masseparameter zur Leistungsberechnung die Lademasse eines Transportfahrzeuges  $m_L$  gewählt:

$$\dot{m}_{T025} = \frac{m_L}{T_{025}} \quad (50)$$

Die verfahrenstechnische Leistung einer Erntemaschine stellt sich in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  folgendermaßen dar:

$$\dot{m}_{T025E} = \frac{m_L}{\frac{m_L}{m_S * v} + \frac{m_L * t_{21}}{m_S * s_1} + t_{25E}} \quad (51a)$$

Durch Vereinfachung der Formel (51a) kann die verfahrenstechnische Leistung in der erweiterten Operativzeit  $\dot{m}_{T025E}$  durch die Leistung in der Operativzeit und durch die eventuell auftretende zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $t_{25E}$  beschrieben werden:

$$\dot{m}_{T025E} = \frac{1}{\dot{m}_{T02E}^{-1} + t_{25E} * m_L^{-1}} \quad (51b)$$

Die verfahrenstechnische Leistung  $\dot{m}_{T02E}$  in Formel (51b) kann durch geeignete Ansätze [z.B. Formel (26)] detaillierter charakterisiert werden (vgl. Abschnitt 4.2.2.2).

Die verfahrenstechnische Leistung in der erweiterten Operativzeit wird für den Transport ebenfalls auf der Basis von Formel (50) dargestellt:

$$\dot{m}_{T025T} = \frac{m_L}{t_F + t_B + 2 * s_T * v^{-1} + t_E + t_{25T}} \quad (52a)$$

Die Beladezeit je Transportmittel  $t_B$  kann für das Parallelverfahren als Quotient aus Lademasse des Transportmittels  $m_L$  und Leistung der Erntemaschine in der Operativzeit  $\dot{m}_{T02E}$  ausgedrückt werden:

$$t_B = \frac{m_L}{\dot{m}_{T02E}} \quad (53)$$

Ähnlich wie die verfahrenstechnische Leistung bei der Ernte [Formel (51b)] kann auch die Leistung in der erweiterten Operativzeit beim Transport durch die Leistung in der Operativzeit  $\dot{m}_{T02T}$  und durch die eventuell auftretende zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $t_{25T}$  beschrieben werden:

$$\dot{m}_{T025T} = \frac{1}{\dot{m}_{T02T}^{-1} + t_{25T} * m_L^{-1}} \quad (52b)$$

Die Berechnungsvorschriften für die verfahrenstechnische Leistung in der erweiterten Operativzeit für die Ernte [Formel (51)] und für den Transport [Formel (52)] beinhalten das Problem, daß neben der Zielgröße  $\dot{m}_{T025}$  auch die zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $t_{25}$  eine unbekannte Variable darstellt. Letztere Größe läßt sich über mehrere Schritte quantifizieren.

Zunächst ist festzustellen, daß sich die Wartezeit  $t_{25}$  in Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Transporteinheiten entweder auf den Arbeitsgang Ernte oder auf den Arbeitsgang Transport verlagert. Die Transporteinheitenanzahl, bei der theoretisch weder beim

Transport noch bei der Ernte Wartezeiten auftreten, kann als "kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$ " bezeichnet werden:

$$n_{TEK} = \frac{n_E * \dot{m}_{T02E}}{\dot{m}_{T02T}} \quad (54)$$

Dieser Fall tritt jedoch praktisch nicht auf, da  $n_{TEK}$  in der Regel keine ganze Zahl ist. Für die Wartezeiten  $t_{25T}$  und  $t_{25E}$  entstehen somit in Abhängigkeit von der Transporteinheitenanzahl zwei Alternativen:

$$1. \quad n_{TE} < n_{TEK} \quad \rightarrow \quad t_{25T} = 0 \\ t_{25E} > 0 \quad (55)$$

Ist die Transporteinheitenanzahl  $n_{TE}$ , wie in (55), kleiner als die kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$ , entstehen die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten ausschließlich im Erntearbeitsgang. Sie lassen sich auf der Grundlage von (49) folgendermaßen berechnen:

$$t_{25E} = m_L * n_E * (\dot{m}_{T02T}^{-1} * n_{TE}^{-1} - \dot{m}_{T02E}^{-1} * n_E^{-1}) \quad (56)$$

Ist die Transporteinheitenanzahl  $n_{TE}$  im Arbeitsverfahren größer als die kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$ , treten die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten ausschließlich beim Transport auf:

$$2. \quad n_{TE} > n_{TEK} \quad \rightarrow \quad t_{25T} > 0 \\ t_{25E} = 0 \quad (57)$$

Die Verlustzeiten beim Transport lassen sich analog zu (56) auf der Grundlage von (49) darstellen:

$$t_{25T} = m_L * n_{TE} * (\dot{m}_{T02E}^{-1} * n_E^{-1} - \dot{m}_{T02T}^{-1} * n_{TE}^{-1}) \quad (58)$$

Mit den Formeln (49) bis (58) läßt sich die Verknüpfung zwischen Ernte und Transport im Parallelverfahren auf der Basis der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  gut kalkulieren (HERRMANN und PAPESCH 1995a). Wesentlich schwieriger ist ihre Darstellung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ . In dieser Zeitsummenebene können nichtzyklische Verlustzeiten auftreten (z.B. Zeit zur Beseitigung von Störungen), deren Auswirkung auf den Ablauf der miteinander verknüpften Arbeitsgänge nicht quantifiziert werden können. Dennoch sollte nach einer relativ aufwendigen Bestimmung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $T_{25}$  in der erweiterten Operativzeit auf ihre Berücksichtigung in der Gesamtarbeitszeit nicht verzichtet werden.

Treten die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten im Erntearbeitsgang auf, ist die tägliche Erntemasse  $m_d$  als Grundlage für die Leistungsermittlung in Anlehnung an die Formeln (40) und (42) zu bestimmen. Sind ein oder mehrere Schlagwechsel am Tag erforderlich [Formel (41) ist wahr], kommt folgender Ansatz zur Berechnung der täglichen Erntemasse zur Anwendung:

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612} - s_{62}) * v_T^{-1} - T_8}{(1+k_5) * \dot{m}_{T025E}^{-1} + (k_4+k_4*k_5) * \dot{m}_{T02E}^{-1} + s_{62}*0,01*s_1^{-1}*b_1^{-1}*m_A^{-1}*v_T^{-1}} \quad (59)$$

Wird dagegen ein ganzer Tag bzw. mehrere Tage auf einem Schlag gearbeitet [Formel (41) ist nicht wahr], gilt dagegen:

$$m_d = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v_T^{-1} - T_8}{(1 + k_5) * \dot{m}_{T025E}^{-1} + (k_4 + k_4 * k_5) * \dot{m}_{T02E}^{-1}} \quad (60)$$

Treten die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $T_{25}$  dagegen beim Transport auf, ist für die Berechnung der Leistung in der Gesamtarbeitszeit in Anlehnung an (47c) folgender Ansatz zu wählen:

$$\dot{m}_{T08} = \frac{T_{08} - T_3 - k_5 * T_3 - (s_{611} + s_{612}) * v^{-1} - T_8}{T_{08} * (1+k_5) * \dot{m}_{T025T}^{-1} + T_{08} * (k_4+k_4*k_5) * \dot{m}_{T02T}^{-1}} \quad (61)$$

Mit Hilfe der Ansätze (49) bis (61) kann die verfahrenstechnische Leistung bei der Ernte und beim Transport in der typischen Verknüpfung des Parallelverfahrens dargestellt werden. Dabei kann auf der Grundlage der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  und der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  eine Vielzahl von Einflußgrößen berücksichtigt werden. Die so ermittelte verfahrenstechnische Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  stellt eine gut geeignete Ausgangsgröße für die Berechnung der Kosten der Arbeitserledigung dar (vgl. Abschnitt 4.1).

#### 4.2.4.3 Absätziges Verfahren

Das absätziges Verfahren ist dadurch charakterisiert, daß Ernte und Transport völlig unabhängig voneinander durchgeführt werden. Dabei dient das Feld oder der Feldrand aus der Sicht des Arbeitsverfahrens als zeitlich und lokal unbegrenzter Puffer zur Zwischenlagerung des Erntegutes. Im absätzigen Verfahren kann der Transport wiederum unmittelbar mit vor- und/oder nachgelagerten Arbeitsgängen (Umschlagarbeitsgängen) verknüpft sein. Bei dieser Art der Verknüpfung ist der Transport als transportverbundenes Fließarbeitsverfahren organisiert. Die konsequenteste Form des absätzigen Verfahrens stellt allerdings der Transport im Ein-Mann-Verfahren dar. Dabei erfolgt sowohl die Be- und Entladung als auch der Transport durch ein und die selbe Maschine und durch eine Arbeitskraft. Nur das absätziges Verfahren, in dem der Transport als Ein-Mann-Verfahren durchgeführt wird, soll im folgenden betrachtet werden.

Die Ausnutzung des unbegrenzten Puffers Feld bietet den Vorteil, daß der Transportprozeß von der Ernte abgekoppelt werden kann. Dadurch werden im Ein-Mann-Verfahren sowohl bei der Ernte als auch beim Transport unproduktive Stand- und Wartezeiten eliminiert, was sich potentiell leistungserhöhend auswirkt. Der unbegrenzte Puffer birgt jedoch die Gefahr in sich, daß es durch ungenügende Leistungsabstimmung zwischen

Ernte und Transport zur Herausbildung einer zeitlichen Schere zwischen diesen Arbeitsgängen kommen kann (HERRMANN 1994b). Diese ist zunächst tolerierbar und im Interesse der dadurch bedingten Vorteile (einfache Organisation von Ernte und Transport sowie Eliminierung verfahrensbedingter Stand- und Wartezeiten) sogar gewollt. Wird der Puffer jedoch überzogen, klappt die zeitliche Schere zwischen Ernte und Transport zu weit auseinander, was zu Qualitätsbeeinträchtigungen des Erntegutes und/oder zur Verzögerung der Nachfolgearbeiten auf dem Feld führen kann.

Als grundsätzlicher Zusammenhang zwischen Ernte und Transport im absätzigen Verfahren kann folgende deterministische Beziehung formuliert werden:

$$n_E * \dot{m}_{T08E} * T_{08E} * T_{dE} = n_{TE} * \dot{m}_{T08T} * T_{08T} * T_{dT} \quad (62)$$

Bei der Kalkulation der einzelnen Elemente in Formel (62) kann auf bereits beschriebene Zusammenhänge in den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 zurückgegriffen werden. Für die Berechnung der Masseleistungen bei der Ernte und beim Transport  $\dot{m}_{T08E}$  und  $\dot{m}_{T08T}$  kann sowohl die Koeffizientmethode (29) als auch die detaillierte Kalkulationsmethode [(30) bis (42) und (45) bis (47)] zur Anwendung kommen. Die Wechselbeziehung zwischen täglicher Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  und Kampagneinsatztagen  $T_d$  in (62) kann in Abhängigkeit von der Schlaggröße  $A_a$ , dem Ertrag  $m_A$  und der verfahrenstechnischen Leistung  $\dot{m}_{T08}$  sehr gut mit Hilfe des Ansatzes (2) dargestellt und variiert werden.

Die zeitliche Schere zwischen Ernte und Transport kann durch folgende Größen in Formel (62) bestimmt und aktiv beeinflusst werden:

- Anzahl der Erntemaschinen  $n_E$ ,
- Anzahl der Transporteinheiten  $n_{TE}$ ,
- tägliche Gesamtarbeitszeit bei der Ernte  $T_{08E}$ ,
- tägliche Gesamtarbeitszeit beim Transport  $T_{08T}$ ,
- Ernteeinsatztage  $T_{dE}$  und
- Transporteinsatztage  $T_{dT}$ .

Die Zuordnung der Transportmittel zum Erntearbeitsgang läßt nach Formel (62) in der Praxis einen relativ großen Gestaltungsspielraum zu und stellt damit nicht so hohe Anforderungen an die Arbeitsorganisation wie das Parallelverfahren.

#### 4.2.4.4 Bedingt absätziges Verfahren

Als bedingt absätziges Verfahren werden eine Vielzahl von Verfahren bezeichnet, in denen Ernte und Transport auf unterschiedlichste Art und Weise miteinander verknüpft sind. Charakteristisch für bedingt absätziges Verfahren ist, daß sie einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Puffer für die Ernteprodukte besitzen und damit einen Kompromiß zwischen Parallelverfahren und absätzigen Verfahren darstellen. Je nach konkreter Verfahrensgestaltung lassen sie sich eher dem einen oder dem anderen Verfahrenstyp zuordnen (vgl. Abschnitt 2.9). Ziel der bedingt absätzigen Verfahren ist es, die Vorteile des Parallelverfahrens und des absätzigen Verfahrens zu kombinieren. Dabei geht es unter anderem um die Abpufferung bzw. Verminderung zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten sowie um die Vermeidung einer zeitlichen Schere zwischen Ernte und Transport. Weitere Vorteile können sein:

- Erhöhung der Lademasse beim Transport,
- Verkürzung der Beladezeiten,
- Einsparung von Transportfahrzeugen und
- Verminderung der Bodenbelastung.

Alle mit einem bedingt absätzigen Verfahren erreichbaren Effekte sind natürlich immer unter der Option niedriger Kosten anzustreben.

Problematisch ist eine allgemeingültige mathematische Beschreibung der Verknüpfung zwischen Ernte und Transport in bedingt absätzigen Verfahren. Grund dafür ist die Vielfalt der Möglichkeiten, ein bedingt absätziges Verfahren konkret zu gestalten. Daher sind die für das Parallelverfahren und für das absätziges Verfahren beschriebenen Zusammenhänge auf den konkreten Fall des bedingt absätzigen Verfahrens zu beziehen und anzupassen.

Im folgenden soll der Einsatz eines Überladewagens in der Getreideernte modelliert werden. Er dient als Bindeglied zwischen Mähdrescher und Transportfahrzeug. Zusätzlich zu den Bunkern der Mähdrescher übernimmt der als reines Feldfahrzeug konzipierte Überladewagen eine weitere Pufferfunktion zwischen Ernte und Transport. Ziel seines Einsatzes ist es zum einen, das Abbunkern der Mähdrescher während des Druschs zu ermöglichen und damit das potentielle Leistungsvermögen der Mähdrescher besser auszulasten. Zum anderen soll die Bodenbelastung durch sein spezielles Feldfahrwerk niedrig gehalten werden.

Bei der mathematischen Beschreibung des Arbeitsverfahrens sind beim Einsatz des Überladewagens die Wechselwirkungen zwischen drei Arbeitsgängen zu berücksichtigen:

- Mähdrusch,
- Feldtransport und
- Straßentransport.

Generell können in allen drei Arbeitsgängen je nach Einflußgrößenkonstellation zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten  $T_{25}$  auftreten. Prinzipiell bietet sich daher die Beschreibung der Wechselwirkung zwischen den Arbeitsgängen auf der Basis der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  an. Der grundsätzliche Zusammenhang zwischen den Arbeitsgängen gestaltet sich ähnlich wie im Parallelverfahren [vgl. Formel (49)]:

$$n_E * \dot{m}_{T025E} = n_U * \dot{m}_{T025U} = n_{TE} * \dot{m}_{T025T} \quad (63)$$

Auch die einzelnen Arbeitsgänge lassen sich in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  ähnlich wie im Parallelverfahren darstellen. Die Leistung eines Mähdreschers kann wie folgt kalkuliert werden:

$$\dot{m}_{T025E} = \frac{1}{\dot{m}_{T02E}^{-1} + t_{25E} * m_B^{-1}} \quad (64)$$

Der Mähdrusch ist unmittelbar mit dem Feldtransport verknüpft. Im Vergleich zum Parallelverfahren [vgl. Formel (51b)] wird in Formel (64) die Lademasse des Transportmittels  $m_L$  lediglich durch Kornmasse des Mähdrescherbunkers  $m_B$  ersetzt. Durch die Kornübergabe vom Mähdrescher auf den Überladewagen während der Fahrt fallen in der Operativzeit  $T_{02}$  neben den Wendezeiten keine weiteren Hilfszeiten an, die in einer Leistungskalkulation zwingend berücksichtigt werden müssten. Somit kann für die Leistung eines Mähdreschers in der Operativzeit innerhalb Formel (64) der allgemeine Ansatz für Erntemaschinen (26) unter Berücksichtigung von (13) Anwendung finden:

$$\dot{m}_{T02E} = \frac{0,1 * m_A * b_{eff} * s_1}{s_1 * v^{-1} + t_{21}} = \frac{1}{\dot{m}_{T1}^{-1} + 10 * t_{21} * m_A^{-1} * b_{eff}^{-1} * s_1^{-1}} \quad (65)$$

Für den Überladewagen als Transportmittel kann zur Leistungskalkulation grundsätzlich von Formel (43) ausgegangen werden. Die Umlaufzeit  $T_U$  innerhalb (43) bedarf auf Grund der unmittelbaren Verknüpfung des Feldtransportes mit einem vor- und einem nachgelagerten Arbeitsgang einer detaillierten Untersetzung:

$$\dot{m}_{T025U} = \frac{m_{LU}}{s_1 * v^{-1} + \frac{m_{LU}}{\dot{m}_B} + \left( \frac{m_{LU}}{m_B} - 1 \right) * t_{24F} + \frac{m_{LU}}{\dot{m}_{LU}} + t_{243} + t_{25U}} \quad (66)$$

Für die Beschreibung der Umlaufzeit wird unterstellt, daß der Umladewagen in einem durchschnittlichen Umlauf vom Transportfahrzeug (Feldrand) bis zur Feldmitte fahren muß, um das Erntegut der Mähdrescher aufzunehmen. Diese Unterstellung drückt sich im Quotient aus Schlaglänge  $s_1$  und Geschwindigkeit  $v$  aus. Bei der Kalkulation der Fahrtzeit zwischen den Mähdreschern zur Beladung des Umladewagens ist darauf zu achten, daß die Lademasse des Überladewagens  $m_{LU}$  und der Masse des Bunkerinhaltes  $m_B$  so festzulegen sind, daß der Quotient aus beiden Größen eine ganze Zahl ergibt. Als Fahrtzeit zwischen den Mähdreschern  $t_{24F}$  kann bisher nur ein gemessener Durchschnittswert angewandt werden, obwohl anzunehmen ist, daß der Wert unter anderem von der Schlaglänge abhängig ist. Die Wartezeit des Umladewagens  $t_{25U}$  stellt im Regelfall die Warte-

zeiten zwischen den Beladevorgängen durch die Mähdrescher dar. Sie kann aber zusätzlich auch die Wartezeit auf eventuell fehlende Straßentransportmittel beinhalten. Die Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung eines Umladewagens [Formel (66)] kann vereinfacht folgendermaßen zusammengefaßt werden:

$$\dot{m}_{T025U} = \frac{1}{\dot{m}_{T02U}^{-1} + t_{25U} * m_{LU}^{-1}} \quad (67)$$

Die verfahrenstechnische Leistung beim Straßentransport folgt im skizzierten Verfahren prinzipiell den im Abschnitt 5.2.3.1 aufgestellten Regeln der Leistungskalkulation für Transportarbeitsgänge. Als Besonderheit ist lediglich die Zeit für das Beladen des Transportfahrzeuges  $T_B$  hervorzuheben. Da ein Straßentransportfahrzeug nicht mit einer Überladewagenfüllung beladen werden kann, erstreckt sich die Beladezeit mindestens über einen Umlauf des Überladewagens. Für die Kalkulation der Leistung eines Straßentransportmittels wurde unter Berücksichtigung der Beladezeit folgende Konstruktion gewählt:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{T025T} &= \frac{m_L}{\frac{m_L}{m_{LU}} * \frac{m_{LU}}{n_U * \dot{m}_{T025U}} + 2 * s_T * v^{-1} + t_E + t_{25T}} \\ &= \frac{m_L}{\frac{m_L}{n_U * \dot{m}_{T025U}} + 2 * s_T * v^{-1} + t_E + t_{25T}} \end{aligned} \quad (68)$$

Die in (68) dargestellte verfahrenstechnische Leistung eines Straßentransportmittels läßt sich nach Formel (52b) zusammenfassen.

Innerhalb der verfahrenstechnischen Leistung in den drei Arbeitsgängen treten die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $t_{25}$  komplexer als im klassischen Parallelverfahren auf. Ihre Quantifizierung gestaltet sich schwieriger.

So ergeben sich bei der Verknüpfung von Ernte, Feldtransport und Straßentransport mehrere Konstellationsmöglichkeiten von auftretenden Wartezeiten. Aufgrund dieser Vielfalt soll die Kalkulation der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten für die Verknüpfung der drei Arbeitsgänge allgemeingültig dargestellt werden. Dabei werden die Arbeitsgänge mit den Buchstaben A, B und C bezeichnet. Zunächst werden diese nach ihrer Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  sortiert:

$$n_A * \dot{m}_{T02A} < n_B * \dot{m}_{T02B} < n_C * \dot{m}_{T02C} \quad (69)$$

Die Ungleichung (69) kann als Gleichung folgendermaßen formuliert werden:

$$\begin{aligned} n_A * \dot{m}_{T02A} &= n_B * \dot{m}_{T025B} = n_C * \dot{m}_{T025C} \\ n_A * \dot{m}_{T02A} &= n_B * \frac{1}{\dot{m}_{T02B}^{-1} + t_{25B} * m_{LB}^{-1}} = n_C * \frac{1}{\dot{m}_{T02C}^{-1} + t_{25C} * m_{LC}^{-1}} \end{aligned} \quad (70)$$

Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten treten in den Arbeitsgängen B und C auf. Im leistungsschwächsten Arbeitsgang A treten keine Verlustzeiten auf. Die Berechnung der Verlustzeiten erfolgt am zweckmäßigsten durch das Gleichsetzen der Leistungen zweier Arbeitsgänge, wobei einer der Arbeitsgänge der leistungsschwächste sein muß. Er beinhaltet damit keine zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten:

$$\begin{aligned} n_A * \dot{m}_{T02A} &= n_B * \frac{1}{\dot{m}_{T02B}^{-1} + t_{25B} * m_{LB}^{-1}} \\ t_{25B} &= n_B * m_{LB} * (n_A^{-1} * \dot{m}_{T02A}^{-1} - n_B^{-1} * \dot{m}_{T02B}^{-1}) \end{aligned} \quad (71)$$

Eine analoge Berechnungsvorschrift gilt für die Kalkulation der Verlustzeit im Arbeitsgang C:

$$n_A * \dot{m}_{T02A} = n_C * \frac{1}{\dot{m}_{T02C}^{-1} + t_{25C} * m_{LC}^{-1}}$$

$$t_{25C} = n_C * m_{LC} * (n_A^{-1} * \dot{m}_{T02A}^{-1} - n_C^{-1} * \dot{m}_{T02C}^{-1}) \quad (72)$$

Wurde die verfahrenstechnische Leistung auf der Basis der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  für die drei Arbeitsgänge kalkuliert, kann sie mit Hilfe der Koeffizientmethode (29) einfach auf die Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  bezogen werden. Alternativ kann eine detaillierte Berechnung der Leistung  $\dot{m}_{T08}$  mit der für das Parallelverfahren im Abschnitt 4.2.4.2 vorgestellten Vorgehensweise erfolgen.

### 4.3 Simulation von Beispielfahrern

#### 4.3.1 Allgemeines

Im Abschnitt 4.2 wurde die verfahrenstechnische Leistung in Ernte- und Transportarbeitsgängen analysiert und Methoden für die Kalkulation der Leistung bei den grundsätzlichen Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen beiden Arbeitsgängen dargestellt. Im folgenden werden typische Beispiele für Parallelverfahren, absätziges Verfahren und bedingt absätziges Verfahren vorgestellt. In jeder dieser Verknüpfungsgruppen werden die bisher vorgestellten Bewertungskriterien am Beispiel eines typisches Arbeitsverfahren simuliert und in der absätzigen und in der bedingt absätzigen Gruppe vergleichende Betrachtungen zu anderen Verfahrensvarianten vorgenommen. Dabei werden die Auswirkungen einer komplexen Einflußgrößenkonstellation auf die zu betrachtenden Kriterien auf der Grundlage des Modells betrachtet. Zu beachten ist, daß das typische Parallelverfahren und das typische absätzige Verfahren, wie sie in den Abschnitten 4.2.4.2 bzw. 4.2.4.3 beschrieben wurden, eher die Ausnahme bei der Verfahrensgestaltung darstellen. Die Kalkulation der Kriterien weicht für die konkreten Arbeitsverfahren mehr oder weniger von der im Abschnitt 4.2 vorgestellten mathematischen Beschreibung ab. Sie erfordert eine abgewandelte und der konkreten Verfahrensgestaltung angepaßte Vorgehensweise. Zwischen den Extremfällen des Parallelverfahrens und des absätzigen Verfahrens bestehen eine Vielzahl von Übergangsformen der Verfahrensgestaltung (vgl. Abb. 4). Die mathematische Beschreibung der Extremfälle ist allerdings die Voraussetzung für die Kalkulation der Kriterien in jeder Verfahrensvariante, die in ihrer Gestaltung vom Idealfall abweicht.

#### 4.3.2 Parallelverfahren: Schlüsselmaschine Feldhäcksler

##### 4.3.2.1 Charakteristik des Verfahrens

Die Welkguternte mit dem selbstfahrenden Feldhäcksler ist das klassische Beispiel für die Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen im Parallelverfahren.

Ernte und Transport sind unmittelbar miteinander verknüpft. Der Häcksler besitzt keinen Bunker zur Zwischenlagerung des Halmgutes. Bei der Arbeit des Häckslers muß ständig ein Transportfahrzeug zur Übernahme des Welkgutes neben der Erntemaschine fahren.

Die hohe verfahrenstechnische Leistung der Häcksler wird als Leistungsanspruch an die nachfolgenden Arbeitsgänge weitergereicht (REISCH et. al. 1980). Transport und Einlagerung werden diesen wachsenden Ansprüchen im klassischen Parallelverfahren immer weniger gerecht. Eine Lösung des Transportproblems erhofft man sich durch höhere Lademassen und Geschwindigkeiten. Beide Ziele könnten mit LKW am besten erreicht werden. Jedoch eignen sich LKW mit Straßenfahrwerk nicht für das Fahren auf dem Feld. Ein Grund dafür ist die zu hohe Bodenbelastung mit diesen Transportfahrzeugen. In den neuen Bundesländern werden zur Zeit noch LKW W50/L60 mit Niederdruckbereifung zur Welkguternte im Parallelverfahren eingesetzt. Diese Variante liegt auch den folgenden Kalkulationen als Ausgangsvariante zugrunde (Abb 7).

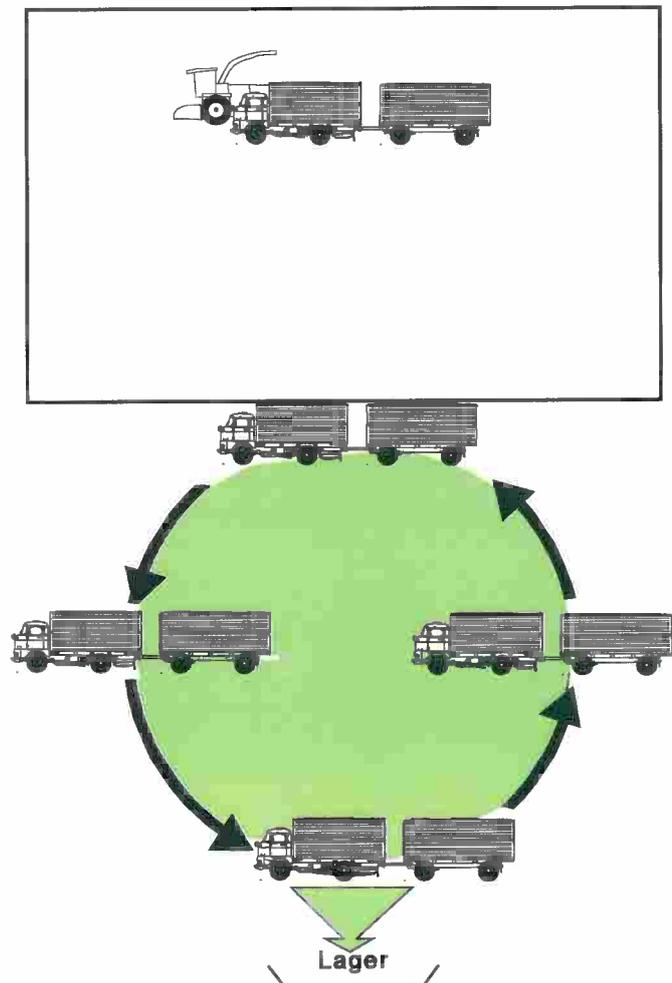


Abb. 7:

Welkguternte im Parallelverfahren: Ernte mit Feldhäcksler und Transport mit LKW+Anhänger

Die verwendete Untersuchungsmethodik zur Ermittlung der Primärdaten sowie Vergleiche mit anderen Verfahrensvarianten der Welkguternte werden ausführlich bei PAPESCH und HERRMANN (1994) beschrieben. Im folgenden wird jedoch auf einen Vergleich mehrerer Welkguternteverfahren verzichtet. Vielmehr sollen am Beispiel prinzipielle Zusammenhänge im Parallelverfahren und, wenn angebracht, allgemeingültige Grundsätze in Ernte- und Transportarbeitsgängen vorgestellt werden.

Die für die Kalkulation unterstellten Einsatzbedingungen können Tabelle A4 entnommen werden.

#### 4.3.2.2 Einflußgrößen-Leistung-Zusammenhänge

Auf die verfahrenstechnische Leistung der Mechanisierungsmittel in den Arbeitsgängen Ernte und Transport wirkt eine komplexe Einflußgrößenkonstellation. Mit größer werdender Zeitsummenebene nimmt die Komplexität der Zusammenhänge zu. Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, daß die Leistungen der Maschinen im Arbeitsgang Ernte und im Arbeitsgang Transport zum Teil von den gleichen Einflußgrößen abhängen. So beeinflussen die Lademasse der Transportmittel, die Anzahl der Erntemaschinen und die Anzahl der Transporteinheiten auf der Zeitsummenebene der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  sowohl die Leistung im Ernte- als auch im Transportarbeitsgang. Bereits auf der Ebene der Operativzeit  $T_{02}$  wird die Transportleistung über die Komponente Beladezeit durch die Leistung der Erntemaschine mitbestimmt. Diese enge Verknüpfung der Ernte- und Transportarbeitsgänge und die daraus bedingte gegenseitige Beeinflussung des Leistungsverhaltens der Maschinen in diesen Arbeitsgängen ist typisch für Parallelverfahren.

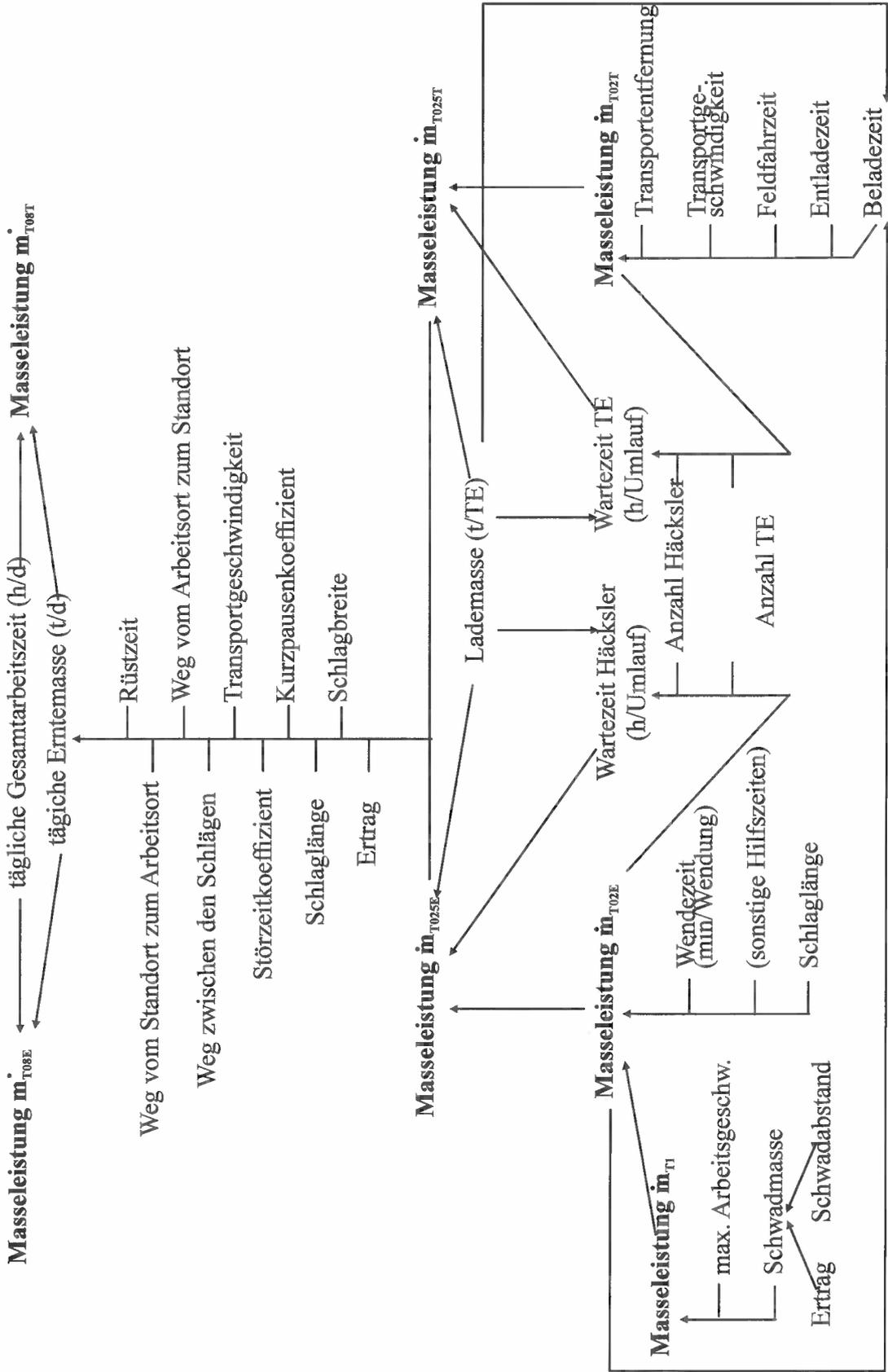


Abb 8: Struktur des Leistungsmodells für die Welkgernte mit dem Feldehäcksler im Parallelverfahren

### 4.3.2.3 Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien

#### 4.3.2.3.1 Ertrag, Schwadabstand, Schwadmasse

Die Leistung des Feldhäckslers in der Grundzeit  $T_1$  (technologischer Durchsatz) soll nach der im Abschnitt 4.2.2.1 beschriebenen Kalkulationsmethode dargestellt werden. Entscheidende Einflußgrößen für dieses Kriterium sind der Ertrag  $m_A$  und der Schwadabstand  $b_{\text{eff}}$ . Aus beiden Größen ergibt sich die Schwadmasse  $m_s$  [vgl. (13)]. Auf Grund der geringen Anzahl ermittelter Schwadmasse-Durchsatz-Wertepaare in niedrigen und hohen Schwadmassebereichen wird die Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie bzw. die Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie mit jeweils zwei Funktionen dargestellt.

Bei niedrigen Schwadmassen ist die für das Parallelverfahren maximal zumutbare und realisierbare Arbeitsgeschwindigkeit  $v_{\text{max}}$  leistungsbegrenzend. Bei hohen Schwadmassen wird der technologische Durchsatz weitestgehend durch das technische Leistungsvermögen des Feldhäckslers bestimmt. Der unterstellte maximale technologische Durchsatz bei hohen Schwadmassen  $\dot{m}_{T1\text{max}}$  und die maximale Arbeitsgeschwindigkeit bei niedrigen Schwadmassen  $v_{\text{max}}$  beruhen auf Meßwerten (Abb. 9).

Die Masseleistung in der Grundzeit  $T_1$  ist ein Kriterium, mit dem das Leistungsvermögen von Maschinen unter Einsatzbedingungen gut charakterisiert werden kann. Die Aussagen werden nicht durch den Wendezeitaufwand, der in Abhängigkeit von der Schlaglänge variiert, oder andere Hilfszeiten beeinträchtigt. Im konkreten Beispiel wird der Feldhäckslers unter Berücksichtigung des zweifunktionalen Schwadmasse-Durchsatz-Zusammenhanges bis zu einer Schwadmasse von  $8,5 \text{ kg/m}^2$  mit der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit gefahren. Diese betrug in den Untersuchungen  $12,5 \text{ km/h}$ . Sie liegt damit um 12 % unter der maximalen Arbeitsgeschwindigkeit des Feldhäckslers im hier nicht dargestellten Containerverfahren. Die Ursache für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten liegt wahrscheinlich darin begründet, daß sich der Fahrer des Feldhäckslers im Containerverfahren nicht auf ein nebenherfahrendes Transportfahrzeug konzentrieren muß (HERRMANN und PAPESCH 1995c).

Bei Schwadmassen über  $8,5 \text{ kg/m}$  ist der maximale technologische Durchsatz von  $110 \text{ t/h}$  erreicht. In diesen Einsatzfällen wird diese Durchsatzgrenze in der Regel nicht über-

schritten. Die Geschwindigkeit wird entsprechend verlangsamt. Die Ausschöpfung des potentiellen Leistungsvermögens einer Halmgutermaschine kann entscheidend durch den Schwadabstand  $b_{\text{eff}}$  beeinflusst werden. Bei gegebenem Ertrag wird durch Vergrößerung des Schwadabstandes die Schwadmasse entsprechend Formel (13) erhöht (Abb. 10). Durch große Schwadabstände kann das Leistungsvermögen der Erntemaschine bei geringen Erträgen besser ausgeschöpft werden.

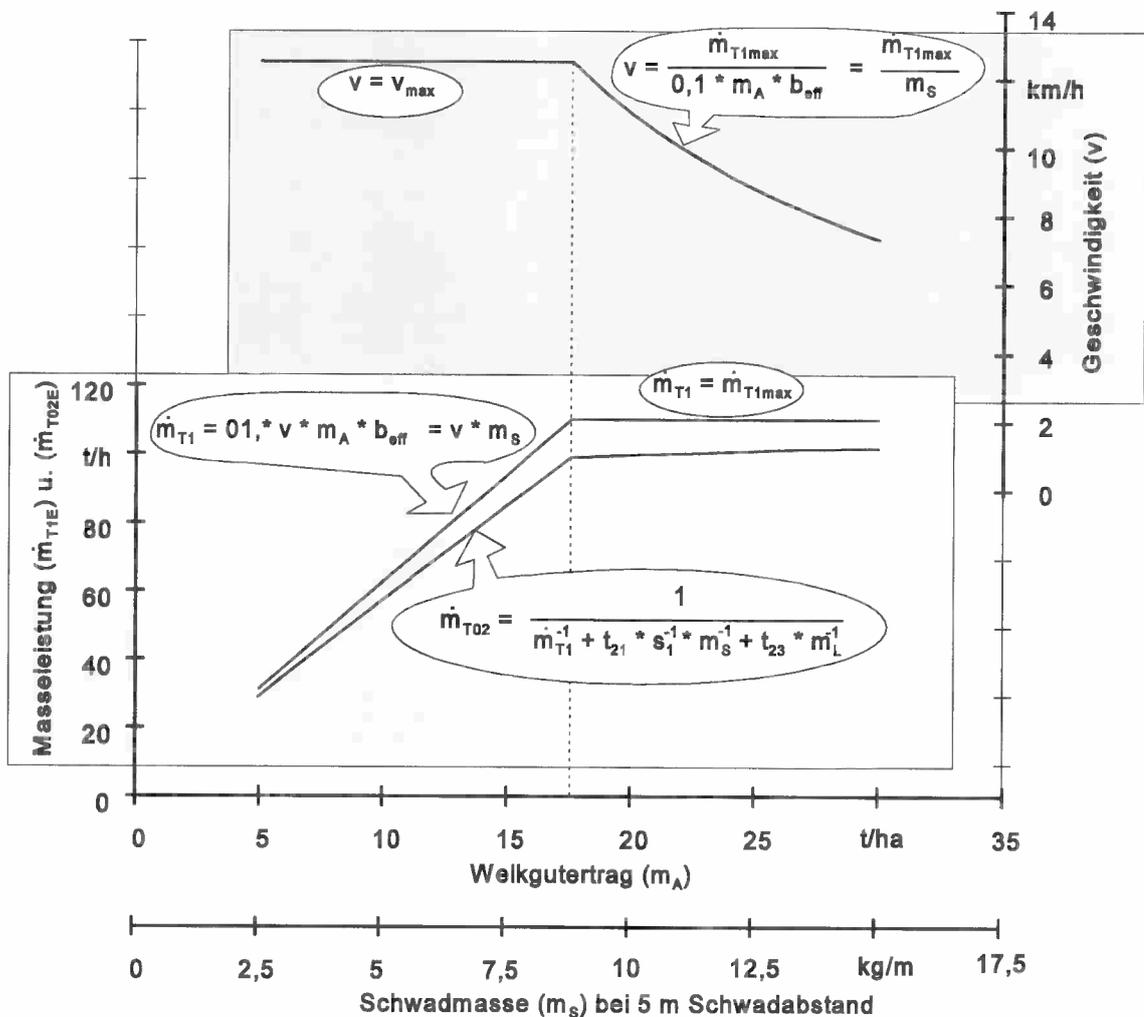


Abb. 9: Masseleistung  $\dot{m}_{T1E}$  und  $\dot{m}_{T02E}$  sowie Arbeitsgeschwindigkeit  $v$  eines Feldhäckers im Parallelverfahren in Abhängigkeit vom Welkgutertrag  $m_A$  (Schlaglänge  $s_1 = 800$  m)

In Abbildung 9 ist der Leistung in der Grundzeit  $T_1$  die Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  gegenübergestellt. Für ihre Berechnung wurde Formel (26) erweitert und den realen Bedingungen angepaßt. Neben der Zeit je Wendung  $t_{21}$  wurde eine weitere Hilfszeit  $t_{23}$  berücksichtigt:

$$\dot{m}_{T02E} = \frac{1}{\dot{m}_{T1E}^{-1} + t_{21} * s_1^{-1} * m_S^{-1} + t_{23} * m_L^{-1}} \quad (73)$$

Sie stellt die Wartezeit des Feldhäckslers dar, die nach dem Beladen eines Transportmittels bis zum Positionieren des nächsten leeren Transportfahrzeuges am Häcksler benötigt wird. Für sie wurde ein Zeitbedarf von 16 Sekunden je Transportfahrzeugwechsel ermittelt. Im Containerverfahren war der zusätzlich zu den Wendezeiten anfallende Hilfszeitaufwand bedeutend höher (HERRMANN et. al. 1995).

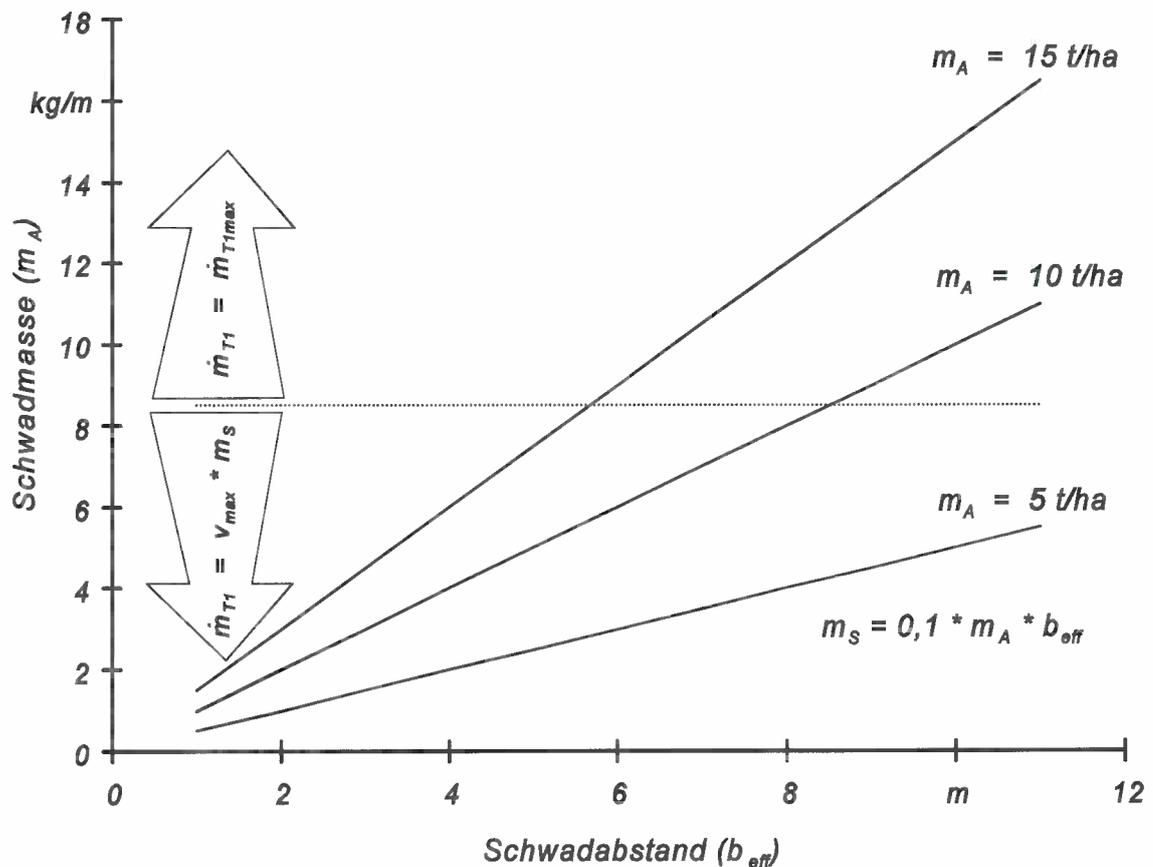


Abb. 10: Schwadmasse  $m_s$  in Abhängigkeit vom Schwadabstand  $b_{eff}$  und vom Ertrag  $m_A$

Im Parallelverfahren war die Leistung des Feldhäckslers in der Operativzeit um 8 bis 10 % niedriger als in der Grundzeit. Diese Leistungsunterschiede treten in Abhängigkeit von der Schwadmasse bei der relativ großen Schlaglänge von 800 m auf.

## 4.3.2.3.2 Schlaglänge

Auf die Masseleistung in der Operativzeit  $T_{02}$  übt die Schlaglänge  $s_1$  einen besonders großen Einfluß aus (Abb. 11). Die Leistung  $\dot{m}_{T02E}$  des Feldhäckslers wird, wie bereits vorgestellt, nach Formel (73) kalkuliert. Die Berechnung der Transportleistung kann auf der Grundlage von (43), (44) und (53) folgendermaßen erfolgen:

$$\dot{m}_{T02T} = \frac{m_L}{\frac{m_L}{\dot{m}_{T02E}} + 2 * s_T * v^{-1} + t_E} \quad (74a)$$

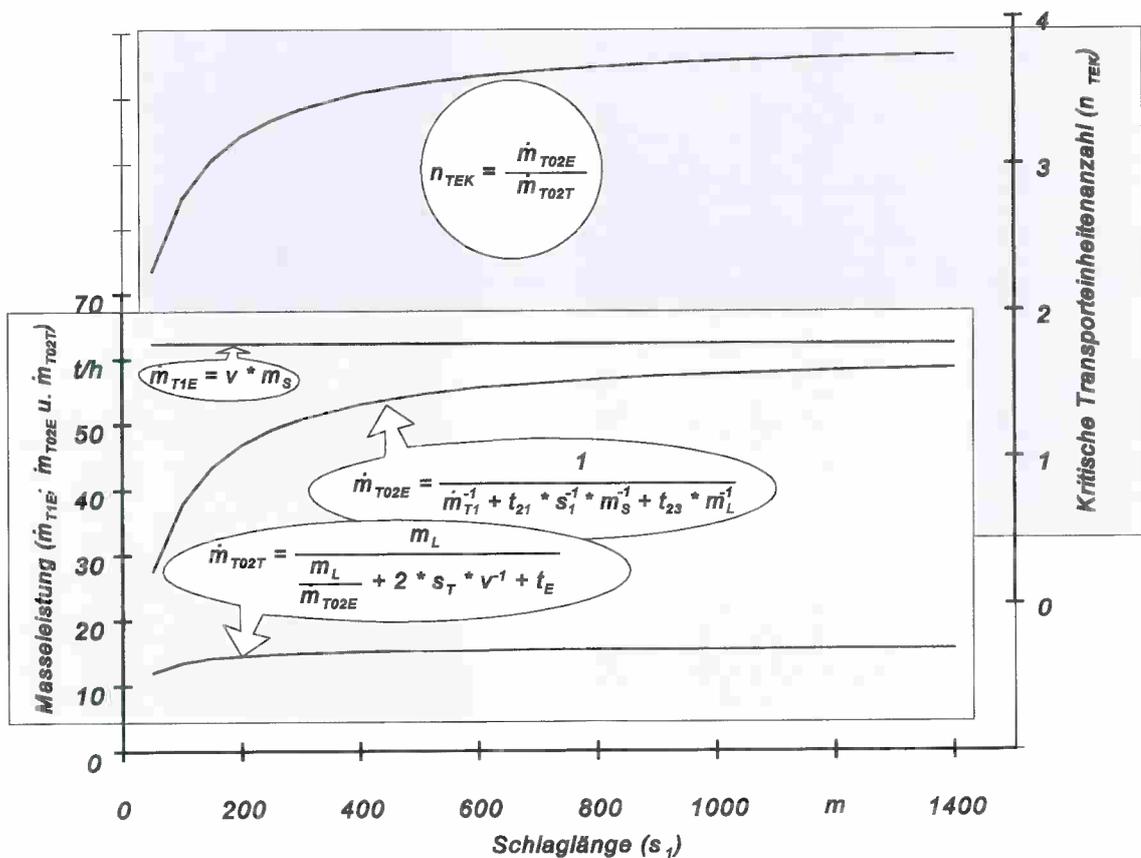


Abb. 11: Masseleistung eines Feldhäckslers  $\dot{m}_{T1E}$  und  $\dot{m}_{T02E}$  und einer Transporteinheit  $\dot{m}_{T02T}$  sowie die kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$  in Abhängigkeit von der Schlaglänge  $s_1$  (Ertrag  $m_A = 10$  t/ha; Schwadabstand  $b_{eff} = 5$  m; Transportentfernung  $s_T = 10$  km)

Besonders stark ist ihr Einfluß der Schlaglänge im Erntearbeitsgang. Durch den degressiven Anstieg der Funktion nähert sich die Masseleistung in der Operativzeit  $T_{02}$  bei größer werdender Schlaglänge der Leistung in der Grundzeit  $T_1$ . Auf die Transportleistung übt die Schlaglänge einen indirekten Einfluß aus. Durch die zunehmende Leistung des Feldhäckslers bei längeren Schlägen verkürzt sich die Beladezeit für ein Transportmittel. Da die Beladezeit ein Zeitelement der Transportleistung ist, führt das wiederum zu einer Erhöhung der Transportleistung. Der Einfluß der Schlaglänge auf die Masseleistung ist im Erntearbeitsgang jedoch größer als im Transportarbeitsgang. Das hat zur Folge, daß sich auch die Anzahl der theoretisch benötigten Transporteinheitenanzahl (kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$ ) mit zunehmender Schlaglänge verändert [vgl. Formel (54)]. Bei längeren Schlägen wird auf Grund der höheren Leistung des Feldhäckslers tendenziell eine größere Transportmittellanzahl benötigt (Abb. 11).

#### 4.3.2.3.3 Lademassee und Transportgeschwindigkeit

Die Transportleistung in der Operativzeit  $T_{02}$  ergibt sich aus dem Zusammenwirken mehrerer Komponenten:

- Lademassee  $m_L$ ,
- Transportgeschwindigkeit  $v$ ,
- Transportentfernung  $s_T$ ,
- Beladezeit  $\dot{m}_{T02E}^{-1}$  und
- Entladezeit  $t_E$ .

Durch Umstellen von Formel (74a) lassen sich die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten gut erläutern:

$$\dot{m}_{T02T} = \frac{1}{\frac{1}{\dot{m}_{T02E}} + \frac{2 * s_T}{m_L * v} + \frac{t_E}{m_L}} \quad (74b)$$

Besonders interessant ist die Frage, welche Größen den stärksten Einfluß auf die Transportleistung besitzen. Mit deren bewußten Veränderung könnten dann am ehesten Effekte der Leistungssteigerung erreicht werden. Besonders umstritten ist, ob vordergründig hohe Lademassen oder hohe Transportgeschwindigkeiten zur Leistungserhöhung beitragen. Das Leistungsmodell für die Operativzeit zeigt, daß diese Fragestellung für kurze und lange Transportentfernungen unterschiedlich zu beantworten ist (Abb. 12). Bei kurzen Trans-

portentfernungen geht der Summand  $\frac{2 * s_T}{m_L * v}$  im Nenner der Formel (74b) gegen 0.

Damit haben unter diesen Umständen vor allem die Belade- und Entladezeit und die Lademasse in den verbleibenden Summanden des Nenners [Formel (74b)] Bedeutung für die Transportleistung. In den Abbildungen 12.1 und 12.2 kommt die größere Bedeutung der Lademasse gegenüber der Transportgeschwindigkeit durch den stärkeren Anstieg der Transportleistung über der Lademasse zum Ausdruck. Die Auswirkung einer schnellen Beladung zeigt sich darin, daß die Ebene der Abbildung 12.2 ein wesentlich höheres Niveau als in Abbildung 12.1 aufweist (trifft auch für die Entladung zu!).

Die praktische Konsequenz, die sich aus dieser Tatsache ergibt, ist, daß es für kurze Transportentfernungen nahezu gleichgültig ist, ob langsamfahrende oder schnellfahrende Traktoren bzw. LKW für den Transport eingesetzt werden. Wichtig ist eine hohe Lademasse der Transportfahrzeuge und eine schnelle Be- und Entladung.

Bei großen Transportentfernungen ändert sich die Bedeutung und der Einfluß der ein-

zelnen Größen auf die Transportleistung. Der Summand  $\frac{2 * s_T}{m_L * v}$  im Nenner der For-

mel (74b) gewinnt mit ansteigender Transportentfernung an Bedeutung. Die beiden anderen Summanden des Nenners [Formel (74b)] treten zunehmend in den Hintergrund. Daraus wird deutlich, daß die Auswirkung der Be- und Entladezeiten als leistungsbeeinflussende Faktoren bei großen Transportentfernungen wesentlich abnimmt. Im Gegensatz dazu kann nun allerdings nicht die Lademasse oder die Transportgeschwindigkeit alternativ

als leistungsbestimmend angesehen werden. Vielmehr zeigt der Summand  $\frac{2 * s_T}{m_L * v}$  im

Nenner der Formel (74b), daß das Produkt beider Größen maximal sein muß. Das Produkt aus Lademasse und Transportgeschwindigkeit wird bei großen Transportentfernungen zur entscheidenden Leistungskomponente. In Abbildungen 12.3 und 12.4 werden diese Zusammenhänge dadurch deutlich, daß die Anstiege der Transportleistung über der Transportgeschwindigkeit und über der Lademasse visuell kaum Unterschiede aufweisen. Eine hohe Leistung wird erst erreicht, wenn beide Größen maximal sind. Der geringe Einfluß einer kurzen Beladezeit (= hohe Leistung der Erntemaschine) wird daran sichtbar, daß sich das Niveau der Leistungsebene in Abbildung 12.4 nur unwesentlich höher liegt als in Abbildung 12.3.

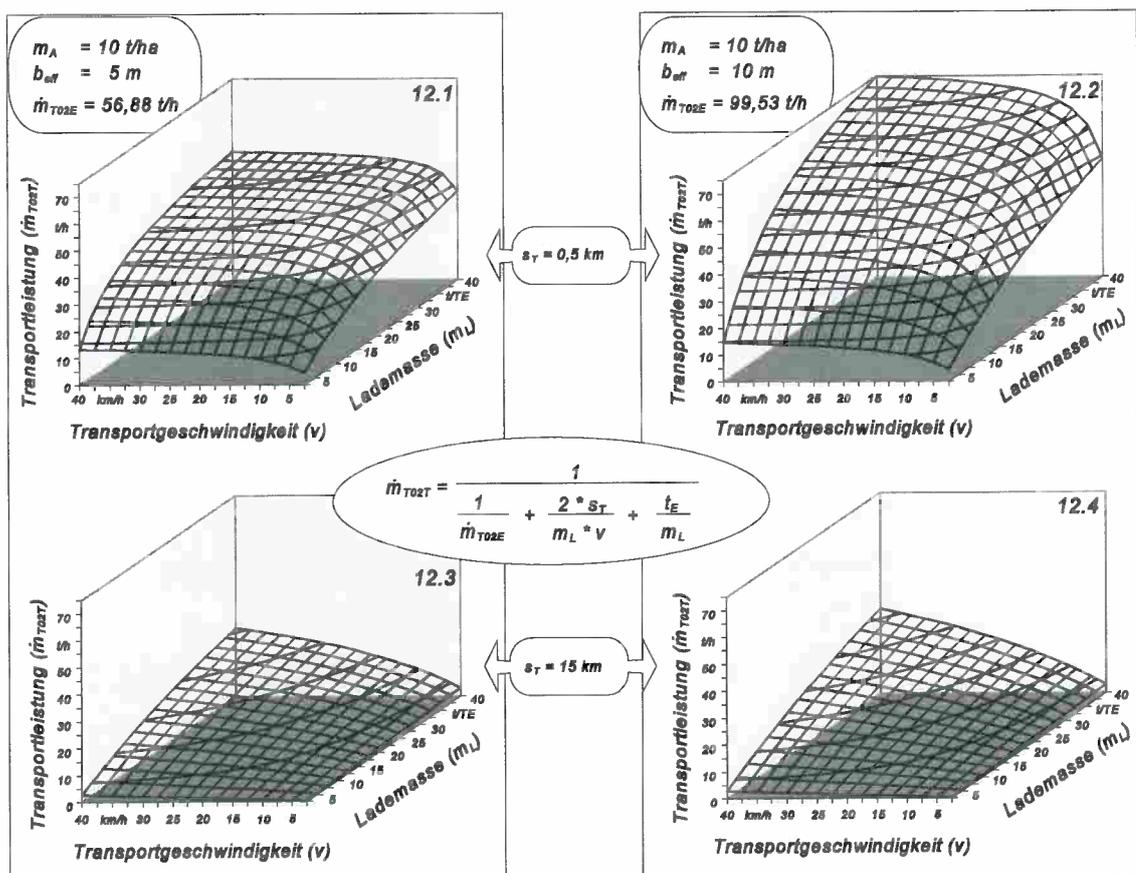


Abb. 12: Transportleistung  $\dot{m}_{TOT}$  in Abhängigkeit von der Transportgeschwindigkeit  $v$  und von der Lademasse  $m_L$  bei unterschiedlichen Leistungen der Erntemaschine und Transportentfernungen

Für den praktischen Einsatz bedeuten diese Ergebnisse aus dem Modell, daß es bei großen Transportentfernungen aus der Sicht der Transportleistung wichtig ist, schnellfahrende Transportfahrzeuge mit großer Lademasse einzusetzen. Eine schnelle Be- und Entladung ist hier weniger wichtig. Der Einsatz leistungsfähiger LKW wäre als ideal anzusehen. Steht in einem konkreten Fall die Entscheidung vor einem schnellfahrendem Fahrzeug mit geringer Lademasse (z.B. kleiner LKW) und einem langsamfahrenden Fahrzeug mit hoher Lademasse (z.B. Traktorzug), läßt das Produkt aus Lademasse und Geschwindigkeit eine geeignete Aussage als Näherung für ihre Leistungsfähigkeit zu. Um genauere Aussagen treffen zu können, ist allerdings das vorliegende Modell mit den konkreten Einsatzbedingungen zu nutzen.

Die vorgestellten Aussagen zur Auswirkung relevanter Einflußgrößen auf die Transportleistung, die am Beispiel des Parallelverfahrens dargestellt wurden, sind prinzipiell für die Transportleistung in der Operativzeit  $T_{02}$  zu verallgemeinern.

#### 4.3.2.3.4 Schlaggröße

Der Einfluß der Schlaglänge auf die Leistung in der Ernte und beim Transport wurde bereits umfassend diskutiert (vgl. Abb. 11). Bezieht man in die Kalkulation die Schlagbreite ein, kann der Einfluß der Schlaggröße auf die Leistung untersucht werden. Dazu ist allerdings von der Betrachtungsebene der Operativzeit  $T_{02}$  auf die Ebene der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  überzugehen.

Im Zusammenhang mit der Schlaggröße sind die Zeiten für den Wechsel von einem Schlag zu einem anderen  $T_{62}$  unmittelbar von Interesse. Weiterhin sind in der Gesamtarbeitszeit die Rüstzeit  $T_3$ , die Störzeiten  $T_4$ , die Zeit für Kurzpausen  $T_5$  und die Zeiten für die Fahrt vom Standort zum Arbeitsort (Schlag) und umgekehrt  $T_{611}$  und  $T_{612}$  sowie sonstige Verlustzeiten  $T_8$  als nicht unmittelbar an die Schlaggröße gekoppelte Einflußgrößen zu berücksichtigen. Ihre Kalkulation wurde im Abschnitt 4.2.2.3 vorgestellt.

Auf der Ebene der Operativzeit  $T_{02}$  wurde deutlich, daß kürzere Schlaglängen besonders für den Erntearbeitsgang einen enormen Leistungsverlust gegenüber der Leistung in der

Grundzeit  $T_1$  bedeuten. Das trifft insbesondere für den Schlaglängenbereich unter 400 m zu. In der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  wird der Effekt des Leistungsverlustes gegenüber der Grundzeit  $T_1$  noch verstärkt. Die Ursache besteht darin, daß bei kleinen Schlägen zusätzlich zum hohen Wendezeitaufwand vermehrt Zeiten für den Schlagwechsel  $T_{62}$  auftreten. Dieser Sachverhalt läßt sich mit dem Modell am Beispiel des Parallelverfahrens mit den in Tabelle A4 unterstellten Einsatzbedingungen gut simulieren (Abb. 13).

Betrachtet man den Extremfall einer durchschnittlichen Schlaggröße von 100 ha, so ist festzustellen, daß die Leistungsminderung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  gegenüber der Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  27 % beträgt. Beim anderen Extrem einer durchschnittlichen Schlaggröße von einem Hektar beträgt diese Leistungsminderung bereits 42 %. Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten  $T_{25E}$  treten für den Feldhäcksler bei den 4 unterstellten Transporteinheiten im dargestellten Schlaggrößenintervall nicht auf. Der Anstieg der Leistungsminderung bei kleinen Schlägen wird somit ausschließlich durch die Schlaggröße und die sie tangierenden Randbedingungen hervorgerufen.

Vergleicht man die Leistung des Feldhäckslers in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  mit der Leistung in der Grundzeit  $T_1$ , gestalten sich die Leistungsunterschiede in Abhängigkeit von der Schlaggröße noch dramatischer. 32 % Leistungsverluste bei einer durchschnittlichen Schlaggröße von 100 ha stehen 60 % Leistungsverluste bei einer durchschnittlichen Schlaggröße von einem Hektar gegenüber. Diese im Modell berechneten Effekte bestätigen die Erfahrungen von niederländischen Praktikern beim Einsatz von Feldhäckslern zur Welkguternte für ein Trockenwerk (HARTOG 1994).

Die Leistungsminderung auf kleinen Schlägen hat natürlich auch ihre Auswirkung auf die Kosten der Arbeitserledigung. Bei einer Verkleinerung der durchschnittlichen Schlaggröße von 100 ha auf 50 ha beträgt die Kostenerhöhung weniger als 2 %. Wird die Schlaggröße 100 ha mit der Schlaggröße 10 ha verglichen, beträgt die Kostenerhöhung bereits 11 %. Der Extremfall von einem Hektar Schlaggröße bewirkt dann allerdings einen dramatischen Kostenanstieg von 67 %.

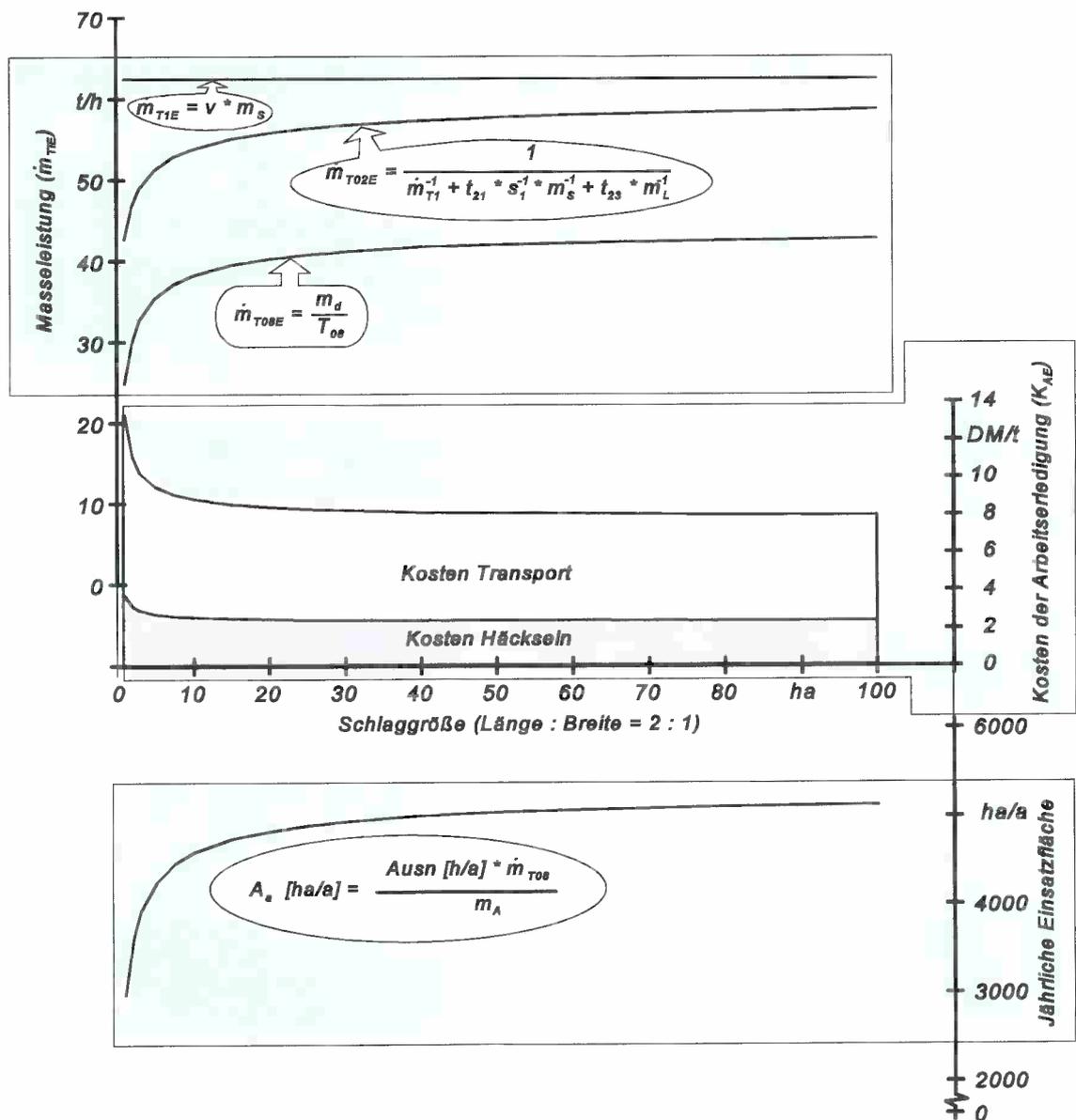


Abb. 13: Masseleistung eines Feldhäckslers  $\dot{m}_{T_{iE}}$  in der Grundzeit  $T_1$ , in der Operativzeit  $T_{02}$  und in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ , jährliche Einsatzfläche sowie Kosten der Arbeitserledigung für die Arbeitsgänge Häckseln und Transport in Abhängigkeit von der Schlaggröße (jährliche Einsatzzeit  $Ausn = 1200$  h/a; Transportentfernung  $s_T = 10$  km; Anzahl Transporteinheiten  $n_{TE} = 4$ )

Die Hauptursache für den Kostenanstieg bei kleinen Schlägen liegt in der verminderten jährlichen Ausnutzung der Maschinen in Hektar je Jahr. Bei der unterstellten zeitlichen Ausnutzung von 1200 Stunden im Jahr in einem Trockenwerk vermindert sich die jähr-

liche Erntefläche von über 5000 ha bei durchschnittlichen Schlaggrößen von 100 ha auf 3000 ha bei Schlaggrößen von einem Hektar. Weiterhin sorgt eine geringere Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  als Einflußgröße einiger Kostenbestandteile direkt kosten erhöhend (vgl. Abschnitt 4.1).

#### 4.3.2.3.5 Transporteinheitenanzahl

Ein weiterer wichtiger Einfluß auf verfahrenstechnische Kriterien ergibt sich im Parallelverfahren aus der spezifischen Verknüpfung von Ernte und Transport. Die Leistung im Erntearbeitsgang  $\dot{m}_{T02E}$  ist in der Regel kein ganzzahliges Vielfaches von der Leistung im Transportarbeitsgang  $\dot{m}_{T02T}$ . Somit sind auch bei bestmöglicher Zuordnung von Transportmitteln zum Erntearbeitsgang zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten  $T_{25}$  (Wartezeiten) nicht zu vermeiden. Das Ziel kann lediglich in ihrer Minimierung bestehen. Die Möglichkeiten ihrer Quantifizierung wurden ausführlich im Abschnitt 4.2.4.2 vorgestellt.

Eine suboptimale Verfahrensgestaltung führt in jedem Fall zu Leistungsverlusten und zu erhöhten Kosten. Eine gute Verfahrensgestaltung im Parallelverfahren besteht in der Zuordnung der optimalen Transporteinheitenanzahl zum Erntearbeitsgang. Diese orientiert sich an der kritischen Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$  [vgl. Formel (54)]. Sie ist als Quotient aus der Leistung bei der Ernte  $n_E \cdot \dot{m}_{T02E}$  und der Leistung beim Transport  $\dot{m}_{T02T}$  stark von den Einsatzbedingungen abhängig. Für die Verfahrensplanung ist es aus der Sicht der Verfahrensleistung günstig, die als Ergebnis ermittelte reelle Zahl der kritischen Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$  auf die nächste ganze Zahl aufzurunden. Mit dieser Transporteinheitenanzahl wird vermieden, daß es zu Standzeiten bei der Erntemaschine kommt. Ihr Leistungsvermögen in der Operativzeit  $T_{02}$  wird damit voll ausgeschöpft. Aus der Sicht der Kosten der Arbeitserledigung kann es unter gewissen Umständen günstig sein, kurzfristige Wartezeiten der Erntemaschine in Kauf zu nehmen, wenn dadurch ein Transportmittel eingespart wird. Fehler bei der Zuordnung der Transporteinheitenanzahl zum Erntearbeitsgang besitzen unter Umständen gravierende Auswirkungen auf die Leistung in den Arbeitsgängen (Zeitbasis  $T_{025}$ ) und auf die Kosten der Arbeitserledigung. Für eine gemeinsame Betrachtung von Ernte und Transport im Arbeitsverfahren ist die verfahrenstechnische Leistung als Kriterium allerdings nur bedingt geeignet, da Leistungen aus

mehreren Arbeitsgängen nicht additionsfähig sind. Hier bietet sich der Arbeitszeitbedarf  $T_{WA}$  als ein Kriterium an, das bei Besetzung der Maschinen mit einer Arbeitskraft als reziproker Wert der Leistung ausgewiesen werden kann:

$$T_{WA} = \frac{1}{\dot{m}_{Ti}} \quad (75)$$

Zum Arbeitszeitbedarf können auch die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $T_{25}$  als quasi unproduktive Arbeitszeit ins Verhältnis gesetzt werden (Abb. 14).

In Abbildung 14 wird der Arbeitszeitbedarf für das Arbeitsverfahren Welkguternte mit Feldhäcksler und Transportfahrzeugen für zwei Transportentfernungen dargestellt. In der Operativzeit  $T_{02}$  ist der Arbeitszeitbedarf, der in der Ernte und beim Transport auftritt, in jeder Transportentfernungsstufe unabhängig von der Anzahl der eingesetzten Transportmittel konstant. Die Unterschiede im Arbeitszeitbedarf ergeben sich erst unter Berücksichtigung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$ . Bei 10 km Transportentfernung liegt die kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$  bei 3,69. Bei 20 km Transportentfernung liegt die theoretisch optimale Transporteinheitenanzahl bei 5,89. Wird eine kleinere Transporteinheitenanzahl als die kritische Transporteinheitenanzahl im Arbeitsverfahren eingesetzt, entstehen die Wartezeiten im Erntearbeitsgang. Im anderen Fall treten die Wartezeiten im Transportarbeitsgang auf. Bei 3 eingesetzten Transporteinheiten (10 km Transportentfernung) fallen immerhin noch 19 % des Arbeitszeitbedarfes für das Häckseln als Wartezeit an. Das entspricht einem Anteil von nahezu 5 % Wartezeitaufwand am Arbeitszeitbedarf des Gesamtverfahrens. Bei 4 eingesetzten Transportmitteln (10 km Transportentfernung) liegt der Wartezeitanteil am Arbeitszeitaufwand des Transportes bei 8 %. Für das Arbeitsverfahren entsteht noch ein Wartezeitanteil von 6 %. Jede weitere Verkleinerung bzw. Vergrößerung der Transportmittelanzahl im Arbeitsverfahren bewirkt eine drastische Erhöhung des Wartezeitanteiles und damit einen Anstieg des Arbeitszeitbedarfes. Die Kosten im Arbeitsverfahren korrelieren stark mit dem benötigten Arbeitszeitaufwand. Auch aus der Sicht der Kosten ist

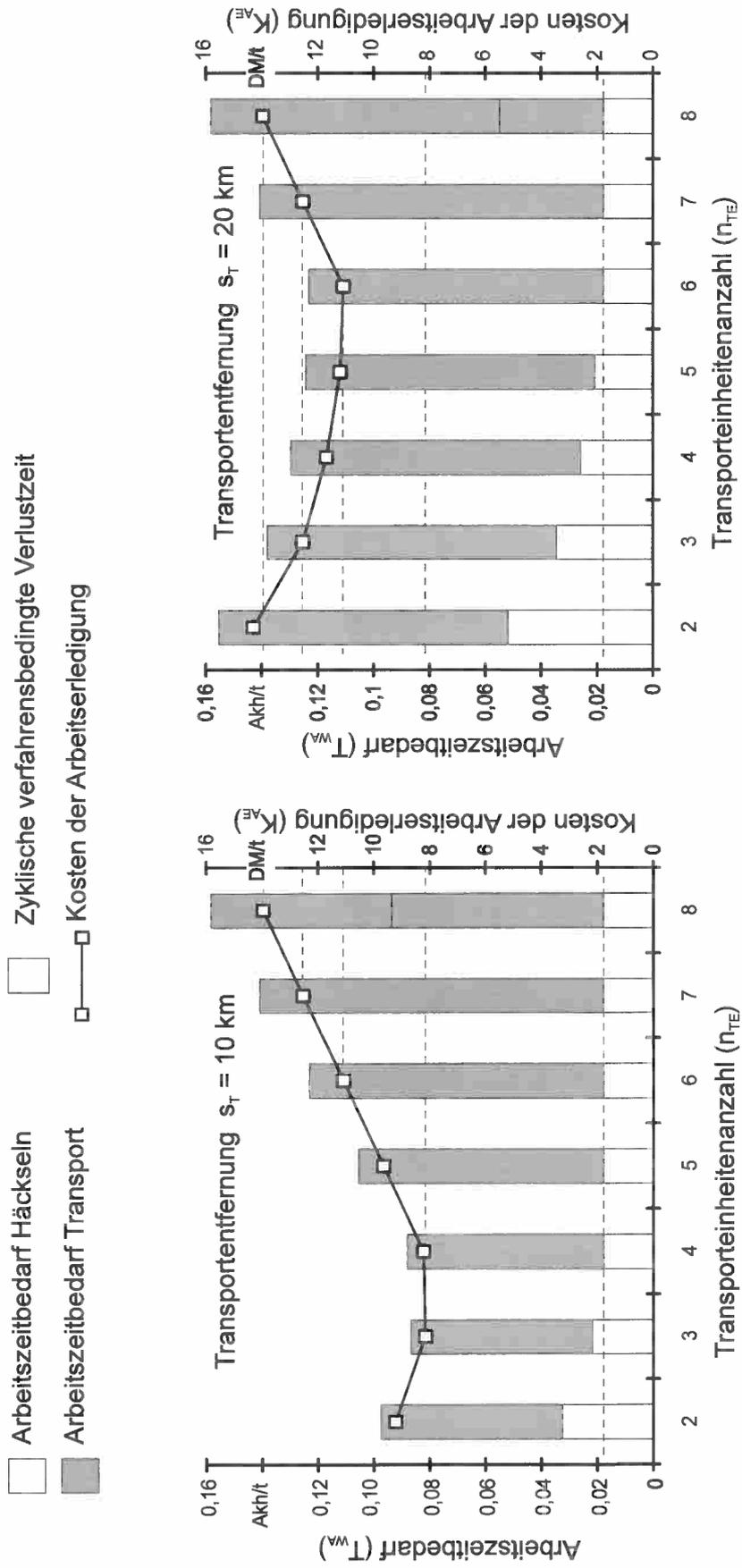


Abb. 14: Arbeitszeitbedarf ( $T_{wA}$ ) für die Arbeitsgänge Häckseln und Transport in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  sowie Kosten der Arbeitserledigung ( $K_{AE}$ ) für das Gesamtverfahren in Abhängigkeit von der Transporteinheitenanzahl ( $n_{TE}$ )

eine gut angepaßte Transporteinheitenanzahl zum Erntearbeitsgang erforderlich. Bei 20 km Transportentfernung gelten die getroffenen Aussagen entsprechend. Arbeitszeitbedarf und Kosten bewegen sich durch die verminderte Leistung im Arbeitsgang Transport auf höherem Niveau.

#### 4.3.2.3.6 Transportentfernung

Einen weiteren wichtigen Parameter, der die Kriterien zur Bewertung des Arbeitsverfahrens beeinflusst, stellt die Transportentfernung  $s_T$  dar. Ihre Zunahme wirkt prinzipiell leistungsmindernd im Transportarbeitsgang. Durch Vorhalten einer Leistungsreserve beim Transport mittels einer angepaßten Transportmittelzuordnung können Leistungsminierungen bei ansteigender Transportentfernung im Erntearbeitsgang verhindert werden (Abb. 15.1). Der Arbeitszeitbedarf und die Kosten für den Feldhäcksler bleiben in diesem Fall über der Transportentfernung konstant.

In Abbildung 15.1 wird unterstellt, daß die Transportmittelzuordnung so erfolgt, daß die Wartezeiten im Arbeitsgang Transport minimal sind. Ein Vermeiden der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten ist in der Regel jedoch nicht möglich. Der Arbeitszeitbedarf für den Transport ist das Produkt aus der Anzahl der eingesetzten Transporteinheiten und dem Arbeitszeitbedarf für das Häckseln. Sein Anteil am Arbeitszeitbedarf des Arbeitsverfahrens wächst mit steigender Transportentfernung. Die Kosten der Arbeits erledigung entwickeln sich über der Transportentfernung analog zum Arbeitszeitbedarf. Sie nehmen beim Einsatz eines zusätzlichen Transportmittels sprunghaft zu.

Als unvollkommene Transportmittelzuordnung zur Erntemaschine wird in Abbildung 15.2 über den gesamten Transportentfernungsbereich (Feldrand = 0 km bis 27 km) der Einsatz von 4 Transportfahrzeugen unterstellt. Die ideale Transportentfernung für diese Einsatzbedingungen befindet sich bei 11,4 km. Größere Entfernungen bewirken zunehmende Standzeiten des Feldhäckslers. Bei 27 km Transportentfernung fallen unter diesen Voraussetzungen 46 % der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  als Wartezeit für den Feldhäcksler an. Die Kosten für den Feldhäckslereinsatz erhöhen sich um 77 %. Die Kosten-erhöhung beim Feldhäcksler resultiert zum einen direkt aus der schlechteren Auslastung

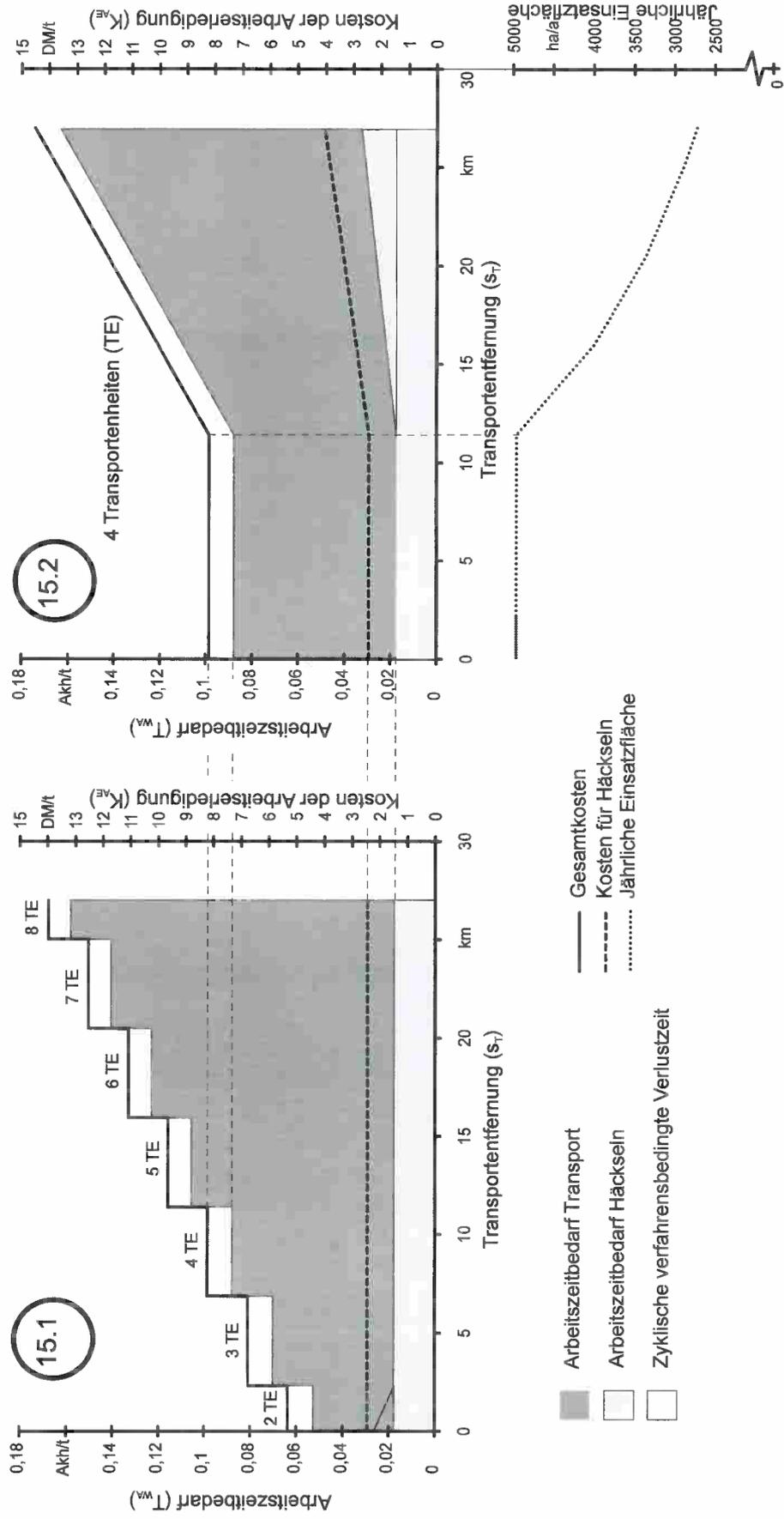


Abb. 15: Arbeitszeitbedarf, Kosten der Arbeiterledigung und jährliche Einsatzfläche bei der Weltguternte in Abhängigkeit von der Transportentfernung und von der Transporteinheitenanzahl

der Erntemaschine. Zum anderen vermindert sich auch die Ausnutzung des Häckslers. Bei der unterstellten jährlichen Einsatzzeit von 1200 h kann der Feldhäcksler ohne dem Auftreten von zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten nahezu 5000 ha ernten. Bei der Transportentfernung von 27 km und der Zuordnung von lediglich 4 Transporteinheiten sind nur noch 2700 ha zu bewältigen.

Unterhalb der Transportentfernung von 11,4 km entstehen für den Feldhäcksler keine Wartezeiten. Arbeitszeitbedarf und Kosten bleiben über dem Transportentfernungsbereich 0 bis 11,4 km konstant. Ebenfalls konstant bleiben in diesem Transportentfernungsintervall der Arbeitszeitbedarf und die Kosten für den Transport. Allerdings bewegen sie sich auf einem hohen Niveau. Ursache dafür ist der starke Anstieg der Wartezeiten bei kleiner werdenden Transportentfernungen durch den Überschuß an potentielltem Leistungsvermögen beim Einsatz von 4 Transporteinheiten.

#### 4.3.3 Absätziges Verfahren: Schlüsselmaschine Quaderballenpresse

##### 4.3.3.1 Charakteristik der Verfahren

Die Großballenverfahren sind klassische Beispiele für eine absätziges Verknüpfung von Ernte und Transport. Das Pressen der Ballen erfolgt völlig unabhängig von ihrem Abtransport. Als zeitlicher und lokaler Puffer zwischen Ernte und Transport dient das Feld. Für den Erntearbeitsgang hat diese Art der Verfahrensgestaltung den Vorteil, daß zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten während des Pressens nicht auftreten können. Auf der Ebene des Arbeitsverfahrens sollen drei Varianten miteinander verglichen werden (Abb. 16).

##### Variante 1:

Die erste Variante stellt das klassische Verfahren dar, wie es in den meisten Großbetrieben zur Anwendung kommt. Für die Ernte wird eine traktorgezogene Quaderballenpresse eingesetzt. Der Abtransport erfolgt auf der Grundlage von Typ III der transportverbundenen Arbeitsverfahren (vgl. Abb. 3). Damit stellt der Transport ein Fließarbeitsverfahren dar, das unmittelbar mit einem Umschlagarbeitsgang zur Beladung und einem Umschlag-

arbeitsgang zur Entladung verknüpft ist. Für den Transport werden im Beispiel Traktoren mit je zwei Universalanhängern eingesetzt. Für den Umschlag auf dem Feld und im Lager werden je ein Traktor mit Frontlader unterstellt. Denkbar sind hier auch der Schwadmäher mit Ballenlift, Radlader oder ähnliche Umschlagmittel.

#### Variante 2:

Diese Variante entspricht in ihrer Struktur der Verfahrensgestaltung von Variante 1. Der einzige Unterschied besteht darin, daß die Quaderballenpresse mit einem Sammelwagen (Akkumulator) ausgerüstet ist. Er ist in der Lage, bis zu drei Quaderballen mitzuführen. Die Ballen werden am Vorgewende oder bei langen Schlägen auf dem Feld als Querschwad abgelegt.

#### Variante 3:

Die Quaderballenpresse wird ohne Sammelwagen eingesetzt. Der Transport erfolgt im Ein-Mann-Verfahren. Der traktorgezogene Ballenladewagen stellt eine Spezialmaschine dar, deren Einsatzspektrum auf den Ballentransport beschränkt ist. Sie nimmt die auf dem Feld liegenden Ballen einzeln auf, übernimmt den Transport und stellt den Ballenstapel komplett im Lager ab.

Variante 3 ist damit *die* typische Variante des absätzigen Verfahrens. Sowohl die Ernte als auch der Transport laufen völlig unbeeinflusst voneinander und von anderen Arbeitsgängen ab.

Die für die Kalkulation unterstellten Einsatzbedingungen können den Tabellen A5.1 bis A5.3 entnommen werden.

Praktische Bedeutung hat die Kalkulation z.B. für die Ernte von Stroh zur energetischen Verwertung in Biomasseheizwerken (HERRMANN 1993a, HERRMANN 1994a, HERRMANN und PAPESCH 1996b).

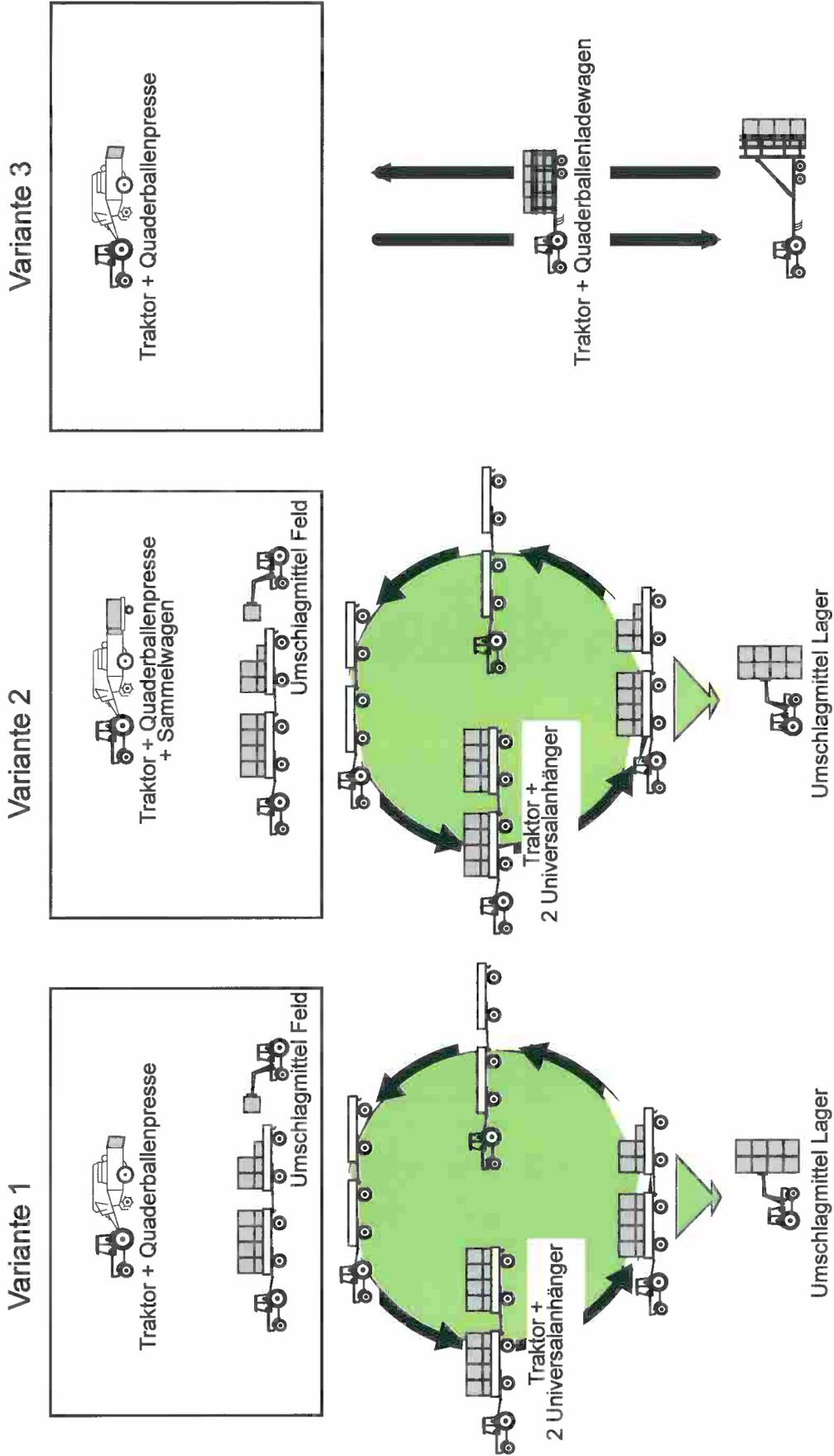


Abb. 16: Strohernte mit Quaderballen im absätzigen Verfahren

#### 4.3.3.2 Einflußgrößen-Leistung-Zusammenhänge

Im Gegensatz zum Parallelverfahren laufen Ernte und Transport bei absätziger Verknüpfung völlig unabhängig voneinander ab. Eine Leistungsbeeinflussung bei der Ernte oder beim Transport durch den jeweils anderen Arbeitsgang tritt nicht auf. Betrachtet man das Beziehungsgeflecht zwischen der Leistung in den unterschiedlichen Zeitsummenebenen und ihren Einflußgrößen im Parallelverfahren und im absätzigen Verfahren, erkennt man grundsätzlich ähnliche Zusammenhänge (vgl. Abb. 8 und Abb. 17). In der konsequentesten Form des absätzigen Verfahrens (Variante 3: Ernte mit Quaderballenpresse + Transport mit Ballenladewagen) treten allerdings nur Größen auf, die entweder auf die Leistung bei der Ernte oder auf die Leistung beim Transport Einfluß nehmen. Damit werden Wartezeiten der Maschinen in beiden Arbeitsgängen ausgeschlossen. Leistungsbetrachtungen in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  erübrigen sich dadurch (Abb. 17).

Für die Varianten 1 bis 3 kann die Leistung der Quaderballenpresse in allen Zeitebenen in der gleichen Art und Weise dargestellt werden. In den Varianten 1 und 2 erfolgt der Transport allerdings nicht im Ein-Mann-Verfahren, sondern im Fließarbeitsverfahren. Dem eigentlichen Transport sind je ein Umschlagarbeitsgang vor- und nachgelagert. Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten werden somit in diesen Varianten nur im Erntearbeitsgang ausgeschlossen. Das Problem wird, modelltheoretisch betrachtet, in einer recht komplizierten Form auf die nachfolgenden Arbeitsgänge verlagert (Abb. 18). Das im Abschnitt 4.3.2 vorgestellte Parallelverfahren ist aus der Sicht der Verknüpfung des Transports mit den unmittelbar vor- und nachgelagerten Arbeitsgängen ebenfalls ein Fließarbeitsverfahren. Somit sind die Größen, die sowohl auf die Leistung im Transportarbeitsgang als auch auf die Leistung in den vor- und nachgelagerten Arbeitsgängen Einfluß ausüben, im Parallelverfahren und im Nacherntebereich des absätzigen Verfahrens (Varianten 1 und 2) auf ähnliche Art und Weise miteinander verknüpft (Abb. 8 und Abb. 18). Die Komplexität des Leistungsmodells auf der Ebene der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  ist in den Varianten 1 und 2 des absätzigen Verfahrens höher als im Parallelverfahren, da es sich bei ersterem um transportverbundene Fließarbeitsverfahren, Typ III, und bei letzterem um ein transportverbundenes Fließarbeitsverfahren, Typ II, handelt (vgl. Abb. 3). Bei Arbeitsverfahren des Typs II ist der Transportarbeitsgang lediglich

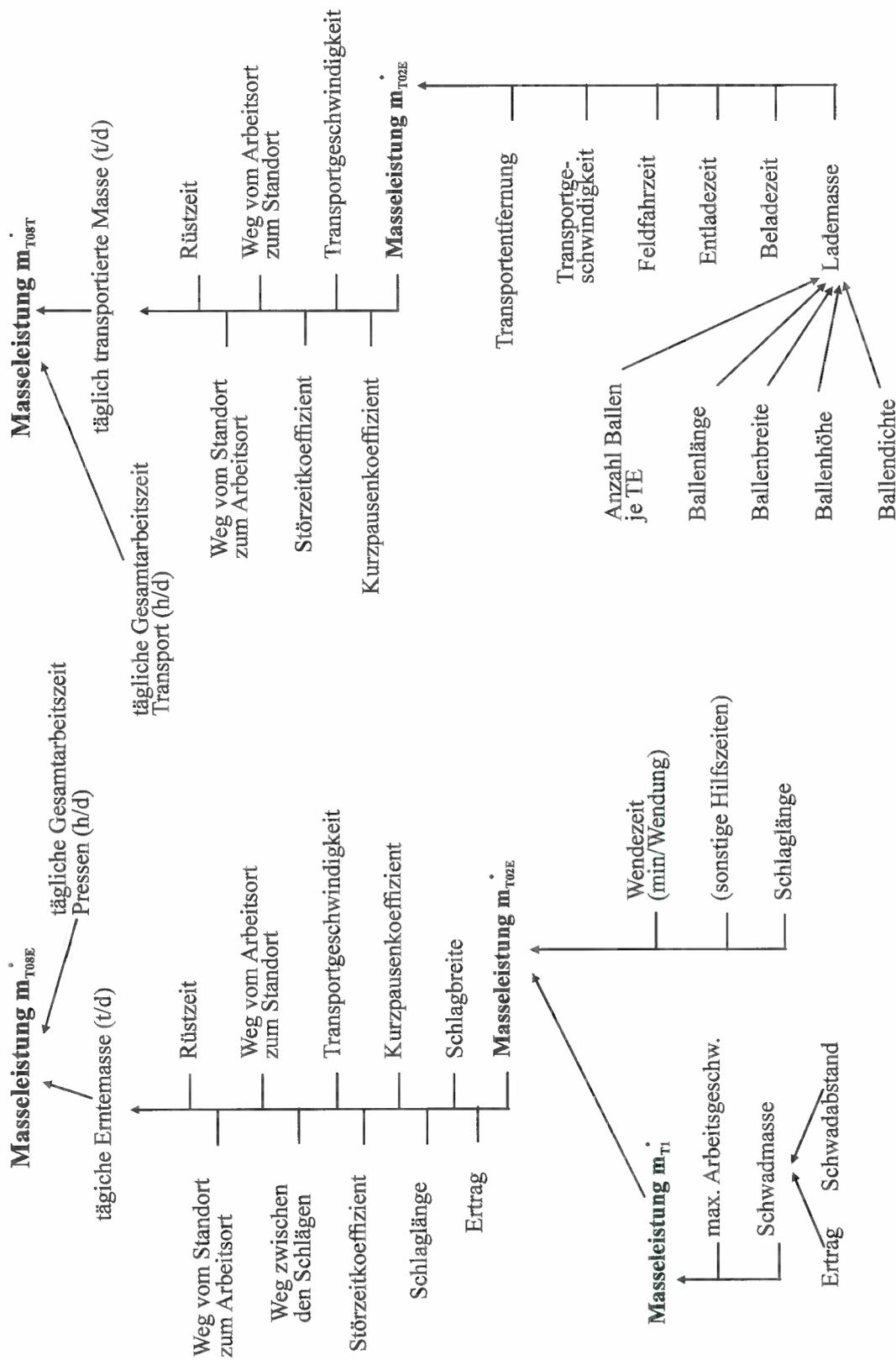


Abb. 17: Struktur des Leistungsmodells für die Halmgutunternte mit einer Quaderballenpresse und für den Ballentransport mit Quaderballenladewagen

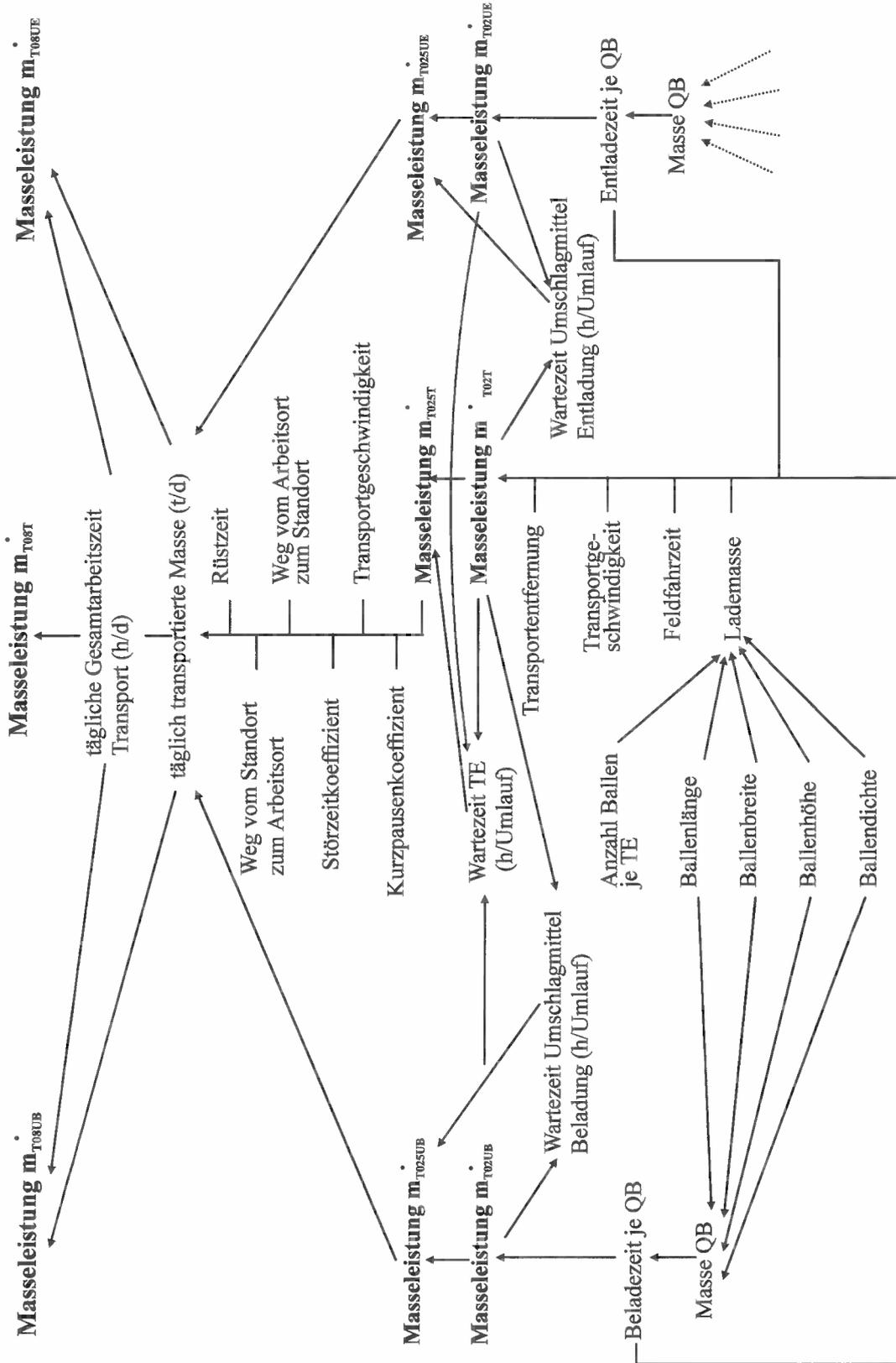


Abb. 18: Struktur des Leistungsmodells für den Quaderballtransport im transportverbundenen Fließarbeitsverfahren (Umschlagmittel Beladung + Transportfahrzeuge + Umschlagmittel Entladung) [Auszug]

mit einem weiteren Arbeitsgang unmittelbar verbunden (z.B. Ernte mit Feldhäcksler + Transport mit LKW-Zug). Im Typ III sind die Wechselwirkungen zwischen den Arbeitsgängen vielfältiger, da hier drei Arbeitsgänge miteinander verknüpft sind (z.B. Ballenbeladung mit Traktorfrontlader + Transport mit Traktorzug + Ballenentladung mit Traktorfrontlader). In der Regel treten in zwei Arbeitsgängen zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten auf, die bei der Leistungskalkulation schwieriger als im Typ II zu quantifizieren bzw. zu berücksichtigen sind.

#### 4.3.3.3 Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien

##### 4.3.3.3.1 Ertrag, Schwadabstand, Schwadmasse

Die Leistungsdarstellung in der Grundzeit  $T_1$  ist in den Verfahrensvarianten ausschließlich für den Presseneinsatz sinnvoll. Dabei sind die prinzipiellen Zusammenhänge ähnlich wie für den Feldhäckslereinsatz zu berücksichtigen. Die entscheidenden Einflußgrößen auf die Leistung sind auch hier der Ertrag  $m_A$  und der Schwadabstand  $b_{\text{eff}}$ . Aus beiden ergibt sich nach Formel (13) die Schwadmasse  $m_S$ . Für Quaderballenpressen liegen ausreichend Datensätze vor, so daß die Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie bzw. die Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie mit je drei linearen Funktionen beschrieben werden können [vgl. Formeln (14) bis (19)]. Bei der Beschreibung der Zusammenhänge mit zwei Funktionen wird davon ausgegangen, daß bei kleinen Schwadmassen konstant mit der maximal zumutbaren Arbeitsgeschwindigkeit  $v_{\text{max}}$  gearbeitet wird. Erreicht die Presse bei größer werdender Schwadmasse den maximalen technologischen Durchsatz  $\dot{m}_{T1\text{max}}$ , wird dieser beim weiteren Ansteigen der Schwadmasse nicht überschritten. Die Geschwindigkeit fällt entsprechend (13) ab.

In umfangreichen verfahrenstechnischen Untersuchungen wurde festgestellt, daß zwischen beiden Schwadmassenbereichen ein Übergangsbereich definiert werden kann, der sich als stochastischer Zusammenhang zwischen Schwadmasse und Durchsatz linear beschreiben läßt [Formeln (16) und (17)] (Abb. 19). In diesem mittleren Bereich nimmt bei zunehmender Schwadmasse die Arbeitsgeschwindigkeit der Presse bereits ab. Die Abnahme der Geschwindigkeit  $v$  wirkt sich im Produkt  $\dot{m}_{T1} = v * m_S$  (12b) allerdings nicht so stark wie

die zunehmende Schwadmasse aus, so daß der Durchsatz bei größer werdender Schwadmasse ansteigt.

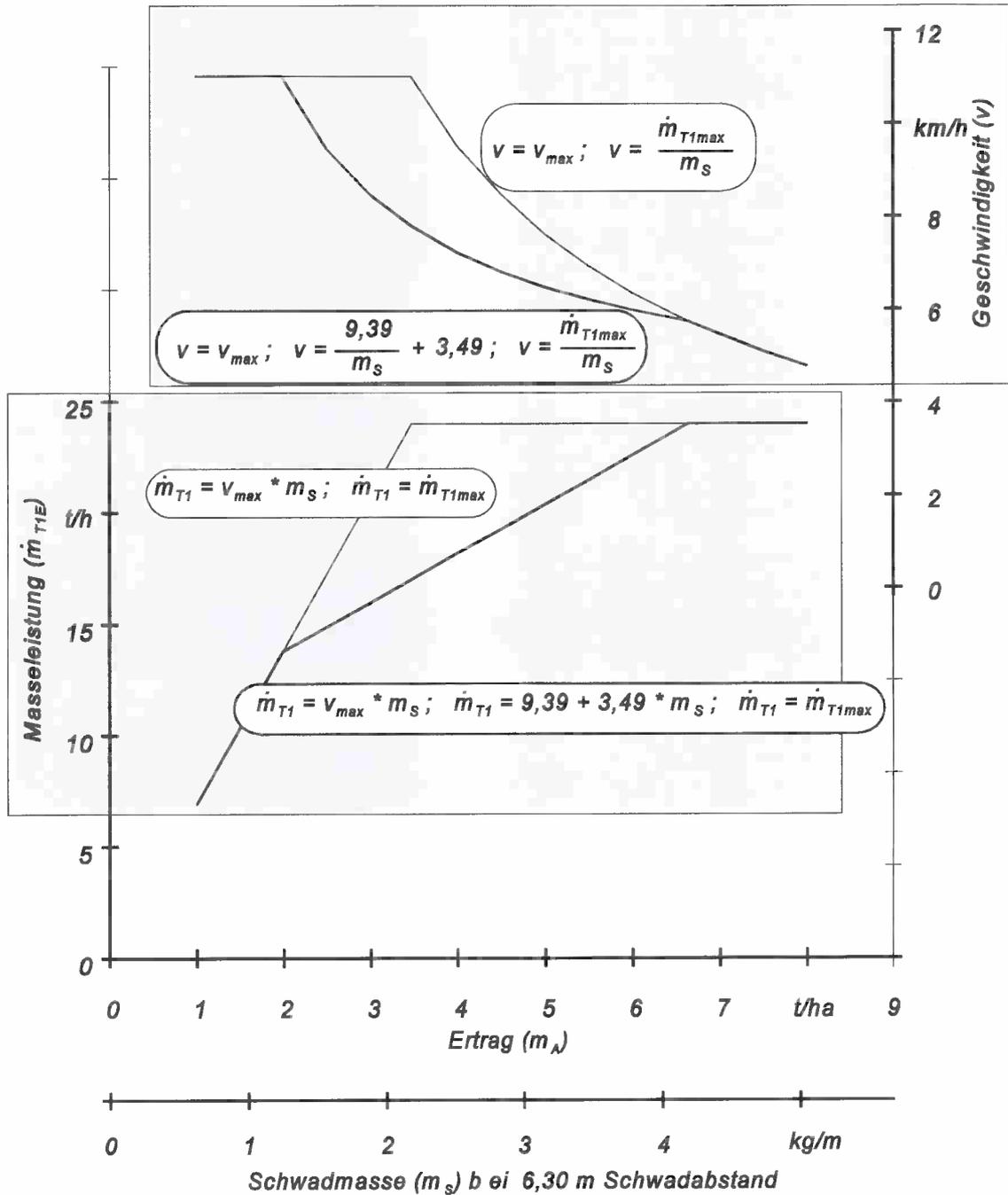


Abb. 19: Masseleistung  $\dot{m}_{T1}$  und Geschwindigkeit  $v$  einer Quaderballenpresse in Abhängigkeit vom Strohertrag  $m_A$  bei einem Schwadabstand  $b_{eff}$  von 6,30 m

Für eine hohe Auslastung der Quaderballenpresse ist eine hohe Schwadmasse Voraussetzung. Sie ergibt sich aus hohen Erträgen und/oder großen Schwadabständen [vgl. Formel (13)]. Die Schwadmasse sollte möglichst über dem Schnittpunkt der beiden Funktionen für den zweifunktionalen Schwadmasse-Durchsatz-Zusammenhang liegen:

$$v_{\max} * m_S = \dot{m}_{T1max}$$

$$m_S = \frac{\dot{m}_{T1max}}{v_{\max}} \quad (76)$$

Im konkreten Fall des Quaderballenpresseneinsatzes in der Strohernte ist dieser Schnittpunkt bei einer Schwadmasse von 2,2 kg/m erreicht. Bei einem erntbaren Strohertrag von 4 t/ha ist dafür ein Schwadabstand von 5,5 m erforderlich (vgl. auch Abb.9). Die Auslastungsgrenze der Presse ist mit ziemlicher Sicherheit beim Überschreiten des Schnittpunktes zwischen der Funktion für den mittleren und den hohen Schwadmassenbereich (dreifunktionaler Zusammenhang) erreicht:

$$a + b * m_S = \dot{m}_{T1max}$$

$$m_S = \frac{\dot{m}_{T1max} - a}{b} \quad (77)$$

Für das vorgestellte Beispiel liegt dieser Schnittpunkt bei einer Schwadmasse von 4,2 kg/m. Um diese Schwadmasse bei einem Strohertrag von 4 t/ha erreichen zu können, wäre ein Schwadabstand von 10,5 m erforderlich. Bei einem doppelt so hohen Strohertrag wäre nur der halbe Schwadabstand (5,25 m) notwendig.

Der Schnittpunkt zwischen der Funktion für die niedrige Schwadmasse und für die mittlere Schwadmasse ergibt sich ebenfalls durch Gleichsetzen der beiden Funktionen:

$$v_{\max} * m_S = a + b * m_S$$

$$m_S = \frac{a}{v_{\max} - b} \quad (78)$$

Im Beispiel sollte die Schwadmasse von 1,25 kg/m auf jeden Fall überschritten werden, da im anderen Fall zwar die maximale Arbeitsgeschwindigkeit und damit auch die maximale Flächenleistung erreicht wird, andererseits aber die Pressenauslastung völlig unbefriedigend ist.

Das Niveau des technologischen Durchsatzes liegt bei seiner Beschreibung mit drei Funktionen im mittleren Schwadmassenbereich niedriger als bei seiner Betrachtung mit zwei Funktionen. Dennoch scheint der dreifunktionale Ansatz das Leistungsverhalten einer Quaderballenpresse in der Grundzeit  $T_1$  genauer widerzuspiegeln als der Ansatz mit zwei Funktionen. Der versuchstechnische Aufwand zur Bestimmung der Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie bzw. Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie ist jedoch wesentlich höher.

Der negativen Auswirkung niedriger Schwadmassen auf die verfahrenstechnische Leistung kann bei einer selbstfahrenden Quaderballenpressen dadurch begegnet werden, daß mit der Pick up bis zu drei Schwaden gleichzeitig aufgenommen werden (LENGE 1995).

Die verfahrenstechnische Leistung einer Quaderballenpresse in der Operativzeit  $T_{02}$  und in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  soll nicht weiter vorgestellt und diskutiert werden, da für sie prinzipiell die gleichen Abhängigkeiten wie für die Leistung des Feldhäckslers im Parallelverfahren gelten.

#### 4.3.3.3.2 Schlaggröße

Am Beispiel der Quaderballenpresse kann aber gut die Auswirkung der Schlaggröße auf die Kosten der Arbeitserledigung vorgestellt werden. Die Leistung der Quaderballenpresse in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  geht hier als Einflußgröße in die Betrachtungen ein (Abb. 20). Die Kostenkalkulation soll auf der Grundlage zweier unterschiedlicher Annahmen erfolgen. Für beide Varianten wird unterstellt, daß für die Strohernte eine witterungsbedingte jährliche Einsatzzeit  $T_a$  von 220 Stunden zur Verfügung steht. Diese wird bei der Kalkulation nicht überschritten. In der Variante der Abbildung 20.1 wird die maximale jährliche Erntefläche  $A_a$  mit 500 ha festgelegt. Damit entspricht dieser Fall einem Betriebsbeispiel, in dem die jährliche Erntefläche den Einsatzumfang der Quaderballenpresse begrenzt.

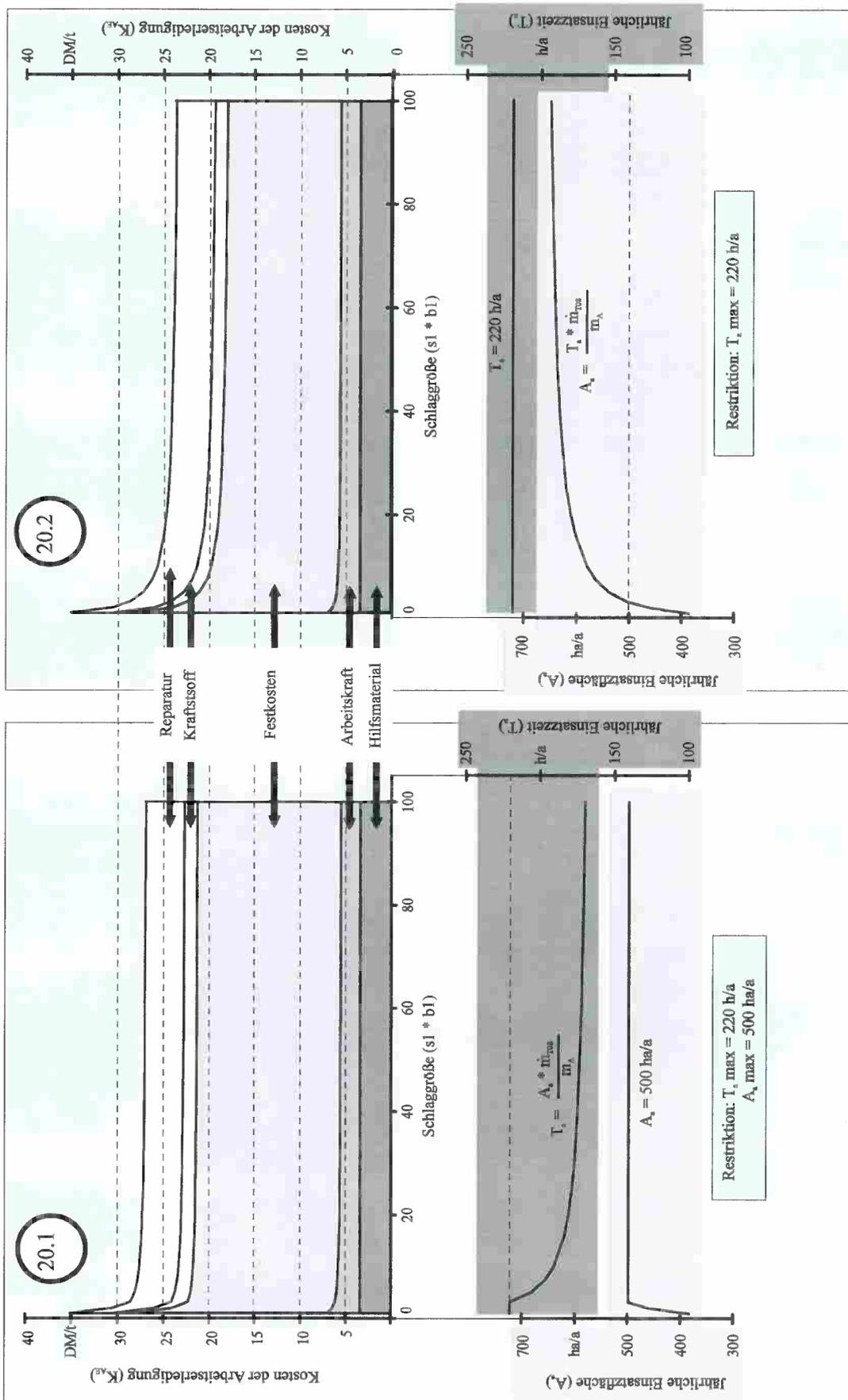


Abb. 20: Kosten der Arbeiterleistung beim Einsatz einer Quaderballenpresse in Abhängigkeit von der Schlaggröße

In der Variante der Abbildung 20.2 gilt nur die Restriktion der jährlichen Einsatzzeit von 220 h. Bei günstig gestalteten Einsatzbedingungen können also auch mehr als 500 Hektar im Jahr geerntet werden. Dieses Beispiel kann der Situation eines Lohnunternehmers oder eines Großbetriebes entsprechen.

Die Situation in Abbildung 20.1 zeigt, daß bei sehr kleinen Schlägen (unter 3,2 ha) die jährliche Erntefläche von 500 ha nicht bewältigt werden kann. Bei durchschnittlich 1 ha großen Schlägen kann in 220 witterungsbedingten Einsatzstunden das Stroh sogar nur auf 385 ha im Jahr gepreßt werden. Ursache dafür ist die geringe Leistung der Presse in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ . Diese hat wiederum ihre Hauptursachen in dem hohen Wendezeitanteil bei kleinen Schlägen und im hohen Zeitaufwand für das Wechseln der Schläge. Werden die durchschnittlichen Schlaggrößen größer als 3,2 ha, können die 500 ha Stroh abgeerntet werden. Gleichzeitig nimmt die jährliche Einsatzzeit für die Ernte größerer Schläge ab. Der Zeitbedarf sinkt bei 100 ha großen Schlägen bis auf 77 % der witterungsbedingt möglichen Einsatzzeit von 220 h/a. Bei großen Schlägen wird somit auch das Witterungsrisiko für die Strohernte gemindert.

Wird die witterungsbedingte Einsatzzeit von 220 h/a voll ausgeschöpft, kann die jährliche Erntefläche weit über 500 ha/a ausgedehnt werden (Abb. 20.2). Bei sehr großen Schlägen (100 ha) können nahezu 650 ha Stroh im Jahr geerntet werden.

Die Kosten der Arbeiterledigung weisen über der Schlaggröße in beiden Varianten einen degressiv fallenden Verlauf auf. Außer von den Kosten für das Bindegarn tragen alle Kostenbestandteile zu diesem Verhalten bei. Die stärkste Kostenminderung ist in beiden Varianten im Bereich kleiner Schwadmassen zu verzeichnen. So bewirkt die Vergrößerung der Schläge von einem Hektar auf 3,2 ha eine Kostenminderung für das Pressen um 28,5 %. Hauptursache ist hier allerdings die Tatsache, daß die jährliche Erntefläche aufgrund höherer Pressenleistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  von 385 auf 500 ha ausgedehnt werden kann. Bleibt die Erntefläche bei einer weiteren Vergrößerung der Schläge mit 500 ha konstant, beträgt die Kostenminderung bei 100 ha großen Schlägen gegenüber 3,2 ha großen Schlägen nur noch 5,6 %. Erst die Ausschöpfung der Möglichkeit, bei größeren Schlägen die jährliche Erntefläche auszudehnen, bewirkt eine Kostenminderung um 17,3 %. Diese größere Kostensenkung wird ausschließlich durch die Verminderung

der spezifischen Festkosten bewirkt, die wiederum durch die größere Maschinenausnutzung bedingt ist (vgl. HERRMANN und PAPESCH 1996a). Soll in Betrieben über die Schlaggröße ein Beitrag zur Kostensenkung erbracht werden, ist darauf zu achten, dass dies nur wirksam geschehen kann, wenn mit großen Schlägen auch eine hohe Ausnutzung der Maschinen erreicht wird.

#### 4.3.3.3 Transportentfernung

Im Zusammenhang mit dem Transport von Quaderballen ist die Transportentfernung eine entscheidende Einflußgröße. Für die Leistung der Umschlagmittel in der Operativzeit  $T_{02}$  hat sie jedoch keine Bedeutung (Abb. 21):

$$\dot{m}_{T02UB(E)} = \frac{m_{QB}}{t_{B(E)}} \quad (79)$$

In der Regel ist die Leistung der Umschlagmittel bei der Entladung im Lager größer als bei der Beladung auf dem Feld (Abb. 21.1). Kürzere Fahrstrecken je Ballen und günstigere Fahrbahnbedingungen sind ein Grund dafür. Anders gestaltet sich das Leistungsverhalten der Umschlagmittel beim Einsatz eines Sammelwagens im Zusammenhang mit der Quaderballenpresse. Durch das Ablegen der Ballen am Vorgewende oder in Querschwadern auf dem Feld werden die Fahrzeiten für das Umschlagmittel stark verkürzt. Eine Verkürzung der Beladezeit je Ballen und damit eine Erhöhung der Beladeleistung um 50 % werden mit dem gleichen Umschlagmittel erreicht. Die Beladeleistung auf dem Feld ist damit beim Einsatz eines Sammelwagens hinter der Presse größer als die Entladeleistung im Lager (Abb. 21.2). Betrachtet man in der dritten Variante das Ballenladen losgelöst von den anderen Aufgaben des Ballenladewagens, ergibt sich eine Beladeleistung von 28 t/h. Sie liegt damit zwischen den Beladeleistungen der beiden anderen Varianten (Abb. 21.3). Die Vorteile des Spezialanhängers kommen erst bei der Entladung zum Tragen. Durch das Absetzen des kompletten Ballenstapels ergibt sich eine theoretische Entladeleistung von fast 70 t/h.

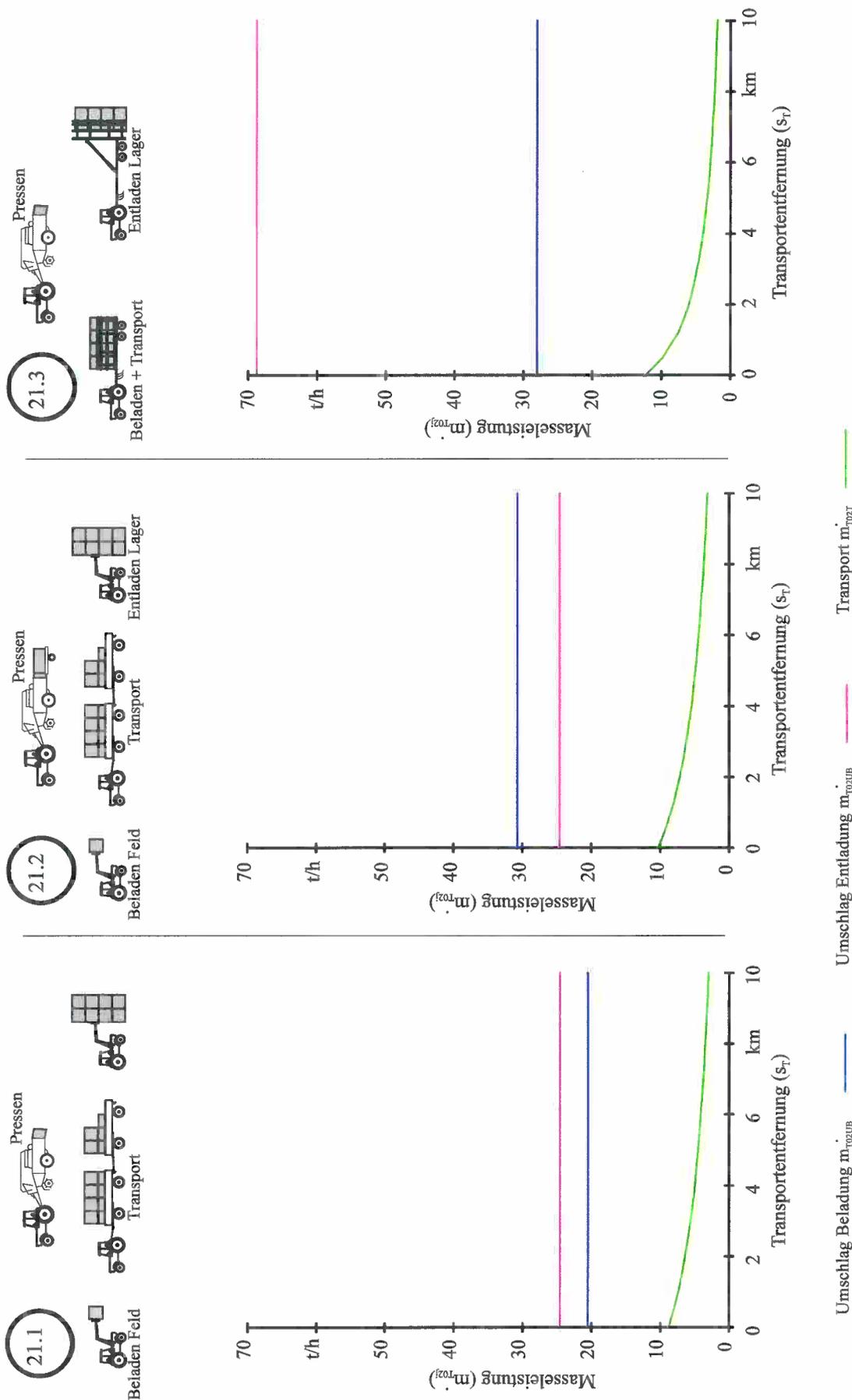


Abb. 21: Masseleistung  $\dot{m}_{Toz}$  bei der Beladung, Entladung und beim Transport von Quaderballen (Ballenabmessungen:  $l = 2,20 \text{ m}$ ,  $b = 1,20 \text{ m}$ ,  $h = 1,20 \text{ m}$ )

Schwachpunkt im transportverbundenen Fließarbeitsverfahren des Quaderballentransports ist der eigentliche Transportarbeitsgang. Die Berechnung der verfahrenstechnischen Leistung beim Transport erfolgt auf der Grundlage von (43) und (44). Sie liegt in allen Varianten schon bei der Feldrandlagerung unter 12 t/h. Mit zunehmender Transportentfernung nimmt die Leistung der Transportfahrzeuge weiter ab.

Eine differenzierte Betrachtung der Leistung beim Transport zeigt, daß der Ballenladewagen zunächst das leistungsstärkste Transportmittel darstellt (Abb. 22). Bei größer werdender Transportentfernung nimmt seine Leistung jedoch schnell ab (vgl. HERRMANN 1996). Bereits bei einer Transportentfernung von 1,6 km wird der Ballenladewagen zur leistungsschwächsten Variante (Abb. 22.1). Damit bestätigen sich die im Abschnitt 4.3.2.3.3 beschriebenen Zusammenhänge zwischen der Transportleistung und den sie beeinflussenden Größen (vgl. Abb. 12). Obwohl die Lademasse des Ballenladewagens mit 8 Ballen nur halb so groß ist wie die Lademasse der beiden anderen Varianten, wird sie bei sehr geringen Transportentfernungen vor allem durch die kurze Entladezeit des Ballenladewagens positiv überlagert. Erst bei größer werdender Transportentfernung wirkt sich die geringe Lademasse negativ auf die Leistung aus.

Der Einsatz des Sammelwagens hinter der Quaderballenpresse bewirkt innerhalb der Umlaufzeit beim Transport eine Verkürzung der Beladezeit. Damit ist die Transportleistung dieser Variante immer größer als die Leistung beim Transport in der Variante 1 (konventioneller Presseneinsatz). Die Vorteilswirkung des Sammelwagens bezogen auf die Transportleistung nimmt allerdings mit zunehmender Transportentfernung ab. So wird beim Transport zum Feldrand noch ein Leistungsvorteil durch den Einsatz des Sammelwagens von 17 % erreicht (Abb. 22.1). Bei 10 km Transportentfernung ist nur noch ein Leistungsvorsprung von 5,5 % zu verzeichnen.

Mit dem in Abbildung 22.2 unterstellten Ballenformat von 2,20 m x 1,20 m x 0,80 m wird sowohl mit den konventionellen Transportmitteln als auch mit dem Ballenladewagen die gleiche Lademasse wie mit dem großen Ballenformat erreicht. Statt 16 große Ballen werden lediglich 24 kleine auf die Universaltransportfahrzeuge geladen bzw. statt 8 große Ballen werden mit dem Ballenladewagen 12 kleine Ballen transportiert. Das kleinere Ballenformat bewirkt dennoch eine Verringerung der Transportleistung in allen Varianten,

da die kleineren Ballen einen zusätzlichen Zeitaufwand für die Be- und Entladung erfordern. Im Gegensatz zum Transport großer Ballen wird der Ballenladewagen erst bei einer Transportentfernung von 3 km zum leistungsschwächsten Transportmittel. Die Ursache für die Verschiebung dieser Schnittstelle besteht darin, daß sich die Beladezeit für die kleineren Ballen zwar ebenfalls erhöht, die Entladezeit für das Absetzen des Ballenstapels bleibt allerdings konstant. Damit tritt mit dem kleineren Ballenformat ein Leistungsvorteil gegenüber den Fließverfahren auf, in denen sowohl die Beladung als auch die Entladung einen höheren Zeitbedarf erforderlich macht.

Charakteristisch für das absätziges Verfahren ist die große Variabilität bei der Gestaltung der Arbeitsgänge Ernte und Transport [vgl. Formel (62)]. Durch die völlige Entkopplung der beiden Arbeitsgänge tritt für sie in der Regel eine unterschiedliche Kampagneeinsatzzeit auf:

$$T_{08E} * T_{dE} \neq T_{08T} * T_{dT} \quad (80)$$

Für das Pressen von 500 ha Stroh werden in allen drei Varianten 176 Stunden Kampagneeinsatzzeit  $T_{08E} * T_{dE}$  benötigt. Unterstellt ist dabei eine tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  von 10 Stunden (Abb. 23). Für den Transport stellt sich die Kampagneeinsatzzeit in den Varianten sehr unterschiedlich dar. Generell wurde eine tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08T}$  von 12 Stunden und eine Transportmittelanzahl unterstellt, die keine Wartezeiten beim leistungsschwächsten Umschlagmittel auftreten läßt. Wird die Quaderballenpresse ohne Sammelwagen eingesetzt, beträgt die Kampagneeinsatzzeit für den Transport 128 Stunden (Abb. 23.1). Beim Einsatz des Sammelwagens wird durch die geregelte Ballenablage die Beladezeit der Transportfahrzeuge verkürzt und die Leistung der Transportfahrzeuge erhöht. Die Kampagneeinsatzzeit für den Transport sinkt um 16,5 % (Abb. 23.2). Erkauft wird diese Verkürzung des Transportzeitraumes allerdings mit einer größeren Anzahl der einzusetzenden Transportfahrzeuge.

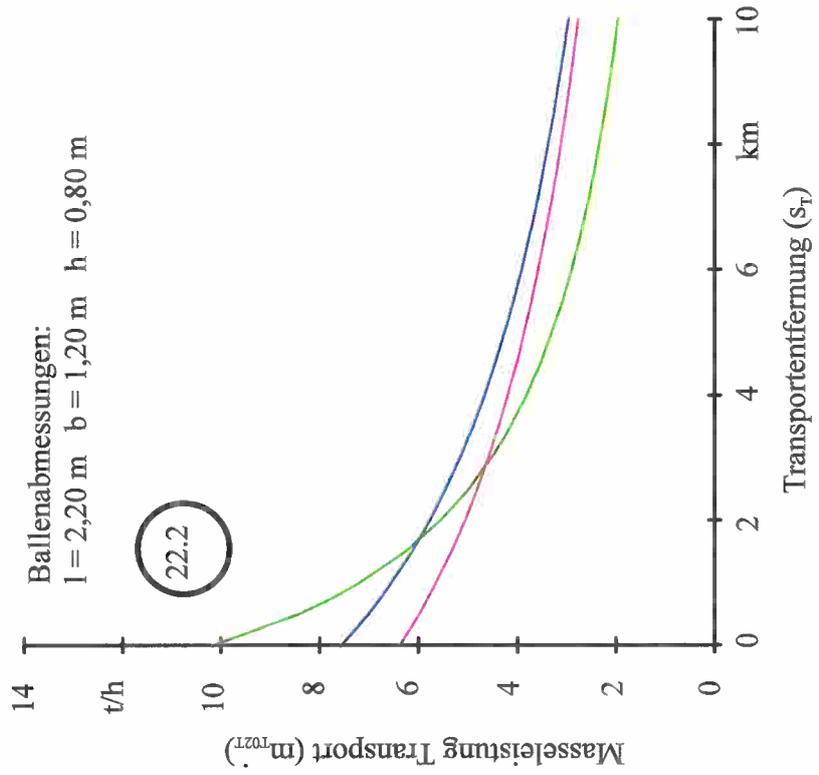
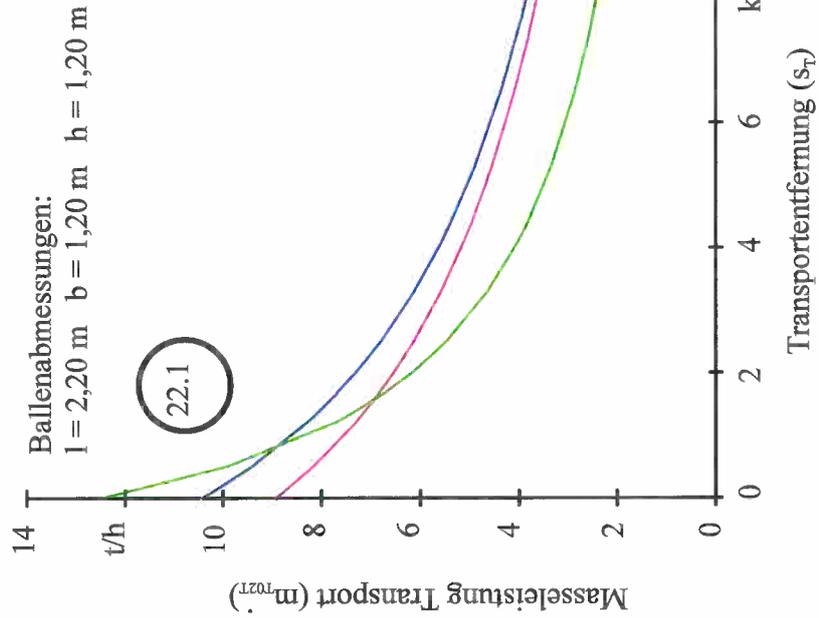
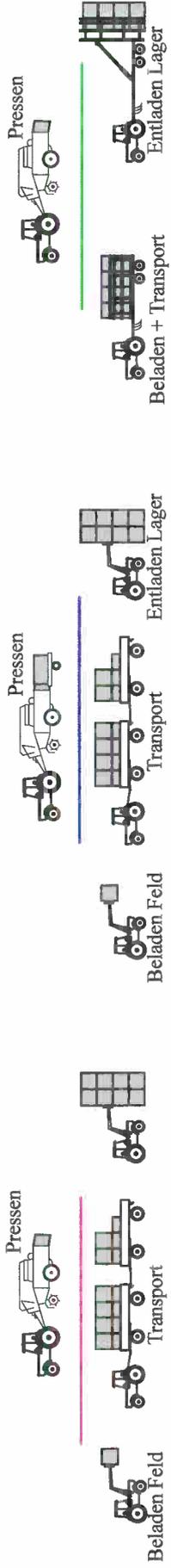


Abb. 22: Masseleistung beim Transport von Quaderballen  $m_{\text{rozt}}$  in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Ballenabmessungen:  $l = 2,20 \text{ m}$   $b = 1,20 \text{ m}$   $h = 1,20 \text{ m}$  und  $l = 2,20 \text{ m}$   $b = 1,20 \text{ m}$   $h = 0,80 \text{ m}$ )

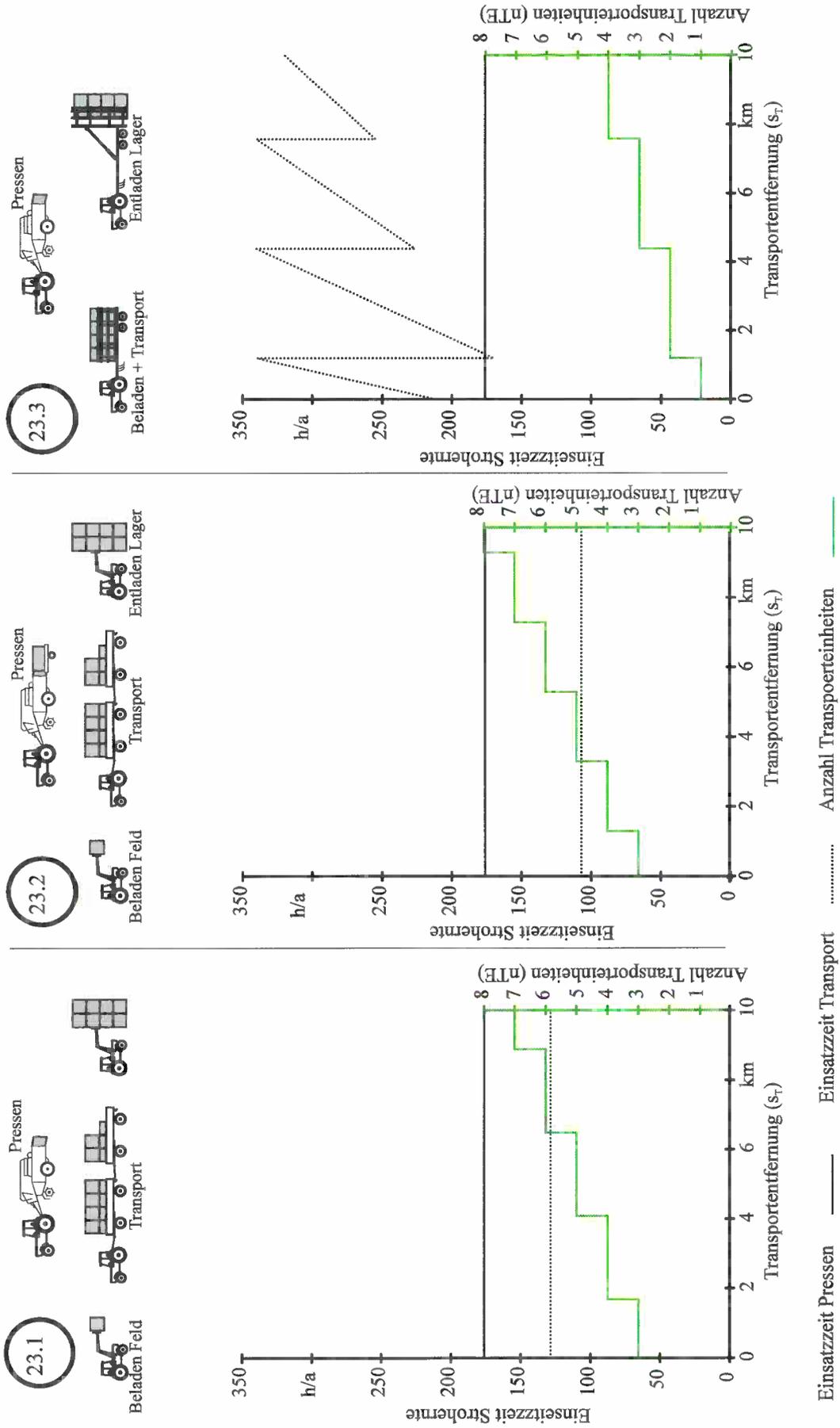


Abb. 23: Jährliche Einsatzzeit für die Strohernte mit Quaderballen und Anzahl der eingesetzten Transportmittel (Erntefläche 500 ha; Ballenabmessungen: 1 = 2,20 m, b = 1,20 m, h = 1,20 m)

Wesentlich länger als beim Pressen ist die Kampagneinsatzzeit beim Transport der Quaderballen mit dem Ballenladewagen (Abb. 23.3). Sie nimmt mit größer werdender Transportentfernung zu. Um die Zeit für den Ballentransport nicht unrealistische Größenordnungen annehmen zu lassen, wurde eine maximale Kampagneinsatzzeit von 340 h/a postuliert. Kommt es bei zunehmender Transportentfernung zum Überschreiten dieses Wertes, ist ein zusätzlicher Ballenladewagen einzusetzen. Der Transportzeitraum ist beim Einsatz des Ballenladewagens zwar recht lang. Der Transport kann allerdings mit einer wesentlich geringeren Arbeitskräfteanzahl durchgeführt werden. Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten sind ausgeschlossen, und die Arbeitsorganisation im Ein-Mann-Verfahren kann mit wesentlich weniger Aufwand erfolgen als in den Fließarbeitsverfahren der Vergleichsvarianten.

Für die Bewertung des Gesamtverfahrens bietet sich das Kriterium Arbeitszeitbedarf an. Auf Grund der geringen Leistung der Transportmittel, hat der Transport in allen drei Varianten den größten Anteil am Gesamtarbeitszeitbedarf (Abb. 24). Er nimmt mit steigender Transportentfernung zu. Da das Pressen zeitlich vom Transport getrennt ist, ist der Arbeitszeitbedarf für das Pressen unabhängig von der Transportentfernung und in allen Varianten gleich. In den beiden Varianten, in denen Umschlagmittel zur Be- und Entladung eingesetzt werden, treten im leistungstärksten Umschlagarbeitsgang Wartezeiten auf (Abb 24.1 und 24.2).

Der Einsatz des Ballensammelwagens an der Quaderballenpresse ist aus der Sicht des Arbeitszeitbedarfes differenziert zu betrachten. Ist die Beladung wie in Abb. 24.1 der leistungsschwächste Arbeitsgang, wirkt der Sammelwagen leistungserhöhend. Im konkreten Fall wird die Leistung des beladenden Umschlagmittels in der Operativzeit  $T_{02}$  um 50 % erhöht (Abb. 24.2). Die Beladung wird zum leistungstärksten Umschlagarbeitsgang. Die Wartezeiten beim Umschlag verlagern sich dadurch von der Entladung zur Beladung. Insgesamt verringert sich der Arbeitszeitbedarf durch den Einsatz des Sammelwagens in den Umschlagarbeitsgängen um 17 %.

Betrachtet man allerdings den Fall, daß der Beladeumschlagarbeitsgang bereits ohne den Einsatz eines Sammelwagens an der Presse leistungstärker als der Entladeumschlagarbeitsgang ist, werden durch den Sammelwagen lediglich die Wartezeiten des

Beladeumschlagmittels und die der Transportmittel an der Entladestelle erhöht. Der Entladearbeitsgang als leistungsschwächstes Glied in der Transportkette bleibt dann weiterhin für den Arbeitszeitbedarf im Arbeitsverfahren bestimmend. In diesem Einsatzfall wäre der Effekt für den Arbeitszeitbedarf in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  gleich 0 und eine Investition in einen Sammelwagen überflüssig. Geringe positive Effekte wären lediglich zu erwarten, wenn mit einer Transporteinheitenanzahl gearbeitet wird, die unterhalb der kritischen Transporteinheitenanzahl liegt. Hier würde die Verkürzung der Beladezeit eines Transportmittels zu einer Verringerung der Wartezeiten beim Transport und damit zu einer Erhöhung der Transportleistung in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  führen. Durch die Verkürzung der Umlaufzeit würden die Wartezeiten in den Umschlagarbeitsgängen abnehmen und somit auch in diesem Einsatzfall ein niedrigerer Arbeitszeitbedarf in den Umschlagarbeitsgängen zu verzeichnen sein.

Abbildung 25 stellt den Arbeitszeitbedarf über der Transportentfernung beim Einsatz von 4 Transporteinheiten über den gesamten Transportentfernungsbereich dar. Dadurch ist bei einer Transportentfernung, die kleiner als 4 km ist, ein Transportmittelüberschuß zu verzeichnen. Er führt zu einem hohen Anteil an zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten am Transportarbeitszeitbedarf und damit zu einem höheren Gesamtarbeitszeitbedarf als bei einer an die Einsatzbedingungen angepaßten Transporteinheitenanzahl (vgl. Abb. 24.1 und Abb. 25.1). Ist die Transportentfernung größer als 4 km, treten beim Transport keine Wartezeiten mehr auf. Dafür nehmen die Verlustzeiten in den Umschlagarbeitsgängen linear zu.

Der Einsatz des Sammelwagens an der Quaderballenpresse bewirkt bei niedrigen Transportentfernungen, daß die Be- und Entladeleistung der Umschlagmittel in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  erhöht, die Wartezeiten beim Transport vermindert und die Umlaufzeit der Transportmittel verkürzt wird. Diese Effekte bewirken beim Einsatz von 4 Transporteinheiten immerhin eine Verminderung des Arbeitszeitbedarfes bei Umschlag und Transport um 14 % (vgl. Abb. 25.1. und 25.2). Bei Transportentfernungen über 4 km ist der Beitrag des Sammelwagens zur Senkung des Arbeitszeitbedarfes wesentlich niedriger.

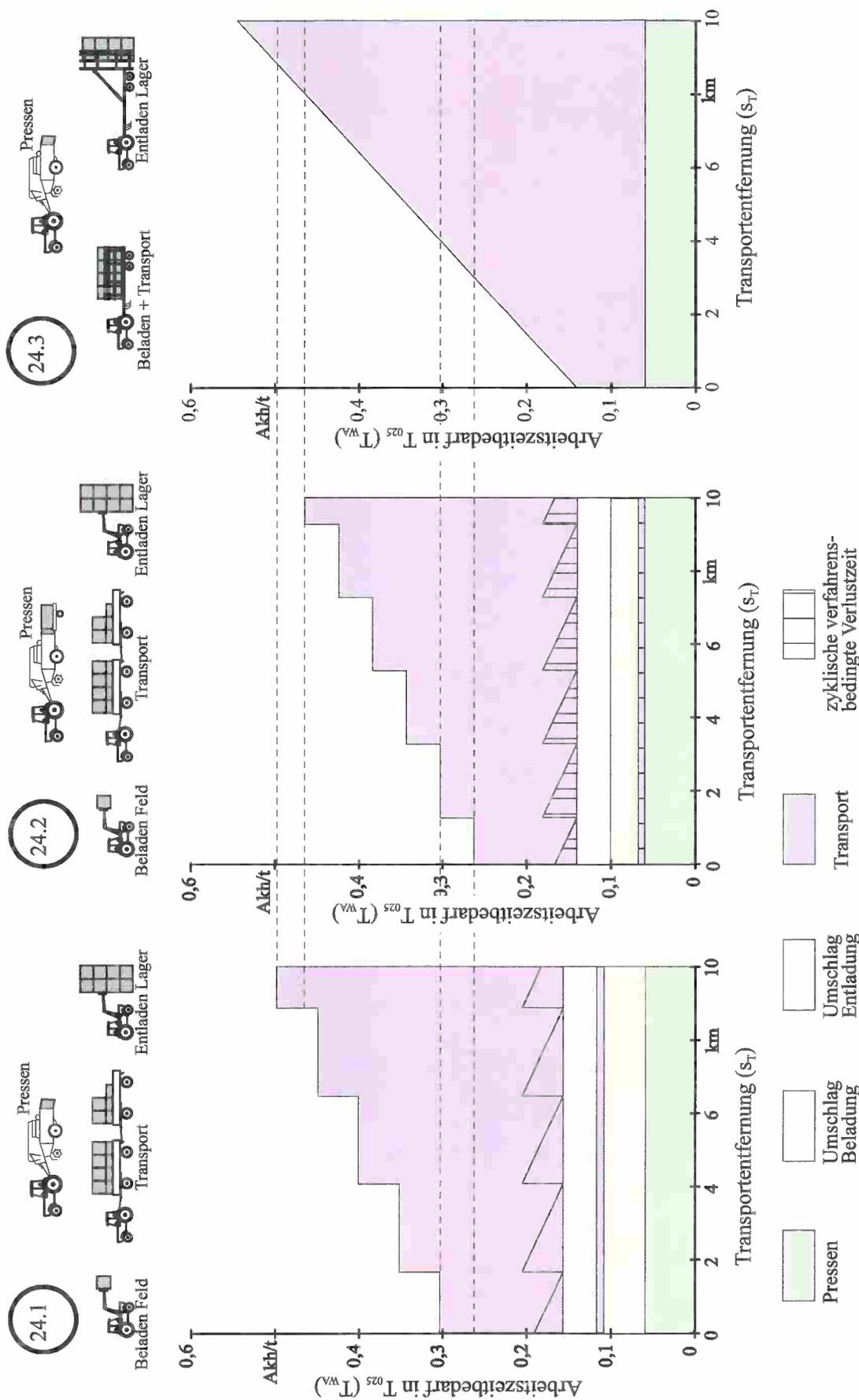


Abb. 24: Arbeitszeitbedarf  $T_{WA}$  in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der Transportentfernung unter Berücksichtigung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $t_{25}$  (Ballenabmessungen:  $l = 2,20 \text{ m}$ ,  $b = 1,20 \text{ m}$ ,  $h = 1,20 \text{ m}$ )

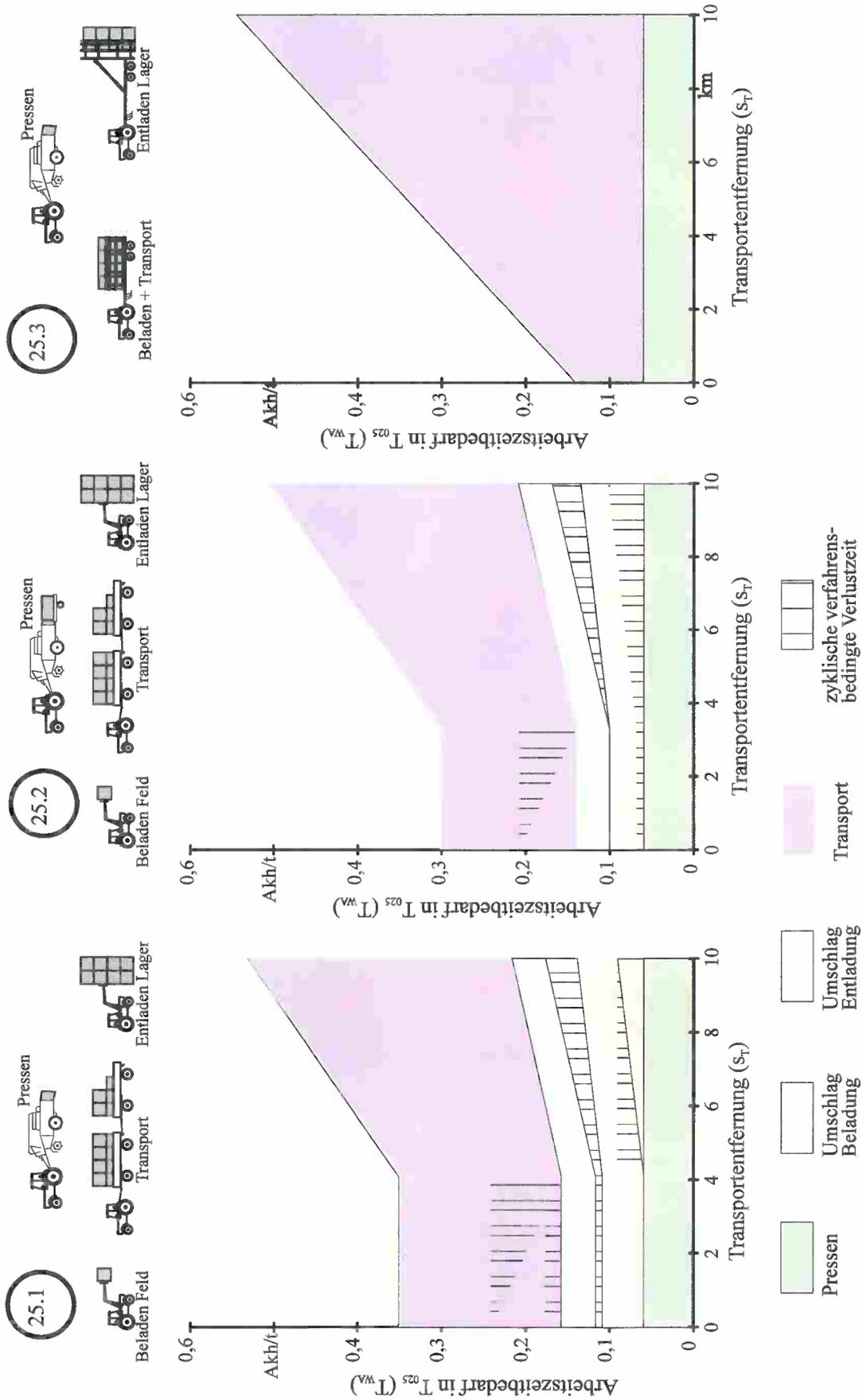


Abb. 25: Arbeitszeitbedarf  $T_{WA}$  in der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der Transportentfernung unter Berücksichtigung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten  $t_{25}$  (Ballenabmessungen:  $l = 2,20$  m,  $b = 1,20$  m,  $h = 1,20$  m; 4 konventionelle Transporteinheiten)

Fazit dieser komplizierten Zusammenhänge beim Einsatz eines Sammelwagens an der Quaderballenpresse ist, daß seine Auswirkung auf die Leistung in den Arbeitsgängen und seine Wirkung auf den Arbeitszeitbedarf des Arbeitsverfahrens entscheidend von der Verfahrensgestaltung abhängen. Vor der Eingliederung eines Sammelwagens in das Arbeitsverfahren sind die Rahmenbedingungen genau zu analysieren und seine Wirtschaftlichkeit zu kalkulieren.

Der Ballenladewagen bewirkt über den gesamten Transportentfernungsbereich einen linearen Anstieg des Arbeitszeitbedarfes (Abb. 24.3 und 25.3). Im Gegensatz zu den Fließarbeitsverfahren ist der Arbeitszeitbedarf des Ballenladewagens unabhängig von der Anzahl der eingesetzten Spezialtransportmittel. Da es sich beim Transport mit dem Ballenladewagen um ein Ein-Mann-Verfahren handelt, treten zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten nicht auf.

Bei niedrigen Transportentfernungen ist der Arbeitszeitbedarf des Ballenladewagens wesentlich niedriger als der in den Vergleichsverfahren. Erst bei relativ großen Transportentfernungen (etwa 8 km) wird der Arbeitszeitbedarf im konventionellen Verfahren trotz zwei zusätzlicher Umschlagarbeitsgänge niedriger als beim Einsatz des Ballenladewagens. Ursache ist die zunehmende Auswirkung der hohem Lademasse der konventionellen Transportmittel auf den Arbeitszeitbedarf.

Das wichtigste Kriterium für die Beurteilung der Varianten stellen die Kosten der Arbeitserledigung dar. Für das Pressen wurden sie in Abhängigkeit von der Schlaggröße bereits ausführlich diskutiert (vgl. Abb. 20). Über der Transportentfernung gestaltet sich das Bild des Kostenverlaufes ähnlich wie das Bild des Arbeitszeitbedarfes. Beim Arbeitszeitbedarf liegt der Schwerpunkt bei den Umschlag- und Transportarbeitsgängen. Bei den Kosten der Arbeitserledigung verlagert sich dieser eindeutig auf das Pressen (Abb. 26). Die Pressenkosten nehmen im konventionellen Verfahren bei 10 km Transportentfernung 48 % der Gesamtkosten ein. Werden die Ballen nur bis zum Feldrand transportiert, beträgt der Anteil der Pressenkosten sogar 61 % (Abb. 26.1).

Der Sammelwagen bewirkt unter den konstruierten Einsatzbedingungen nahezu Kostengleichheit gegenüber der konventionellen Ernte (vgl. Abb. 26.1 und 26.2). Der Vorteil der

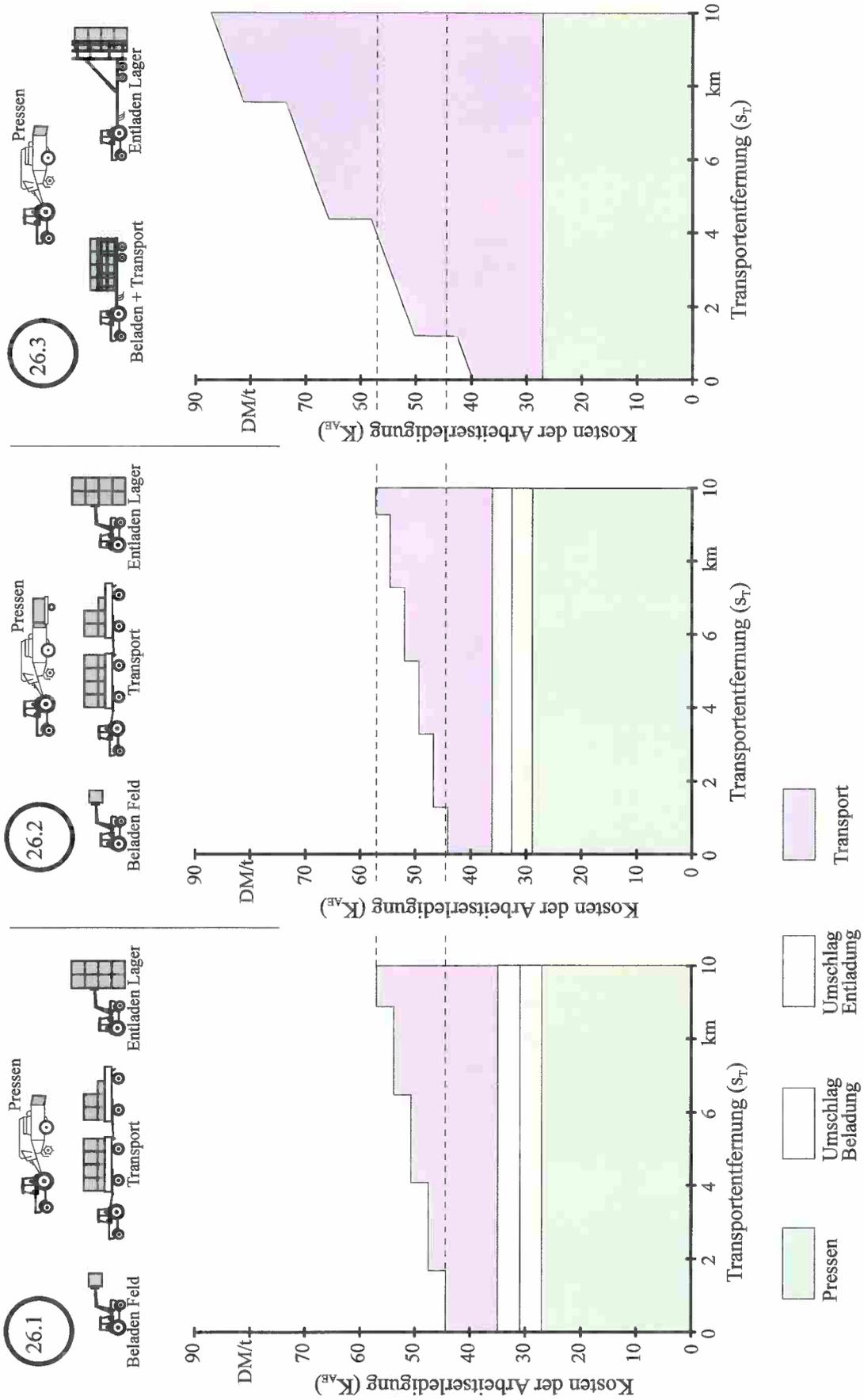


Abb. 26: Kosten der Arbeitserledigung im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Erntefläche 500 ha/a; Ballenabmessungen:  $l = 2,20 \text{ m}$ ,  $b = 1,20 \text{ m}$ ,  $h = 1,20 \text{ m}$ )

höheren Belade- und Transportleistung kompensiert bei den Kosten gerade den um 17.250 DM höheren Investitionsbedarf für den Sammelwagen.

Der Einsatz des Ballenladewagens ist zunächst kostengünstiger als der Ballenumschlag und -transport in den Fließarbeitsverfahren (Abb. 26.3). Die Kosten nehmen aber über der Transportentfernung sehr schnell zu. Ursache dafür ist die schnell abnehmende Leistung des Ballenladewagens. Sie erfordert bereits bei einer Transportentfernung von 1,2 km den Einsatz eines zweiten Spezialfahrzeugs, da sonst die Erntefläche von 500 ha nicht in den postulierten 340 Einsatzstunden bewältigt werden könnte. Damit reduziert sich aber die Maschinenausnutzung, und die spezifischen Festkosten erhöhen sich. Eine Ausdehnung des Einsatzspektrums auf andere Arbeitsbereiche ist mit dem Spezialfahrzeug im Gegensatz zu den Universalmaschinen in den Fließarbeitsverfahren nicht möglich. Somit kann einer Verminderung der Maschinenausnutzung bei großen Transportentfernungen und damit einer Kostenerhöhung kaum entgegen gewirkt werden. Lediglich bei einer suboptimalen Verfahrensgestaltung in den Fließarbeitsverfahren ist eine relative Bevorteilung des Ballenladewagens zu erwarten. Eine mit Fehlern behaftete Verfahrensgestaltung kann dagegen im Ein-Mann-Verfahren mit dem Ballenladewagen praktisch nicht vorkommen.

#### 4.3.3.3.4 Jährliche Erntefläche

Neben der Transportentfernung ist die jährlich zu erntende Fläche eine wichtige Einflußgröße für die Kosten der Arbeitserledigung. Auf die Umschlag- und Transportarbeitsgänge in den Fließarbeitsverfahren ist ihr Einfluß jedoch relativ gering (Abb. 27).

So sinken die Kosten von Umschlag und Transport im konventionellen Verfahren bei einer jährlichen Stroherntefläche von 700 ha gegenüber einer Fläche von 100 ha unabhängig von der Transportentfernung lediglich um 3 % (Abb. 27.1). Die Ursache liegt darin begründet, daß z. B. für die Umschlagmittel unterstellt wurde, daß sie jährlich noch 800 Stunden außerhalb der Strohernte eingesetzt werden. Damit beträgt ihr jährlicher Einsatzumfang in der Strohernte lediglich 3 % (100 ha Stroh, entspricht 25,7 h  $T_{08}$ ) bzw. 18 % (700 ha Stroh, entspricht 179,6 h  $T_{08}$ ) von der jährlichen Gesamteinsatzzeit. Große Ballen bewirken bei gleicher Lademasse der Transportfahrzeuge in der Regel ein niedrigeres

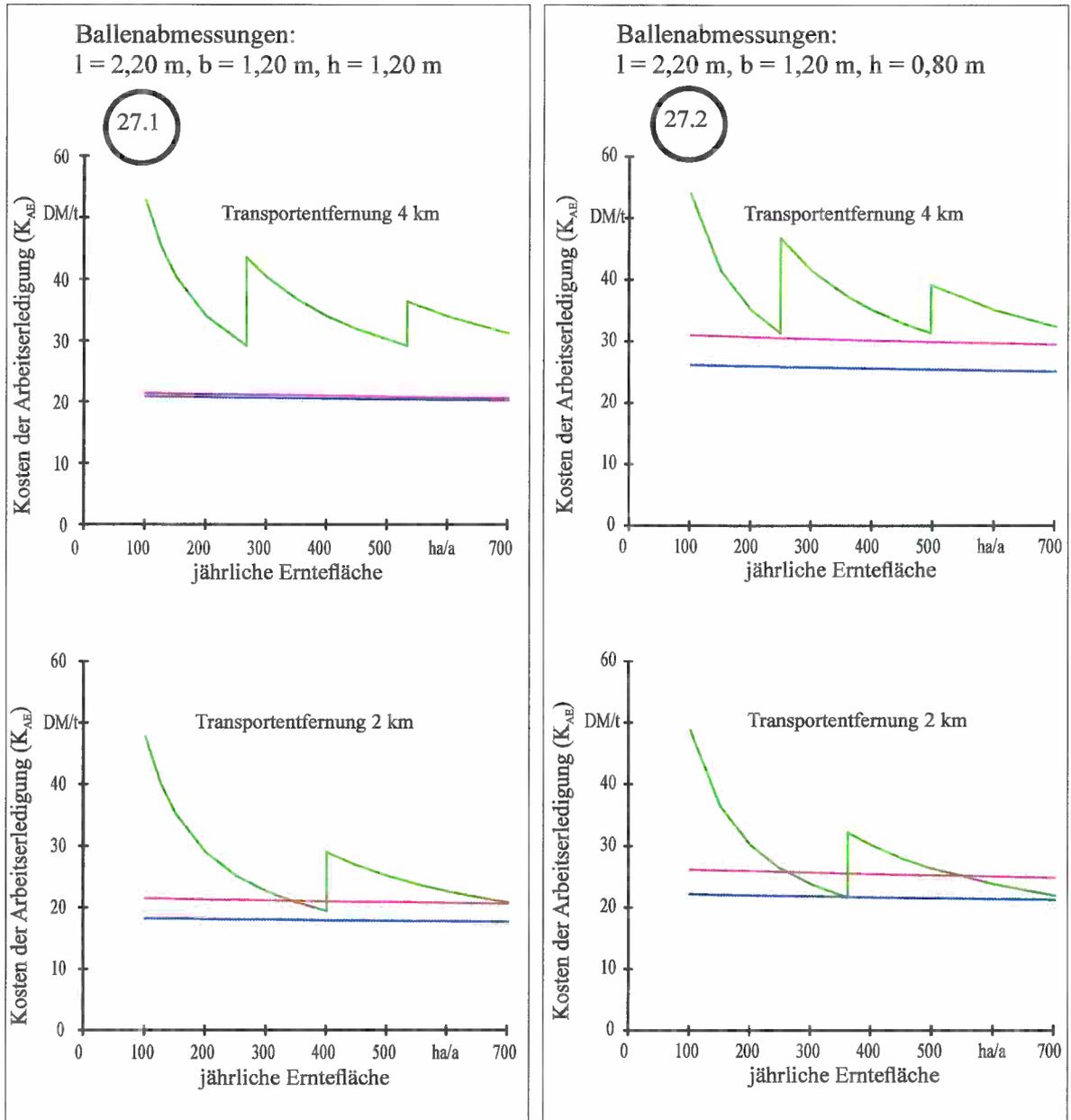
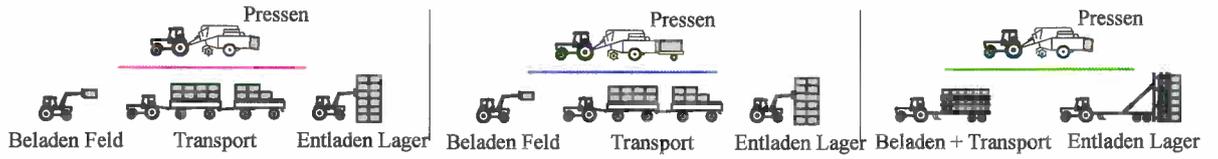


Abb. 27: Kosten der Arbeiterleistung beim Umschlag und Transport von Quaderballen in Abhängigkeit von der jährlichen Erntefläche (unterschiedliche Ballenabmessungen und Transportentfernungen)

Kostenniveau als kleine Ballen (vgl. Abb. 27.1 und 27.2). Das Ballenformat kann in Zusammenhang mit der Verfahrensgestaltung einen erheblichen Einfluß auf die verfahrenstechnischen Kriterien ausüben (vgl. HERRMANN, K. und HERRMANN 1989 und 1990).

Im Gegensatz zu den Fließarbeitsverfahren hat die jährliche Erntefläche für die Kosten der Arbeiterledigung des Ballenladewagens eine große Bedeutung. Da die Strohernte das einzige Einsatzgebiet für ihn ist, ist es wichtig, die gesamte Festkostendegression beim Quaderballentransport zu erreichen. In dieser relativ kurzen Zeitspanne ist je Ballenladewagen die größtmögliche Masse Stroh zu transportieren. Um diese große Masse bewältigen zu können, sind möglichst kurze Transportentfernungen anzustreben. Die mögliche jährliche Einsatzzeit für den Ballentransport ist weitestgehend auszuschöpfen. Bei den verbreiteten Ballenhöhen von 70 bis 80 cm ist der Ballenladewagen gegenüber dem konventionellen Ballentransport konkurrenzfähiger als bei der Ballenhöhe von 1,20 m.

Unter Umständen können aber in der Praxis leicht höhere Kosten, die durch den Ballenladewagen entstehen, durch einen geringeren Arbeitszeitbedarf und Arbeitskräftebedarf positiv überlagert werden. Während der Arbeitsspitze in der Korn- und Strohernte kann das ein wichtiges Argument für den Spezialanhänger darstellen. Immerhin ist der Strohtransport mit dem Ballenladewagen durch die Einsparung der Umschlagarbeitsgänge und von Transportmitteln mit etwa 4 bis 5 Arbeitskräften weniger als im konventionellen Verfahren zu bewältigen.

Negativ ist die Herausbildung einer zeitlichen Schere zwischen Ernte und Transport beim Einsatz von Ballenladewagen (vgl. Abb. 23.3). Damit wird der zunehmende zeitliche Verzug der Transportarbeiten gegenüber der Ernte verstanden, der seine Ursachen in den Leistungsunterschieden beider Arbeitsgänge hat. Dieses Phänomen kann ausschließlich bei der zeitlichen Trennung von Ernte und Transport in absätzigen Verfahren auftreten. Generell ist eine zeitliche Schere zwischen beiden Arbeitsgängen nicht problematisch. Wird der zeitliche Verzug des Transports gegenüber der Ernte jedoch zu groß, kann das zu Qualitätsverlusten des Ernteproduktes (Einregnen der Quaderballen auf dem Feld) und/oder zur Verzögerung der Nachfolgearbeiten führen. Die für den Quaderballentransport im Ein-Mann-Verfahren getroffenen Aussagen treffen in ihren Grundsätzen auch für den Transport von Rundballen zu (HERRMANN und SORGE 1993).

#### 4.3.4 Bedingt absätziges Verfahren: Schlüsselmaschine Mähdrescher

##### 4.3.4.1 Charakteristik der Verfahren

Zu der Gruppe der bedingt absätziges Verfahren gehören eine Vielzahl von Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport. Da alle Verfahren dieser Gruppe mehr oder weniger stark Elemente des Parallelverfahrens und des absätziges Verfahrens in sich vereinigen, kann kein allgemeingültiges Prinzip der Verfahrensanalyse vorgestellt werden. Die Simulation soll anhand eines konkreten Beispiels, des Vergleiches zwischen zwei Mähdruschvarianten erfolgen (Abb. 28). Dabei wird nur auf ausgewählte Probleme und auf Zusammenhänge eingegangen, die methodisch in den Abschnitten zum Parallelverfahren und zum absätziges Verfahren nicht oder unter einem anderen Blickwinkel dargestellt wurden.

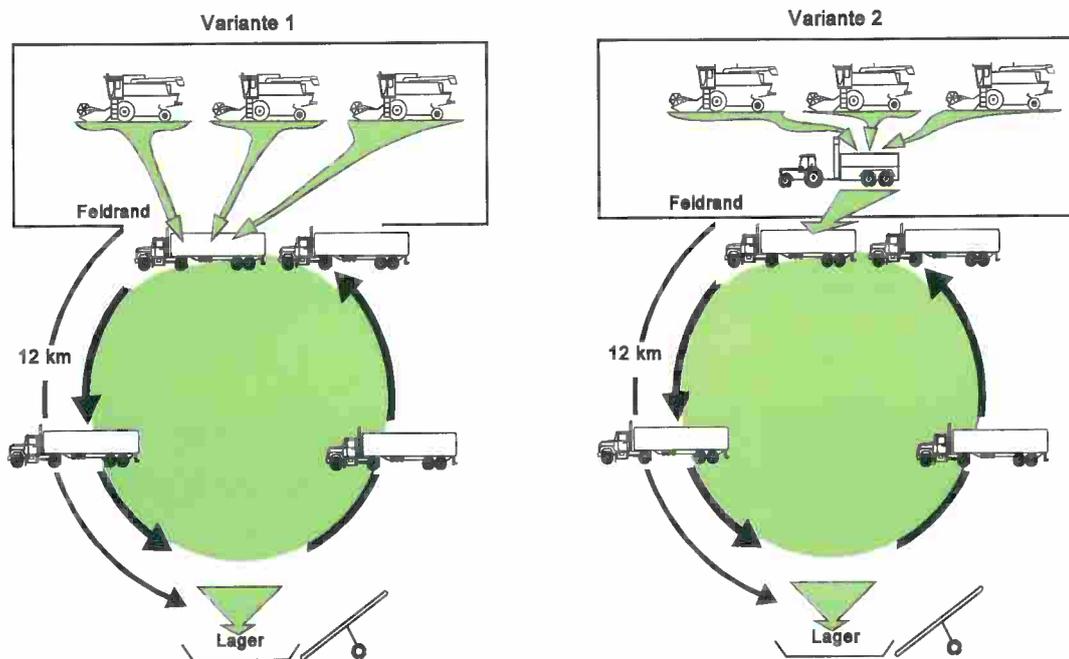


Abb. 28: Kornenernte mit und ohne Einsatz eines Überladewagens

##### Variante 1: Feldrandabbunkerung der Mähdrescher

Der Mähdrusch erfolgt mit drei Mähdreschern. Um die gefüllten Bunker an die Transportfahrzeuge zu übergeben, unterbrechen die Mähdrescher den Drusch und fahren an den Feldrand. Dort erfolgt die Kornübergabe im Stand. Als Transportfahrzeuge werden LKW mit Straßenfahwerk eingesetzt. Sie sind für das Fahren auf dem Feld nicht geeignet. Ihre

Lademasse beträgt 25 t. Beim Mähdrusch mit Feldrandabbunkerung handelt es sich um ein bedingt absätziges Verfahren.

Variante 2:

Die Maschinen im Arbeitsverfahren sind die gleichen wie in Variante 1. Zwischen Mähdrusch und Transport ist allerdings ein zusätzlicher Arbeitsgang eingefügt. Für den Feldtransport wird ein traktorgezogener Überladewagen eingesetzt, der als spezielles Feldfahrzeug konzipiert ist. Der Überladewagen übernimmt das Korn aus dem Bunker des Mähdreschers während des Druschs. Nach seiner Beladung mit in der Regel drei Bunkerfüllungen fährt er zum Feldrand und übergibt seine Ladung im Stand mittels Förderschnecke auf den LKW.

Die Kalkulation der Kriterien für die Variante 2 erfolgt auf der Grundlage der im Abschnitt 4.2.4.4 beschriebenen Algorithmen. Die Einsatzbedingungen, die der Kalkulation unterstellt wurden, können der Tabelle A6 entnommen werden.

#### 4.3.4.2 Einordnung in die Systematik

Die beiden Verfahrensvarianten des Mähdruschs unterscheiden sich aus dem Blickwinkel ihrer mathematischen Beschreibbarkeit im wesentlichen dadurch, daß in der Variante 1 "Mähdrusch mit Feldrandabbunkerung" zwei Arbeitsgänge (Mähdrusch + Straßentransport) und in der Variante 2 "Mähdrusch mit Überladewagen" drei Arbeitsgänge (Mähdrusch + Feldtransport + Straßentransport) relativ eng miteinander verbunden sind. In der Variante 1 fungieren die Mähdrescherbunker als zeitlich sehr begrenzte Puffer für das geerntete Gut. Beim Einsatz des Überladewagens in der Variante 2 kommt auch ihm aus der Sicht der Verknüpfung eine Pufferfunktion zu. In beiden Verfahren ist die Verknüpfung jedoch so eng, daß in allen Arbeitsgängen zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten auftreten können. Ihre Quantifizierung ist besonders in der Variante 2 bei der Verknüpfung von 3 Arbeitsgängen schwierig [vgl. Formel (69) bis (72)].

Um die richtigen Ansätze für die Kriterienquantifizierung auszuwählen, ist es zunächst wichtig, die Arbeitsverfahren grob der Struktur transportverbundener Arbeitsverfahren zuzuordnen (vgl. Abschnitt 2.8). Hält man sich streng an die Definition von FLEISCHER (1967), handelt es sich beim Einsatz des Überladewagens in der Getreideernte aus dessen Sicht um ein transportverbundenes Fließerbeitsverfahren, Typ II. Es ist gekennzeichnet durch die Fremdbeladung des Überladewagens durch den Mähdrescher und durch die Selbstentladung mittels Förderschnecke. Seine Entladung ist allerdings an das Vorhandensein von Straßentransportmitteln gebunden. Eine Leistungsabstimmung zwischen Feldtransport und Straßentransport ist unbedingt notwendig, so daß für das methodische Vorgehen bei der Kriterienquantifizierung Betrachtungen auf der Grundlage des transportverbundenen Fließerbeitsverfahrens, Typ III, zutreffender sind. Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten können in allen drei Arbeitsgängen, Mähdrusch, Feldtransport und Straßentransport, auftreten. Vom Prinzip her können die Kriterien analog der Vorgehensweise beim Quaderballenttransport mit vor- und nachgelagertem Umschlagarbeitsgang bestimmt werden (vgl. Abschnitt 4.3.3.3).

Die Feldrandabbunkerung der Mähdrescher kann methodisch einfacher behandelt werden. Da für die Entladezeit der Transportfahrzeuge ein konstanter Wert unterstellt wird, kann der Korntransport auf der Grundlage der Feldrandabbunkerung der Mähdrescher als transportverbundenes Fließerbeitsverfahren, Typ II, angesehen werden.

#### 4.3.4.3 Wirkung von Einflußgrößen auf die Kriterien

##### 4.3.4.3.1 Schlaglänge

Für die Konzipierung des Verfahrens Mähdrusch mit Überladewagen ist die Zeitbasis der Operativzeit  $T_{02}$  entscheidend. Kenntnisse über die Leistung der Maschinen auf der Grundlage dieser Zeitbasis erlauben es, die zweckmäßige Maschinenanzahl in den Arbeitsgängen zu kalkulieren.

Wartezeiten sind bei der Verknüpfung der Arbeitsgänge beim Überladewageneinsatz im Mähdruschverfahren nicht zu vermeiden. Prinzipiell sollte das Arbeitsverfahren aber so

gestaltet sein, daß diese bei den Schlüsselmaschinen, die für die Leistung im Gesamtverfahren bestimmend sind, vermieden werden. Dazu muß die Leistung der Mähdrescher kleiner als die des Überladewagens sein:

$$n_E * \dot{m}_{T02E} < \dot{m}_{T02U} \quad (81)$$

Beim Überladewageneinsatz ist das Verhältnis zwischen den Leistungen in den beiden Arbeitsgängen neben anderen Einflußgrößen stark von der Schlaglänge abhängig (Abb. 29). Der Widerspruch zwischen Mähdrescher und Überladewagen besteht darin, daß lange Schläge auf den Mähdrescher leistungserhöhend, auf den Überladewagen aber leistungsmindernd wirken. Für den Mähdrescher nimmt bei langen Schlägen der Wendezeitanteil an der Operativzeit  $T_{02}$  ab, und die Leistung steigt degressiv an. Für den Überladewagen verlängern sich die Fahrtzeiten auf dem Feld. Sein potentielles Leistungsvermögen sinkt dadurch. Beim Einsatz von einem oder zwei Mähdreschern stellt deren Bedienung durch den Überladewagen in der Regel kein Problem dar. In Großbetrieben werden allerdings oft auch Mähdrescherkomplexe aus drei Mähdreschern gebildet. Hier wird die Schlaglänge zu einer leistungsbegrenzenden Größe. Bei den unterstellten Einsatzbedingungen (vgl. Tab. A6) entsteht bei einer Schlaglänge von 578 m im Modell ein Schnittpunkt zwischen der Leistung der Mähdrescher und dem Leistungsvermögen des Überladewagens. Liegt die Schlaglänge unterhalb des Schnittpunktes, werden Wartezeiten beim Mähdrusch vermieden. Auf längeren Schlägen reicht das Leistungsvermögen des Überladewagens nicht mehr aus. Es muß mit Wartezeiten bei den Mähdreschern gerechnet werden. Der Einsatz von vier Mähdreschern im Komplex ist auch in Großbetrieben unüblich. Sollte er vorkommen, reicht das Leistungsvermögen des Überladewagens in der Regel nicht aus, die vier Mähdrescher ohne auftretende Wartezeiten zu bedienen. Die Kalkulationsergebnisse stimmen gut mit Beobachtungen in der Praxis überein.

Die Anzahl der benötigten Transporteinheiten korreliert nun stark mit der realen Leistung des Erntekomplexes. Die Berechnung der kritischen Transporteinheitenanzahl erfolgt in Anlehnung an (54):

$$n_{TEK} = \frac{n_E * \dot{m}_{T025E}}{\dot{m}_{T02T}} = \frac{\dot{m}_{T025U}}{\dot{m}_{T02T}} \quad (82)$$

Die notwendige Anzahl an LKW differiert bei 12 km Transportentfernung in Abhängigkeit von der Mähdrescheranzahl und von der Schlaglänge zwischen 2 und 5 Fahrzeugen. Beim Einsatz von drei Mähdreschern ist der Einsatz von vier LKW für die unterstellten Einsatzbedingungen in der Regel ausreichend.

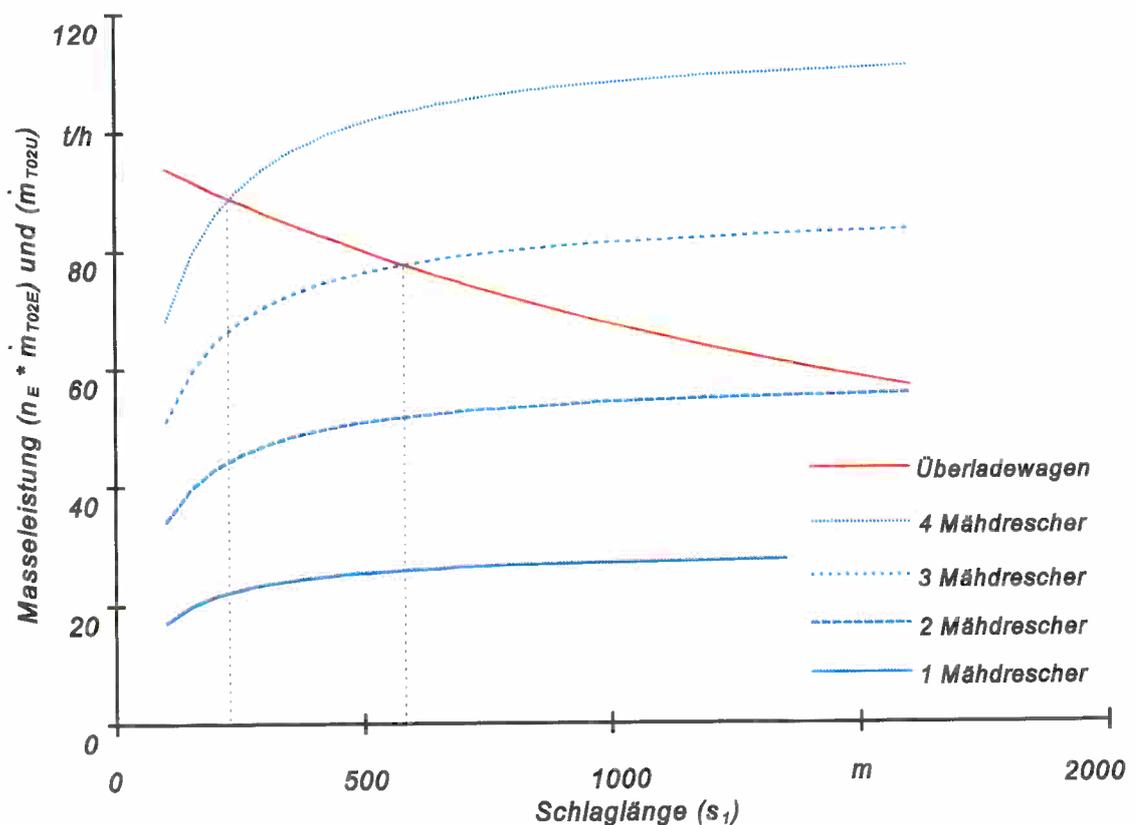
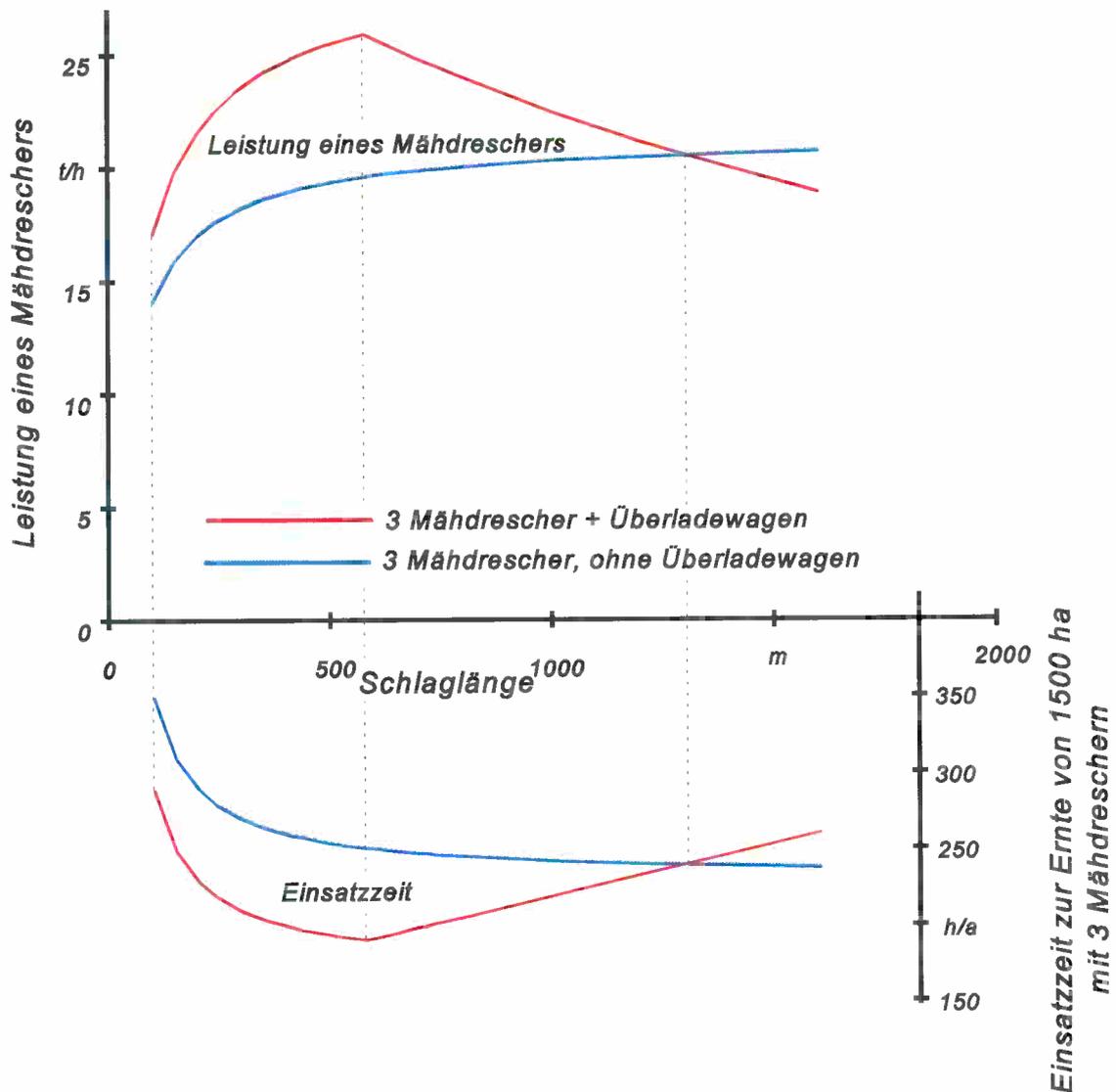


Abb. 29: Masseleistung eines Überladewagens und der Mähdrescher (1 bis 4 Mähdrescher im Komplex) in der Operativzeit  $T_{02}$  in Abhängigkeit von der Schlaglänge  $s_1$

Vergleicht man die Leistung der Mähdrescher beim Einsatz mit und ohne Überladewagen auf der Basis der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$ , werden beträchtliche Leistungsunterschiede deutlich (Abb. 30). Die Leistungsvorteile, die durch das Abbunkern auf den Überladewagen während der Fahrt bedingt sind, betragen zwischen 21 % (Schlaglänge 100 m) und 31 % (Schlaglänge 500 m). Damit stimmen die Ergebnisse aus dem Modell gut



mit Aussagen aus der Literatur überein (WINTER 1996).

Abb. 30: Masseleistung eines Mähdreschers in der erweiterten Operativzeit  $T_{02}$  und jährliche Einsatzzeit von drei Mähdreschern im Komplex zur Ernte von 1500 ha Getreide (Variante mit und ohne Überladewagen)

Problematisch wird der zusätzliche Arbeitsgang des Feldtransports dann, wenn der Überladewagen bei zu langen Schlägen nicht mehr in der Lage ist, alle Mähdrescher so anzufahren, daß für sie keine Wartezeiten entstehen. Im Modell liegt diese kritische Schlaglänge bei 578 m. Bei zu langen Schlägen (über 1300 m) kann die Leistung der Mähdrescher durch die Wartezeiten niedriger als bei der Feldrandabbunkerung ausfallen

(HERRMANN und DAMMER 1997a). In der Praxis ist dieser Effekt allerdings nicht so extrem zu verzeichnen. Wartezeiten werden bei großen Schlägen dadurch vermindert, daß Mähdrescher, die der Überladewagen nicht bedienen kann, nicht auf den Überladewagen warten, sondern ihren Bunkerinhalt direkt auf das Straßentransportfahrzeug übergeben. Werden 3 Mähdrescher mit einem Überladewagen auf langen Schlägen eingesetzt, sollten diese Schläge in Längen zwischen 500 und 600 m geteilt werden.

Die Erhöhung der Mähdrescherleistung durch den Überladewagen zieht eine Vielzahl von Auswirkungen auf das Gesamtverfahren nach sich:

- Verkürzung der jährlichen Einsatzzeit (vgl. Abb. 30),
- größerer Arbeitskräftebedarf (vgl. Abb. 31),
- niedrigerer Arbeitszeitbedarf (vgl. Abb. 31),
- kürzere Beladezeiten der Transportfahrzeuge und damit höhere Transportleistung,
- tendenziell höherer Transportmittelbedarf.

Um so höher die Leistung der Erntemaschinen ist, um so schneller ist eine gegebene Fläche abgeerntet. Im Beispiel benötigen die drei Mähdrescher für die Fläche von 1500 ha Getreide etwa 200 Stunden. Eine Verkürzung der Erntezeitspanne bewirkt, daß die optimalen Erntetermine besser eingehalten werden können. Die positiven Wirkungen sind eine Verringerung des Witterungsrisikos. Für den Betrieb kann das eine Verminderung der Vorernteverluste und witterungsbedingter Trocknungskosten bedeuten. Unter Umständen kann in einem Großbetrieb auch ein Mähdrescher eingespart werden.

Soll das gesamte Verfahren mit Überladewagen so ablaufen, daß für die Mähdrescher keine Wartezeiten entstehen, muß in den meisten Fällen eine Arbeitskraft mehr gegenüber der Feldrandabbunkerung eingesetzt werden (Abb. 31). Diese Arbeitskraft ist für die Besetzung des Überladewagens erforderlich. Dieser negative Effekt wird allerdings dadurch positiv überlagert, daß der Arbeitszeitbedarf in der Variante mit Überladewagen in einer Vielzahl der Einsatzbereiche niedriger als bei der Feldrandabbunkerung ist. Eine höhere Mähdrescherleistung und eine höhere Transportleistung bewirken beim Überladewageneinsatz trotz einer zusätzlichen Arbeitskraft eine Verringerung des Arbeitszeitbedarfes (HERRMANN und DAMMER 1997b).

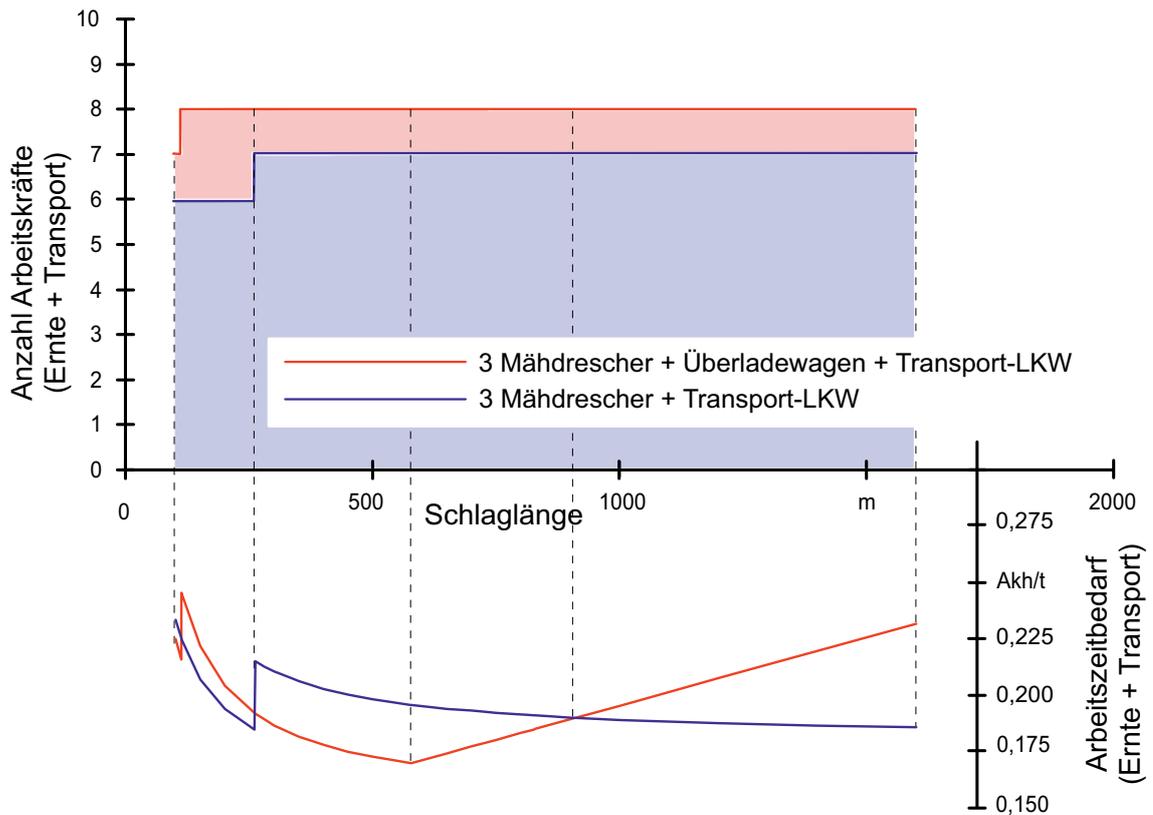


Abb. 31: Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte und Arbeitszeitbedarf im Gesamtverfahren Getreideernte (Variante mit und ohne Überladewagen, Komplexeinsatz von 3 Mähdreschern, Transportentfernung 12 km)

Die hohe Leistung der Mähdrescher beim Einsatz eines Überladewagens wird als Leistungsanspruch an die Straßenverkehrsmittel weitergegeben. Dieser Sachverhalt führt zur Verkürzung der Beladezeit und der Wartezeit der Transportmittel. Eine Leistungserhöhung beim Transport in der erweiterten Operativzeit  $T_{02}$  ist die Folge. Bei einer zu starken Leistungserhöhung im Mähdrescharbeitsgang ist ein zusätzliches Transportfahrzeug einzusetzen.

## 4.3.4.3.2 Jährliche Erntefläche

Das komplizierte Zusammenwirken der beschriebenen Einfluß- und Zielgrößen spiegelt sich auch in den Kosten der Arbeitserledigung wider (Abb. 32). Bei Betriebsstrukturen mit 500 ha Getreidefläche ist ein Mähdrescher ausreichend (Abb. 32.1). Hier ist der Einsatz des Überladewagens nicht rentabel. Die höhere Verfahrensleistung reicht bei der unterstellten Fläche nicht aus, um mit der zusätzliche Investition von 72.000 DM für den Überladewagen niedrigere Verfahrenskosten zu erreichen. Auch sein unterstellter zusätzlicher Einsatz von 200 Stunden im Jahr für Arbeiten außerhalb der Getreideernte bewirkt nicht, daß das Kostenniveau unterhalb dem bei der Feldrandabbunkerung sinkt.

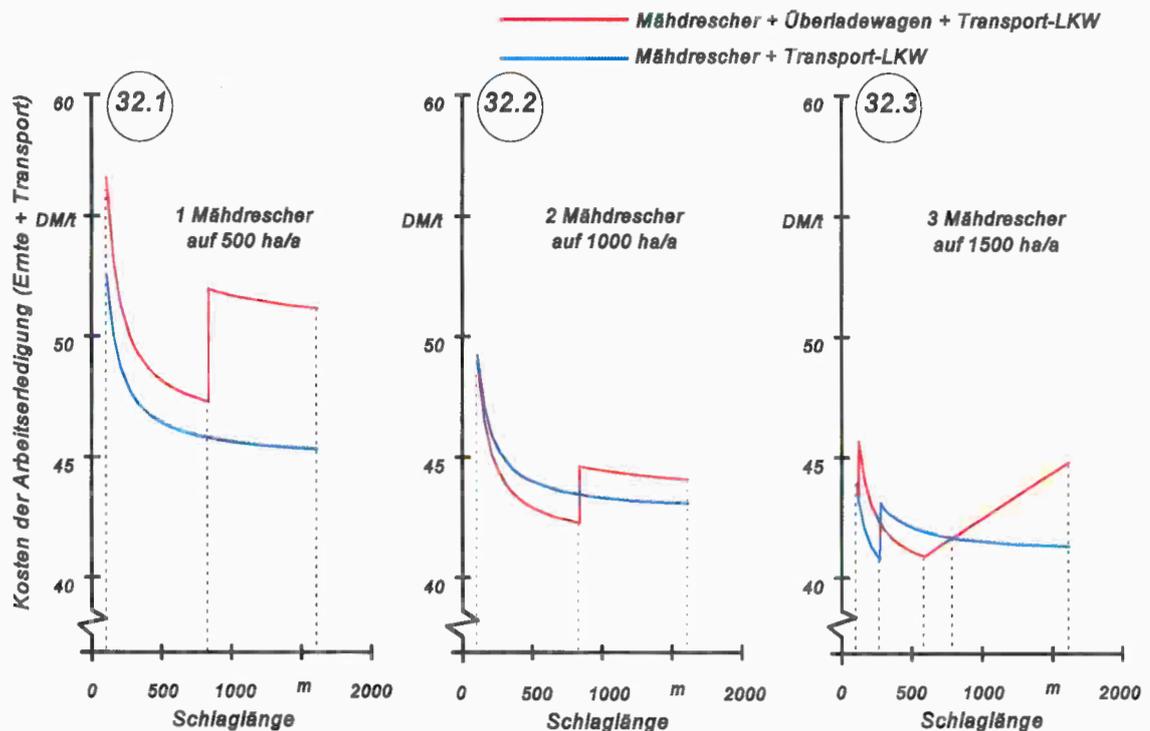


Abb. 32: Kosten der Arbeitserledigung im Gesamtverfahren der Getreideernte (Variante mit und ohne Überladewagen, Einsatz von 1 bis 3 Mähdreschern im Komplex, Kornertag 6 t/ha, Transportentfernung 12 km)

Mit zunehmender Erntefläche steigt die Attraktivität des Überladewagens. Für eine Erntefläche von 1000 ha wird der Einsatz von 2 Mähdreschern unterstellt (Abb. 32.2). Diese kann der Überladewagen unabhängig von der Schlaglänge relativ problemlos bedienen. Die Festkosten des Überladewagens verteilen sich gegenüber den Bedingungen

in Abbildung 32.1 auf die doppelte Erntemasse. Die Kosten der Arbeitserledigung für das Arbeitsverfahren sinken unterhalb das Niveau der Variante ohne Überladewagen. Bei zu starkem Ansteigen der Ernteleistung reichen allerdings die zunächst kalkulierten 3 Transport-LKW nicht mehr aus. Der Einsatz eines zusätzlichen LKW bei einer Schlaglänge von 826 m verhindert zwar Wartezeiten beim Mähdrusch. Gleichzeitig steigen die Wartezeiten der LKW am Feldrand sprunghaft an. Das bedingt wiederum einen sprunghaften Anstieg der Kosten im Arbeitsverfahren.

Prinzipiell ist es vorteilhaft, mit dem Überladewagen eine große jährliche Ausnutzung anzustreben. Somit wird beim Einsatz von drei Mähdreschern in einem Großbetrieb und der Ernte von 1500 ha Getreide im Jahr die beste Festkostenreduzierung für den Überladewagen erreicht. Das Kostenniveau für das Arbeitsverfahren liegt um etwa 15 % unter dem Kostenniveau der Variante mit einem Mähdrescher und 500 ha jährlicher Erntefläche (vgl. Abb. 32.1 und 32.3). In Abbildung 32.2 wird allerdings auch deutlich, daß zunehmende Wartezeiten der Mähdrescher (Schlaglängen über 578 m) zu einem rapiden Kostenanstieg führen. Nicht unerheblich ist der Einfluß zusätzlich benötigter Transportfahrzeuge bei einem Leistungsanstieg des Mähdruschs in den Varianten mit 2 und 3 Mähdreschern (Abb. 32.2 und 32.3). Zusätzliche Transportfahrzeuge verhindern zwar Wartezeiten und damit auch einen Kostenanstieg beim Mähdrusch. Sie sorgen aber selbst erst einmal für einen sprunghaften Anstieg der Wartezeiten und der Kosten im Transportarbeitsgang. In der Praxis lassen sich die Umschlagpunkte für den Einsatz zusätzlicher Transportmittel natürlich nicht so genau wie im Modell bestimmen. Auch der Kostenübergang beim Einsatz zusätzlicher Transportfahrzeuge wird eher weicher verlaufen.

Die Anzahl der eingesetzten Straßentransportfahrzeuge ist allerdings in jedem Fall mitentscheidend für die Überlegenheit der Variante Überladewageneinsatz beim Mähdrusch gegenüber der Variante Feldabbunkerung der Mähdrescher.

## 5 Diskussion

### 5.1 Versuchsdurchführung

Die meisten Beziehungen des Leistungs- und Kostenmodells wurden in Form deterministischer Zusammenhänge dargestellt. Grundlage für ihre mathematische Beschreibung ist zunächst eine exakte Beobachtung der Verfahrensabläufe auf dem Feld. In den Einflußgrößen-Kriterien-Zusammenhängen sind für Kalkulationszwecke alle Einflußgrößen in realistischen Grenzbereichen frei variierbar. Theoretisch wären für die Formulierung der deterministischen Zusammenhänge keine Versuche notwendig. Aus mehreren Gründen wurden jedoch umfangreiche Praxisuntersuchungen durchgeführt:

1. In Versuchen sind die Algorithmen für verschiedene Einsatzbedingungen punktuell zu bestätigen. Dazu werden die Einflußgrößen und die Kriterien auf der Grundlage gemessener Primärdaten ermittelt. Die Eingabe der so bestimmten Einflußgrößen in das Modell muß zu einer befriedigenden Widerspiegelung der in den Versuchen ermittelten Werte für die Kriterien führen.
2. Sind Kalkulationsaufgaben für einen landwirtschaftlichen Betrieb vorzunehmen, werden entsprechend der konkreten Fragestellung im Modell nur wenige Einflußgrößen variiert. Die konstant gehaltenen betrieblichen Einsatzbedingungen müssen bekannt sein oder ermittelt werden. Bei den betrieblichen Einsatzbedingungen handelt es sich z. B. um Erträge, Arbeitsbreiten, Schlaglängen, Transportentfernungen bzw. um deren Durchschnittswerte.
3. Sollen verfahrensspezifische Einflußgrößen im Modell konstant gehalten werden, sind für sie während des Praxiseinsatzes repräsentative Durchschnittswerte zu bestimmen. Dabei handelt es sich um Größen, deren Werte relativ unabhängig von den betrieblichen Einsatzbedingungen sind. Dazu gehören z.B. die Zeit je Wendung, Abbunkerleistung beim Mähdrescher oder Überladewagen, Beladezeit je Großballen und Arbeitsgeschwindigkeit.
4. Einige verfahrenstechnische Einflußgrößen variieren sehr stark. Für sie ist die Beschreibung durch einen Mittelwert zwar möglich. Sie werden allerdings wiederum von anderen Größen beeinflusst und können in diesem Zusammenhang auch als Zielgrößen

fungieren. Eine genauere Widerspiegelung realer Verhältnisse wird durch die Bestimmung dieser Zusammenhänge erreicht. Ein Beispiel ist die Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie von Erntemaschinen. Die Arbeitsgeschwindigkeit geht in der Regel als Durchschnittswert in Berechnungen ein. In eigenen Versuchen wurde dagegen für Großballenpressen und Feldhäcksler die Abhängigkeit der Arbeitsgeschwindigkeit von der Schwadmasse in stochastischen Zusammenhängen ermittelt.

5. Stochastische Zusammenhänge sind grundsätzlich in Versuchsserien zu quantifizieren. Beispiele dafür sind der Schwadmasse-Durchsatz-Zusammenhang bzw. der Schwadmasse-Geschwindigkeits-Zusammenhang.

In den Versuchen ist darauf zu achten, daß es immer um die Gewinnung verfahrenstechnischer bzw. technologischer Daten geht. Die Maschinen sind unter ihren realen Einsatzbedingungen im Verfahrensablauf zu analysieren. Nur so können Aussagen über den Einsatz der Maschinen getroffen werden. Grundsätzlich falsch wäre es, während der Messungen bewußt schneller zu fahren als sonst üblich. Damit wäre das Ziel einer Verfahrensbetrachtung verfehlt. Die Ausrichtung der Versuche auf maximalen Durchsatz der Erntemaschinen würde eine technische Fragestellung bedeuten. Hier würde die Prüfung des technischen Leistungsvermögens einer Maschine im Vordergrund stehen. Diese ist in der Regel für verfahrenstechnische Aussagen relativ uninteressant.

Bei der Bestimmung der Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie bzw. Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinie von Halmguterntemaschinen ist es wichtig, daß die Primärdaten so erfaßt werden, daß sich daraus echte technologische Werte ableiten lassen. Es ist zum Beispiel nicht ausreichend, einen Wert des technologischen Durchsatzes auf der Grundlage der Zeit für einen Ballen und der Masse dieses Ballens zu bestimmen. Eine Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinie ließe sich in diesem Fall nicht ermitteln. Der technologische Durchsatz ist vielmehr ein Wert, der sich auf einen "längeren" Zeitraum bezieht. Um auch in der Auswertung der Daten die stochastischen Zusammenhänge zwischen Schwadmasse und Durchsatz bzw. Geschwindigkeit quantifizieren zu können, sollten erfahrungsgemäß mindestens 10 Ballen die Grundlage für die Bestimmung eines Wertesatzes für den technologischen Durchsatz bilden. Der Versuchsaufwand für die Gewinnung einer ausreichenden Anzahl Wertesätze ist entsprechend hoch.

Eine Verringerung des Aufwandes bei der Versuchsdurchführung ist möglich, wenn die Beschreibung der Schwadmasse-Durchsatz-Beziehung mit zwei Funktionen als ausreichend angesehen wird (vgl. Abschnitt 4.2.2.1). Hier ist lediglich die technologisch wirksame Arbeitsgeschwindigkeit bei niedrigen Schwadmassen und der maximale technologische Durchsatz bei hohen Schwadmassen in Versuchen zu bestimmen.

Falls die Beziehungen zwischen Schwadmasse und Durchsatz mit drei Funktionen dargestellt werden sollen, besteht der größte Aufwand in der Gewinnung der Wertesätze für den mittleren Schwadmassenbereich. Bisherige Ergebnisse zeigen allerdings, daß der Anstieg  $b$  der linearen Funktion  $\dot{m}_{TIE} = a + b * m_s$  zwischen 3 und 4 anzusetzen ist. Es sollte untersucht werden, ob für Halmgütererntemaschinen ein durchschnittlicher Anstieg zu ermitteln ist und ob dieser für eine Beschreibung des Schwadmasse-Durchsatz-Zusammenhangs ausreichend ist. Bei der Verwendung eines vorgegebenen Anstieges  $b$  des Durchsatzes im mittleren Schwadmassenbereich würde man den Zusammenhang mit wesentlich weniger Wertesätzen bestimmen können. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob mit diesem Vorgehen eine Verringerung des Versuchsaufwandes möglich ist.

Wichtig bei den verfahrenstechnischen Versuchen ist nicht nur die Zeitanalyse, sondern auch die Zuordnung der Teilzeiten zu den dazugehörigen Massen und Wegen. Nur aus den entsprechenden Wertesätzen lassen sich Durchsätze und Geschwindigkeiten bestimmen. Am vorteilhaftesten war die Massebestimmung bei den Großballenverfahren möglich. Mit einer am Traktor angebauten Ballenwaage konnte die Masse jedes Ballens bestimmt werden. Mit der dazugehörigen Grundzeit und dem Weg ließen sich die Schwadmasse, die Geschwindigkeit, und der Durchsatz sehr sicher bestimmen. Fielen die Erntemassen auf den Transportfahrzeugen als Schüttgüter an (Welkgut, Getreide), war die Bestimmung der Massen und ihre Zuordnung zu den Teilzeiten der Maschinen schwieriger. Erfolgte die Wägung aller Transporteinheiten, war z. B. auch für den Feldhäcksler eine gute Bestimmung des Durchsatzes möglich. In der Regel konnten im Produktionsablauf aber nur wenige Transportmittel auf Fuhrwerkswaagen gewogen werden. Hier mußte mit Durchschnittslademassen der Transportmittel bzw. des Überladewagens operiert werden. Gewisse Ungenauigkeiten bei der Leistungsbestimmung müssen daher in einigen Fällen angenommen werden. Die Qualität des Leistungs- und Kostenmodells

bleibt jedoch von diesen teilweisen Unzulänglichkeiten bei der Versuchsdurchführung unbeeinflusst. Mit einer genaueren Versuchsmethodik könnten lediglich die Ausgangswerte für das Modell noch genauer und damit die Ergebnisse der Kalkulation noch zutreffender werden. Der Einsatz einer Achslastwaage in den Versuchen könnte die Probleme bei der Massebestimmung weitestgehend ausschalten.

Die technische Ausrüstung für die Versuche hängt wesentlich von der Forschungsfragestellung ab. Für die Zeitmessung wurden verschiedene Methoden angewandt. Die Aufnahme der Daten für den Dieserverbrauch, den Weg und das Bindnadelsignal wurden in einem Fall mit dem Dieserverbrauchsmeßgerät KVM 82-2 an einer Quaderballenpresse erfaßt und mittels Telemetrieanlage zu einem DAT-Recorder übertragen. Die Zeit wurde parallel zu den Meßdaten im DAT-Recorder aufgezeichnet. Insgesamt war der Versuchsaufbau für die Fragestellung zu aufwendig. Positiv zu werten war die einfache Übertragung der Daten vom DAT-Recorder auf den PC.

Wesentlich geringeren meßtechnischen Aufwand erforderte die Datenerfassung auf der Grundlage des gleichen Dieserverbrauchsmeßgerätes, aber manueller Datenaufzeichnung. Die Weg-, Dieserverbrauchs- und Zeitdaten müssen von einer Meßkraft für die Teilarbeiten abgelesen und in ein Meßprotokoll eingetragen werden. Nach den eigentlichen Versuchen ist dann allerdings eine manuelle Eingabe der Daten in den PC erforderlich.

Muß der Dieserverbrauch nicht ermittelt werden, ist die klassische Zeitmessung mit Stoppuhr immer noch die geeignetste Zeiterfassungsmethode. Mit ihr sollte allerdings eine lückenlose Einzelzeitmessung möglich sein. Während eine Zeit von der Meßkraft abgelesen wird, muß die aktuelle Teilzeit im Hintergrund der Anzeige gemessen werden. Der Triostopp mit drei mechanischen Stoppuhren wird damit als Zeitmeßgerät überflüssig. Der Vorteil der manuellen Zeiterfassung ist, daß die Meßkraft den Zeitbedarf für die Teilarbeiten subjektiv werten und mit entsprechenden Bemerkungen im Meßprotokoll auf Besonderheiten im Verfahrensablauf aufmerksam machen kann. Diese Anmerkungen können bei der späteren Auswertung Fehlinterpretationen der Daten vermeiden helfen. Eine automatisierte Zeiterfassung auf der Basis von GPS ist für Langzeitanalysen eine geeignete Methode (WILD und AUERNHAMMER 1996).

## 5.2 Zeitgliederung

Der historische Abriß zur Entwicklung der Zeitgliederung in Deutschland zeigte bereits, daß die Gliederung der Arbeitszeit mit fortschreitender Theoriebildung immer differenzierter und komplexer und damit auch zunehmend unübersichtlicher wurde (vgl. Abschnitt 2.5.2).

Bei der Diskussion über die Gliederung der Arbeitszeit soll an dieser Stelle hervorgehoben werden, daß die zeitliche Analyse von Arbeitsverfahren kein Selbstzweck ist (vgl. RÖHNER 1956). Sie ist nur sinnvoll, wenn sie im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Arbeit (Masse, Volumen, Fläche, Anzahl) und mit den Faktoren betrachtet wird, die den Zeitaufwand beeinflussen (HAMMER 1976; vgl. Abschnitt 2.4).

Für die Arbeitszeitanalyse in der Landwirtschaft kommen gegenwärtig in Deutschland die KTBL-Rechenmethode und vornehmlich in den neuen Bundesländern die Methode der TGL 22289 zur Anwendung (Abb. A6). Die KTBL-Rechenmethode ist speziell als Methode zur Kalkulation des Zeitbedarfes von Produktions- und Arbeitsverfahren ausgelegt. Vermeidbare Verlustzeiten und Zeit für Kurzpausen werden z. B. nicht berücksichtigt. Die Berechnung der Planungswerte erfolgt auf der Grundlage eines Halbtages. Diese Vorgehensweise ist für Großbetriebe unrealistisch. Die Bezeichnung der Teilzeiten basiert auf dem Buchstabenindexsystem. Dieses ist relativ schlecht überschaubar. Für bestimmte Fragestellungen muß die Standardzeitgliederung erweitert werden. Das trifft insbesondere für Transportarbeitsgänge und für die Betrachtung ihrer Verknüpfung mit vor- und nachgelagerten Arbeitsgängen zu. Mit zunehmender Komplexität der Zeitgliederung wird das Buchstabenindexsystem noch unübersichtlicher und schwer nachvollziehbar. Trotz der genannten Nachteile wurden auf der Grundlage des Zeitgliederungssystems umfangreiche Algorithmen entwickelt, die in entsprechender Software gute Möglichkeiten für arbeitswirtschaftliche Kalkulationen auf Betriebsebene ermöglicht. Zu nennen wäre hier "Agriplan" als aktuellstes Software-Produkt des KTBL. Der Anwender wird dabei nicht mit den methodischen Grundlagen konfrontiert.

Die Gliederung der Arbeitszeit nach der TGL 22289 bildet die Grundlage für Zeitanalysen und für Planungsvorgänge, die den Zeitaspekt berücksichtigen. Die Gliederung basiert auf

einem numerischen Indexsystem. Die acht Zeitebenen sind prinzipiell überschaubar und bei Bedarf durch eine zusätzliche Ziffer im Index gut erweiterbar. Die Gliederung ist in ihrer Erweiterung nach SCHMID (1977) auch für Transportarbeitsgänge geeignet. Die Zeitsummen sind logisch aufgebaut. Für die Analyse von Verknüpfungen zwischen Arbeitsgängen ist das Schema nicht optimal. Eine Verbesserung des Zeitsummensystems wäre noch denkbar und notwendig.

Sowohl beim Schema der KTBL als auch der TGL 22289 handelt es sich um gemischte Zeitgliederungsschemata. Sie berücksichtigen sowohl Zeitelemente der Arbeitskraft als auch der Maschine. Mischformen der Arbeitszeitgliederungen haben sich prinzipiell für die prozeßorientierte Zeitanalyse von Arbeitsgängen bewährt (HAMMER 1968). Für bestimmte Fragestellungen, bei denen nur ein Element des Arbeitssystems untersucht werden soll (z. B. Arbeitskraftstudie, Maschinenprüfung), bieten sich spezielle Zeitgliederungsschemata an (vgl. Abb. A3).

Sowohl die Struktur des KTBL- als auch des TGL-Systems ist nicht optimal. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn Arbeitsgänge untersucht werden sollen, die unmittelbar miteinander verknüpft sind.

Eine Vereinheitlichung der beiden Methoden ist in Deutschland dringend erforderlich. Eine Weiter- bzw. Neuentwicklung der Zeitgliederung für den landwirtschaftlichen Bereich wäre in diesem Zusammenhang geboten. Dabei sollte dem numerischen Indexsystem der Vorrang vor dem Buchstabenindexsystem eingeräumt werden. Für konkrete Fragestellungen kann das Zeitgliederungsschema einfach und logisch durch Hinzufügen einer weiteren Ziffer im Index erweitert werden. Bei der Untersuchung von Verknüpfungen zwischen Arbeitsgängen kann ein zusätzlicher Buchstabe im Index den entsprechenden Arbeitsgang kennzeichnen (z.B.  $T_{02E}$  - Operativzeit im Erntearbeitsgang). Durch diese Erweiterung des numerischen zum alphanumerischen Indexsystem steigt der Informationsgehalt der Zeitsymbole, ohne daß dadurch die Überschaubarkeit des Systems leidet. Die Voraussetzungen für die Internationalisierung eines Gliederungsentwurfes sind bei einem numerischen bzw. alphanumerischen Indexsystem günstiger als bei einem Buchstabenindexsystem. Ein diese Grundsätze berücksichtigender Gliederungsentwurf wurde von HERRMANN et. al. (1997) vorgestellt (Abb. A7).

Zur Gliederung der Arbeitszeit und zu den Anforderungen an ein Zeitgliederungsschema werden folgende grundsätzliche Thesen vertreten:

1. Die Gliederung der Arbeitszeit ist ein unerläßliches methodisches Hilfsmittel zur eindeutigen Quantifizierung zeitgebundener Kriterien.
2. Ein Zeitgliederungsschema sollte einen hohen Abstraktionsgrad besitzen und für möglichst alle Verfahren in der Landwirtschaft anwendbar sein.
3. Die Systematik der Arbeitszeit sollte im Interesse ihrer Überschaubarkeit so grob wie möglich und im Interesse der Erfassung aller Teilarbeiten so differenziert wie nötig sein.
4. Für tiefgründige und detaillierte Arbeitszeitanalysen sollte die grob strukturierte Arbeitszeitgliederung logisch und unkompliziert erweiterbar sein.
5. Die Praktikabilität und Handhabbarkeit des Zeitgliederungsschemas muß gewährleistet sein.
6. Grundlage für die Arbeitszeitgliederung sollte eine "gemischte" Zeitgliederung darstellen, die vordergründig auf das Geschehen in einem Arbeitsgang mit seinen Wechselwirkungen zwischen Arbeitskräften, Arbeitsmitteln und Arbeitsgegenständen ausgerichtet ist. Darauf aufbauend sollten spezielle Zeitgliederungsschemata für Arbeitskräfte, Arbeitsmittel und Arbeitsgegenstände erarbeitet werden.
7. Die Arbeitszeitgliederung muß die Analyse des technologischen Zusammenwirkens von Arbeitsgängen ermöglichen.
8. Eine logische und praktikable Zeitsummenbildung ist die Grundlage für die Darstellung der Kriterien.
9. Für Ist- und Soll-Zeiten ist das gleiche Zeitgliederungsschema zu verwenden.
10. Ein Zeitgliederungsschema sollte möglichst internationalen, zumindest aber europäischen Anforderungen gerecht werden.

Wünschenswert wäre eine breite Diskussion der Arbeitszeitgliederung in der Fachwelt mit dem Ziel, einen Standard zu erarbeiten, der als allgemein anerkannte Arbeitsgrundlage einen hohen Verbindlichkeitsgrad besitzt und sich durch gute Verständlichkeit und Praktikabilität auszeichnet.

### 5.3 Verknüpfungen zwischen Ernte und Transport

Mit der in der großstrukturierten Landwirtschaft der neuen Bundesländer berechtigten Nachfrage nach immer leistungsstärkeren Erntemaschinen wachsen auch die Anforderungen an den Abtransport der Erntegüter. Diese erhöhten Anforderungen schlagen sich in neuen technischen Lösungen für den Transport und in immer neuen Verfahrensvarianten nieder. Dabei waren die Effekte, die sich aus der Verknüpfung der Arbeitsgänge ergeben, bisher oft nur unzureichend quantifizierbar.

Die vorgestellte Systematik des Transports auf der Grundlage des technologischen Zusammenwirkens mit dem Erntearbeitsgang und die Modellansätze zur Beschreibung des Leistungsverhaltens von Erntemaschinen und Transportmitteln bei unterschiedlicher Verknüpfung der Arbeitsgänge können eine Hilfe für die Verfahrenswahl und für die Entwicklung neuer Verfahren darstellen. In diesem Zusammenhang muß angemerkt werden, daß zur Beurteilung transportverbundener Arbeitsverfahren neben dem Leistungsverhalten der Maschinen selbstverständlich eine Vielzahl weiterer Kriterien heranzuziehen sind, auf die nicht eingegangen werden konnte. Für die Quantifizierung dieser Kriterien stellt die Beschreibung der Leistungsdynamik der Erntemaschinen und der Transportmittel in vielen Fällen eine wichtige Grundlage dar.

Der durch mehr oder weniger feststehende Rahmenbedingungen verbleibende Spielraum für die Gestaltung von Arbeitsverfahren sollte vor der Entscheidung für ein Verfahren umfassend analysiert werden. Die Quantifizierung der wichtigsten Kriterien und ihre Einbeziehung in die Verfahrensbewertung können eine Hilfe bei der Entscheidungsfindung darstellen.

Die drei grundlegenden Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport lassen

sich verbal nur schwer miteinander vergleichen. Dennoch soll eine kurze grundsätzliche Wertung vorgenommen werden. Auf die Schwachstellen des Parallelverfahrens (zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten) und des absätzigen Verfahrens (zeitliche Schere zwischen Ernte und Transport) wurde bereits mehrfach hingewiesen. In bedingt absätzigen Verfahren werden die Verlustzeiten durch begrenzte Puffer abgefedert und eine zeitliche Schere zwischen Ernte und Transport ausgeschlossen.

Bei der Entwicklung transportverbundener Arbeitsverfahren geht der Trend in Großbetrieben eindeutig zur Entflechtung von Arbeitsgängen. Die konsequente Trennung von Feldtransport und Straßentransport hat den Vorteil, daß die teilweise gegensätzlichen Anforderungen an Feld- und Straßenfahrwerke konsequenter in der Bauweise der Fahrzeuge umgesetzt werden können. Generell besteht die Forderung nach hohen Nutzmassen und auf der Straße zusätzlich nach hohen Transportgeschwindigkeiten. Für den Feldtransport bedeutet das den Einsatz bodenschonender Fahrwerke mit niedrigen Kontaktflächen drücken. Neben der Bodenschonung bewirkt die Entflechtung der Arbeitsgänge auch eine Verminderung oder gar Vermeidung von unproduktiven Wartezeiten der Erntemaschinen oder der Transportfahrzeuge. Dieser Tatbestand erleichtert die Arbeitsorganisation und wirkt tendenziell kostensenkend.

Bei der Zuckerrübenenernte hat sich die Verfahrensentflechtung am stärksten durchgesetzt. Hier gehört in Ostdeutschland das Parallelverfahren mit der KS 6 als Schlüsselmaschine der Vergangenheit an. In Großbetrieben wird der Feldtransport in der Regel durch sechsheihige Köpfrödebunker-Erntemaschinen übernommen. Der Straßentransport erfolgt dann mit leistungsfähigen LKW, die eine Nutzmasse von etwa 25 t/Transporteinheit besitzen (HERRMANN und SORGE 1997).

Auch in der Getreideernte zeichnet sich eine Entflechtung von Ernte und Transport ab. Sie kann allerdings von der Verfahrensgestaltung her nicht so konsequent wie in der Zuckerrübenenernte betrieben werden. In Großbetrieben konnte sich die Feldrandabbunkerung der Mähdrescher zur Vermeidung von Feldfahrten der Transportfahrzeuge bisher nicht durchsetzen. Einen guten Kompromiß zwischen der Abbunkerung der Mähdrescher während des Druschs und der Feldrandabbunkerung stellt der Einsatz eines Überladewagens dar.

Auch in der Strohernte wurde das Parallelverfahren mit der Kleinballenpresse sehr schnell durch absätziges Verfahren abgelöst. Rund- und besonders Quaderballenpressen ermöglichen eine leistungsstarke Strohernte, zunächst unabhängig von der nachfolgenden Transporttechnik. Der Abtransport der Ballen erfordert allerdings wieder das Zusammenwirken von Umschlagmitteln und Transportmitteln. Das Auftreten unproduktiver Wartezeiten ist dann unvermeidbar. Bei niedrigen Transportentfernungen und Ernteflächen von mindestens 100 ha je Jahr ist allerdings auch ein Rund- bzw. Quaderballenladewagen ökonomisch sinnvoll einsetzbar. Die Spezialfahrzeuge gewährleisten den Transport im echten Ein-Mann-Verfahren und schließen Reibungsverluste zwischen den Arbeitsgängen aus.

Die Futterernte ist das klassische Einsatzfeld des Parallelverfahrens. Der selbstfahrende Feldhäcksler ist und bleibt die dominierende Erntemaschine für die Futterernte in Großbetrieben. Aber auch in der Futterernte geht die Verfahrensentwicklung primär von der Erntemaschine aus. Das Leistungsvermögen der Feldhäcksler wächst enorm. Maschinen mit mehr als 330 kW Motorleistung und über 150 t/h Durchsatzvermögen stellen höchste Leistungsansprüche an den nachfolgenden Transport und an die Einlagerung (LOO van 1993). Durch breite Pick up und Aufnahme von zwei Schwaden wird versucht, das hohe potentielle Leistungsvermögen der Häcksler auszuschöpfen (EIKEL 1998). Da Ernte und Transport im Parallelverfahren unmittelbar miteinander verbunden sind, wirken sich Abstimmungsfehler zwischen den Arbeitsgängen über auftretende Wartezeiten und damit Leistungsverluste unmittelbar kostenerhöhend aus. Einer Vergrößerung des Transportvolumens und damit der Lademasse sind aus der Sicht der Bodenbelastung Grenzen gesetzt. Somit werden auch beim klassischen Einsatzgebiet des Parallelverfahrens Möglichkeiten der Verfahrensentflechtung gesucht. Häcksler mit Bunkeraufbauten, Containern oder Sattelaufleger könnten einen Beitrag zur Entflechtung des Arbeitsverfahrens leisten (ANONYM 1997, ANONYM o. J. a, ANONYM o. J. b).

Im Parallelverfahren und im bedingt absätzigem Verfahren kommen in der Regel Universaltransportfahrzeuge zur Anwendung. Sie besitzen eine relativ hohe Lademasse und lassen sich für viele Transportaufgaben im Betrieb einsetzen (gute Maschinenausnutzung). Die Kosten der Arbeitserledigung sind dadurch tendenziell niedrig.

Bei der konsequent absätzigen Verknüpfung und dem Transport im Ein-Mann-Verfahren kommen dagegen oft Spezialtransportfahrzeuge zum Einsatz. Es handelt sich dabei um kapitalintensive Transportmittel, die sich meist durch eine niedrige Lademasse auszeichnen und deren Einsatzspektrum begrenzt ist (z.B. Quaderballenladewagen). Kurze Be- und Entladezeiten wirken dem Nachteil der geringen Lademasse entgegen. Relativ kurze Transportentfernungen und eine gute jährliche Ausnutzung der Transportmittel rechtfertigen den Einsatz der Spezialtransportfahrzeuge im Ein-Mann-Verfahren. Eine hohe jährliche Maschinenausnutzung ist für Spezialtransportfahrzeuge besonders wichtig, sie ist allerdings durch das eingeschränkte Einsatzspektrum oft schwieriger als bei Universaltransportmitteln zu erreichen. Daher scheint das Ein-Mann-Verfahren für die Bedingungen der neuen Bundesländer am ehesten von Interesse zu sein (HERRMANN, 1994b).

Prinzipiell sollte den landwirtschaftlichen Transportverfahren eine größere Bedeutung beigemessen werden, da in ihnen ein nicht unerheblicher Teil der Produktionskosten entsteht. Gerade unter dem zunehmenden Kostendruck in der Landwirtschaft trifft das insbesondere für die Großbetriebe Ostdeutschlands zu, da hier bereits einfache Veränderungen in der Verfahrensgestaltung eine höhere Effizienz des Gesamtverfahrens bewirken können (MEIßER 1994a).

## 5.4 Modellkritik

### 5.4.1 Kostenmodell

Bei der Berechnung der Teilkosten wurde im wesentlichen auf bekannte Algorithmen zurückgegriffen (vgl. Abschnitt 4.1). Dennoch treten auch bei dieser bewährten Vorgehensweise methodische Detailprobleme auf.

#### Festkosten

So treten bei der Kalkulation der Festkosten keine Schwierigkeiten auf, wenn die zu untersuchende Maschine nur für eine Arbeitsart zur Anwendung kommt. Wird eine Maschine oder ein Fahrzeug für verschiedene Arbeitsaufgaben eingesetzt (z.B. Traktor, Umschlagmittel, Universalanhänger) erfolgt die Kalkulation mit den Ansätzen (4c) bzw.

(4d). Die jährliche Ausnutzung der Maschine ergibt sich hier aus der Summe der Einsatzzeiten für die einzelnen Arbeitsarten:

$$Ausnutzung = \left( \sum_1^n Ausn_n \right) \cdot$$

Offen ist jedoch die Frage, wie die jährliche Ausnutzung der Maschine zu behandeln ist, wenn es zu einer Ausdehnung der Einsatzzeit im analysierten Arbeitsgang kommt. Ursachen für die Ausdehnung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang kann z.B. die Ausdehnung der Erntefläche, höhere Erträge, kürzere Schläge u. ä. sein. Prinzipiell wären zwei Möglichkeiten denkbar (Abb. 33):

1. Die Ausdehnung der Einsatzzeit erfolgt auf Kosten der jährlichen Gesamtausnutzung der Maschine. Die Maschine ist für andere Arbeiten mit einem entsprechend geringeren Zeitfonds einsetzbar. Die jährliche Gesamtarbeitszeit bleibt damit trotz der Ausdehnung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang konstant. Dieses Verhalten der jährlichen Maschinenausnutzung wird am ehesten für Lohnunternehmen und Großbetriebe zutreffen, da bei ihnen die Maschinen generell einer hohen Ausnutzung unterliegen und eine Ausdehnung der jährlichen Einsatzzeit nicht ohne weiteres möglich ist.
2. Die Ausdehnung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang erfolgt zusätzlich zur Einsatzzeit der Maschine für die anderen Arbeitsarten. Die jährliche Gesamtausnutzung der Maschine verlängert sich um die Ausdehnung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang. Eine Verlängerung der jährlichen Einsatzzeit ist am ehesten in Betrieben denkbar, in denen die Maschinen einer relativ niedrigen Ausnutzung unterliegen und in denen mit einer Ausdehnung der Einsatzzeit in bestimmten Arbeitsgängen noch Reserven der Maschinenausnutzung erschlossen werden können.

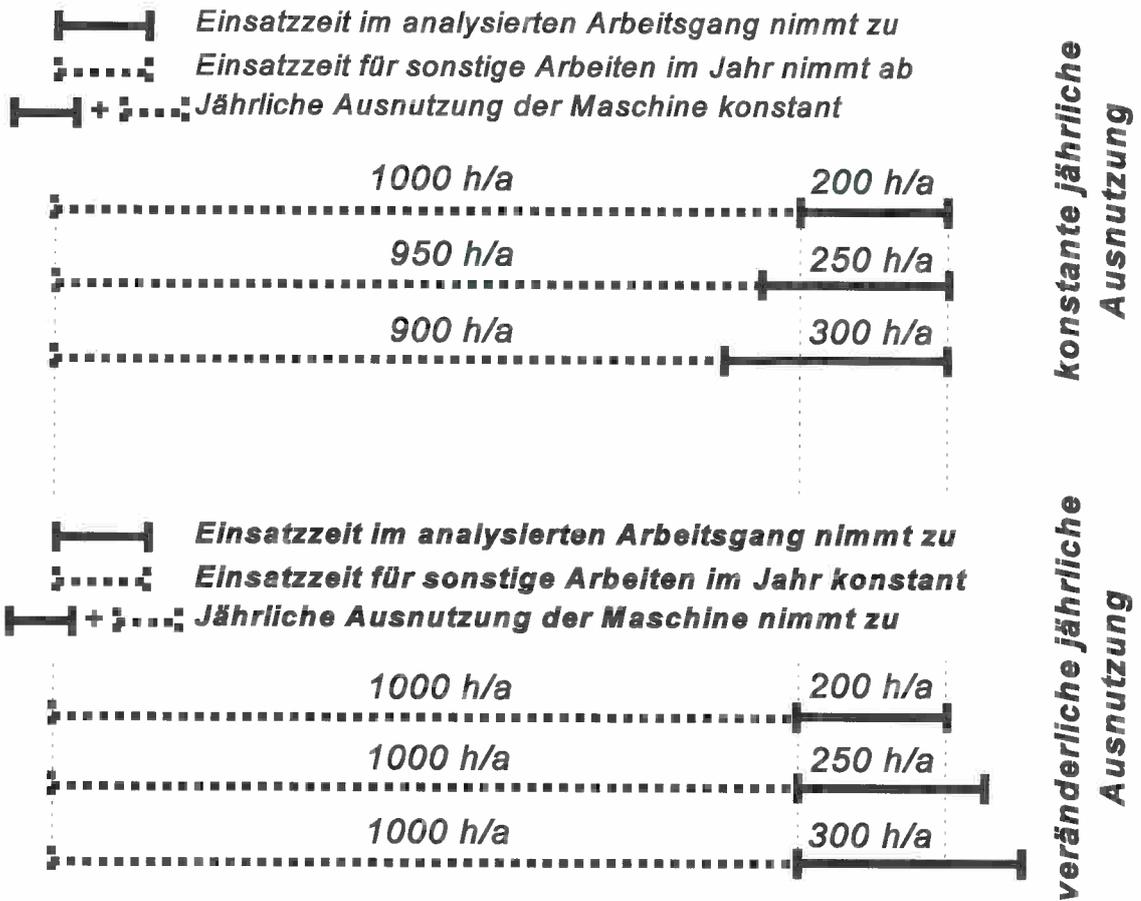


Abb. 33: Jährlichen Ausnutzung einer Maschine bei Verlängerung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang (zwei Varianten)

In Abhängigkeit davon, welches Szenario für die Kalkulation gewählt wird, ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse für die Festkosten. Eine Entscheidungshilfe für die vorteilhafteste Vorgehensweise bei der Kalkulation der Festkosten steht noch aus. In der Praxis wird in den meisten Fällen wahrscheinlich eine Mischform der beiden beschriebenen Varianten anzutreffen sein. Aber auch für die Stützung dieser These fehlt jegliche methodische Grundlage, die letztlich eine begründete Kalkulation ermöglichen würde.

Reparaturkosten

Die Unsicherheiten bei der Kalkulation der Reparaturkosten sind bekannt. Sie bestehen in der großen Stochastik bezüglich des zeitlichen Auftreten der Störungen, der Dauer einer Reparatur und in der finanziellen Auswirkung einer Reparatur. Unterschiede bezüglich

der Reparaturkosten bestehen auch zwischen verschiedenen Maschinen gleichen Typs. Die Reparaturkosten erhöhen sich mit zunehmender Nutzungsdauer einer Maschine. Die Zusammenhänge zwischen Reparaturkosten und den genannten Einflußgrößen ließen sich bisher nicht quantifizieren. Es war nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit, diese offenen Fragen zu klären. Dennoch sollten zum Problembereich der Reparaturkosten unbedingt weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um begründete Aussagen zum Reparaturverhalten von Maschinen zu erhalten. Die vereinfachte Methode zur Kalkulation der Reparaturkosten, wie sie mit den Formeln (5a) und (5b) im Abschnitt 4.1.3 vorgestellt wurde, kann grundsätzlich angewandt werden. Große Unsicherheiten bestehen allerdings in der Größenordnung des Reparaturkoeffizienten  $k_r$ . Hier wurde lediglich auf Erfahrungen aus der Literatur zurückgegriffen. Differenziertere Aussagen zu den Reparaturkosten, die auf wissenschaftlichen Untersuchungen basieren, wären wünschenswert.

#### Kosten für Dieselkraftstoff

Bei den Kosten für Dieselkraftstoff ist die Berechnungsvorschrift eindeutig. Problematisch ist hier die Bestimmung des Kraftstoffverbrauchs  $\dot{V}_{DKT08}$ . Wie im Abschnitt 4.1.4 dargestellt, existiert für ihn kein Modell auf der Grundlage der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ . Umrechnungsfaktoren für den Kraftstoffverbrauch in der Grundzeit  $T_1$  in den Verbrauch in anderen Zeitebenen sind nicht bekannt. Die Frage ist allerdings, ob der enorme Aufwand, den die Erstellung eines detaillierten Modells für den Kraftstoffverbrauch erfordern würde, tatsächlich gerechtfertigt wäre. Betrachtet man den Anteil der Kosten für Kraftstoff an den Gesamtkosten, so ist dieser relativ gering. Am konkreten Beispiel der Ernte von Stroh mit einer Quaderballenpresse beträgt er zwischen 6 und 8 %. Eine genauere Bestimmung des Kraftstoffverbrauches würde sich also nur geringfügig auf die Gesamtkosten auswirken. Somit wird die Unterstellung von Durchschnittswerten aus gemessenen Stichproben bzw. von Erfahrungswerten als ausreichend angesehen. Lediglich Fragestellungen, die sich vordergründig auf den Kraftstoffverbrauch beziehen, könnten den Aufwand für die Erarbeitung eines differenzierteren Kraftstoffverbrauchsmodells rechtfertigen.

#### 5.4.2 Leistungsmodell

Das Leistungsmodell ist prinzipiell zur Kalkulation von Kriterien, die einen Zeitbezug haben, geeignet. Dabei wurden viele neue Vorgehensweisen beschrrieben, die besonders unter dem Blickwinkel der Verknüpfung von Arbeitsgängen aufeinander abzustimmen waren.

Sehr tiefgründig wurde zum Beispiel das Leistungsverhalten bzw. die Arbeitsgeschwindigkeit von Halmguterntemaschinen in der Grundzeit  $T_1$  in Versuchen untersucht und im Modell beschrieben (vgl. Abschnitte 4.2.2.1; 4.3.2 und 4.3.3). Dagegen wurden für die Geschwindigkeiten der Transportfahrzeuge lediglich Durchschnittswerte unterstellt, die für bestimmte Fahrzeugtypen in der Praxis ermittelt wurden. Die Transportgeschwindigkeit ist allerdings eine entscheidende Einflußgröße bei der Kalkulation aller Zielgrößen des Transports. Bisher wurde in Berechnungen für Traktoren eine durchschnittliche Transportgeschwindigkeit von 15 km/h und für LKW von 35 bis 38 km/h unterstellt. Diese Durchschnittswerte wurden für alle Einsatzbedingungen angewandt. Die maximalen Fahrgeschwindigkeiten bei Traktoren wurden aber in den letzten Jahren von 30 km/h auf teilweise 40, 50 und sogar 80 km/h ausgedehnt. In Versuchen müßte ermittelt werden, wie sich die Erhöhung der maximalen Fahrgeschwindigkeit bei Traktoren auf die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit auswirkt. In den Versuchen müßte die Wirkung weiterer wichtiger Einflußgrößen auf die durchschnittliche Transportgeschwindigkeit untersucht werden. Parameter mit großem Einfluß auf Transportgeschwindigkeit sind die Lademasse, die Transportentfernung und die Wegebeschaffenheit.

Das Leistungsverhalten der Maschinen in den Erntearbeitsgängen läßt sich mit dem Modell gut widerspiegeln. Besonders gut eignet es sich für die Untersuchung von Verknüpfungen und die Gestaltung von Ernte- und Transportarbeitsgängen. Für die Leistung der Erntemaschinen in der Operativzeit  $T_{02}$  werden allerdings einige Aspekte nicht berücksichtigt, die sich aber tendenziell leistungsmindern und damit kostenerhöhend auswirken. So wird die Leistung bei der Ernte des Vorgewendes auf jeden Fall niedriger ausfallen als auf dem eigentlichen Schlag. Versuche über die Größenordnungen dieser Leistungsminderung sollten unbedingt durchgeführt werden. Gleichzeitig sind zumindest für bestimmte Fragestellungen die ermittelten Zusammenhänge in das Modell zu integrie-

ren. Durch ihre Berücksichtigung wären z.B. noch differenziertere Aussagen über die Auswirkung der Schlaggröße auf Leistung und Kosten der Maschinen möglich.

Ähnlich wie die Ernte des Vorgewendes ist auch das Anschneiden der Schläge ein Vorgang, der sich negativ auf die Ernteleistung auswirkt. Zu beachten wäre dieser Aspekt vor allem bei der Ernte von Mais mit dem Feldhäcksler und bei der Ernte von Mähdruschfrüchten mit Mähdreschern, die beim Anschneiden mit einem Bunker nicht das andere Feldende erreichen. Für die in der Arbeit vorgestellten Verfahren war das Anschneiden der Schläge nicht leistungsbeeinflussend.

Große Beachtung wurde im Modell der Auswirkung der Schlaglänge auf die Leistung der Erntemaschinen in der Operativzeit  $T_{02}$  geschenkt. In der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  fanden dann auch die Schlaggröße und mit ihr korrespondierende Parameter wie die Entfernung zwischen den Schlägen und die Entfernungen vom Standort zum Arbeitsort und umgekehrt Berücksichtigung. Völlig vernachlässigt wurde allerdings der Einfluß der Schlagform auf die Leistung der Erntemaschinen. Generell wurden für die Kalkulation rechteckige Schläge mit einem Längen- Breiten-Verhältnis von 2 : 1 unterstellt. Auf Schlägen, auf denen Keile bearbeitet werden müssen, ist die Zeit für eine Wendung  $t_{21}$  auf jeden Fall höher als auf Rechteckschlägen. Keile erfordern weiterhin auch Arbeitsfahrten der Erntemaschinen, bei denen nicht mit der vollen Arbeitsbreite gearbeitet wird. Auch hier treten Leistungsminderungen auf, die im Modell nicht berücksichtigt wurden. Generell wurden die Auswirkungen von Schlagformen, die Keile beinhalten, auf das Leistungsverhalten von Erntemaschinen in den Versuchen nicht untersucht.

Prinzipiell ist das Modell sowohl für ebene als auch für hängige Ernteflächen geeignet. Die in den Versuchen bestimmten Ausgangsgrößen für die untersuchten Verfahren wurden allerdings alle unter ebenen Einsatzbedingungen ermittelt. Im allgemeinen wird für Kalkulationen der Leistung im hängigen Gelände mit Leistungsminderungskoeffizienten gearbeitet (Anonym 1996/1997). Diese Vorgehensweise ist aus pragmatischer Sicht zu empfehlen. Weitere Untersuchungen zur Größenordnung dieser Koeffizienten in Abhängigkeit von der konkreten Mechanisierungsvariante wären allerdings notwendig.

Ein wichtiger Bestandteil des Modells ist die Fähigkeit, zyklische verfahrensbedingte Verlustzeiten in transportverbunden Fließarbeitsverfahren quantifizieren zu können. Damit können differenzierte verfahrenstechnische Leistungsanalysen unter Berücksichtigung der Verknüpfung von Arbeitsgängen vorgenommen werden. Trotz der sehr guten Möglichkeit verschiedener Verfahrensvarianten hinsichtlich ihres Leistungsverhalten vergleichen zu können, werden transportverbundene Fließarbeitsverfahren gegenüber Ein-Mann-Verfahren in Zeitsummenebenen oberhalb der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  tendenziell bevorteilt. Der Grund dafür ist, daß in transportverbundenen Fließarbeitsverfahren neben den mit dem Modell gut kalkulierbaren zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten auch nichtzyklische Verlustzeiten auftreten. Dabei handelt es sich um Verlustzeiten, die beim Anlaufen des Komplexes zum Arbeitsbeginn oder nach Pausen auftreten. Weiterhin können unter den nichtzyklischen Verlustzeiten Wartezeiten verstanden werden, die bei den Transportmitteln durch Störungen an der Erntemaschine auftreten oder umgekehrt. Auch die Verlängerung der Umlaufzeit der Transportmittel durch zufällige Ereignisse kann Wartezeiten bei den Erntemaschinen verursachen. Im Ein-Mann-Verfahren entfallen die nichtzyklischen Verlustzeiten, die sich aus der Verknüpfung von Ernte und Transport ergeben. Bei der Koeffizientmethode wurde das Problem dadurch umgangen, daß für die Umrechnung von der Leistung in der Operativzeit bzw. erweiterte Operativzeit in die Leistung in der Gesamtarbeitszeit für Fließarbeitsverfahren und Ein-Mann-Verfahren unterschiedliche Koeffizienten  $k_{T_{02}/T_{08}}$  verwendet wurden (vgl. Abschnitt 4.2.2.3). Der Nachteile der Koeffizientmethode besteht allerdings darin, daß Einflußgrößen, die oberhalb der Zeitsumme der erweiterten Operativzeit  $T_{025}$  leistungswirksam werden (z.B. Schlaggröße, Entfernung zwischen den Schlägen, Rüstzeit), nicht differenziert berücksichtigt werden können. Um den Einfluß nichtzyklischer Verlustzeiten in einem Verfahrensvergleich berücksichtigen zu können, sollten diesbezüglich verfahrenstechnische Untersuchungen in der Praxis durchgeführt werden. Aus den Versuchen sollten Algorithmen abgeleitet werden, die in das Modell eingefügt werden. Ziel muß es sein, eine noch genauere Leistungskalkulation in verknüpften Arbeitsgängen zu ermöglichen.

## 5.5 Anwendbarkeit und Weiterentwicklungsmöglichkeiten des Modells

Das vorgestellte Leistungs- und Kostenmodell ist für eine Analyse zeitabhängiger Kriterien und der Kosten der Arbeitserledigung geeignet. Dabei besteht die Besonderheit darin, daß die Aussagen zu den Kriterien die betrieblichen Einsatzbedingungen und die Verknüpfungen zwischen Ernte- und Transportarbeitsgängen detailliert berücksichtigen.

Das Modell stellt ein Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung für zwei wesentliche Einsatzfälle dar (Abb. 34):

1. Auswahl oder Gestaltung eines Arbeitsverfahren für konkrete betriebliche Einsatzbedingungen
  - Das Modell kann für die Analyse eines Arbeitsverfahrens in einem Betrieb Anwendung finden. Es können Schwachstellen aufgedeckt und eventuell Veränderungen in der Verfahrensgestaltung vorgenommen werden.
  - Steht in einem Landwirtschaftsbetrieb oder Lohnunternehmen die Anschaffung eines neuen Arbeitsverfahrens an, kann das Modell dabei behilflich sein, das an die betrieblichen Einsatzbedingungen am besten angepaßteste Verfahren zu ermitteln.
  - Im Bereich der Vorentwicklung der Landmaschinenindustrie können Prognosen zu zeitabhängigen Kriterien und Kosten anhand bestimmter Parameter für zu entwickelnde Maschinen erstellt werden. Gleichzeitig wird ein Vergleich des zu entwickelnden Produktes mit bestehenden Mechanisierungsvarianten möglich. Produktmanagement und Marketing der Landmaschinenindustrie können die Einsatzgebiete für ein Produkt (Maschine) definieren und Absatzmöglichkeiten kalkulieren.
  - Für den Landmaschinenhandel und -vertrieb sowie für die landwirtschaftliche Beratung kann das Modell eine Unterstützung zur Empfehlung von Mechanisierungsstrategien darstellen, die an konkrete betriebliche Einsatzbedingungen gut angepaßt sind.

## 2. Anpassung der Einsatzbedingungen an ein potentiell leistungsfähiges Verfahren.

- Eventuell kann es notwendig werden, für ein oder mehrere potentiell leistungsfähige und kostengünstige Arbeitsverfahren die betrieblichen Einsatzbedingungen so zu verändern, daß die Vorteile des Verfahrens besser nutzbar gemacht werden können. Größere Schwadabstände, größere Schläge, kürzere Transportentfernungen und ähnliche Veränderungen der Einsatzbedingungen können zur Verminderung der Kosten bei gegebener Mechanisierung führen.

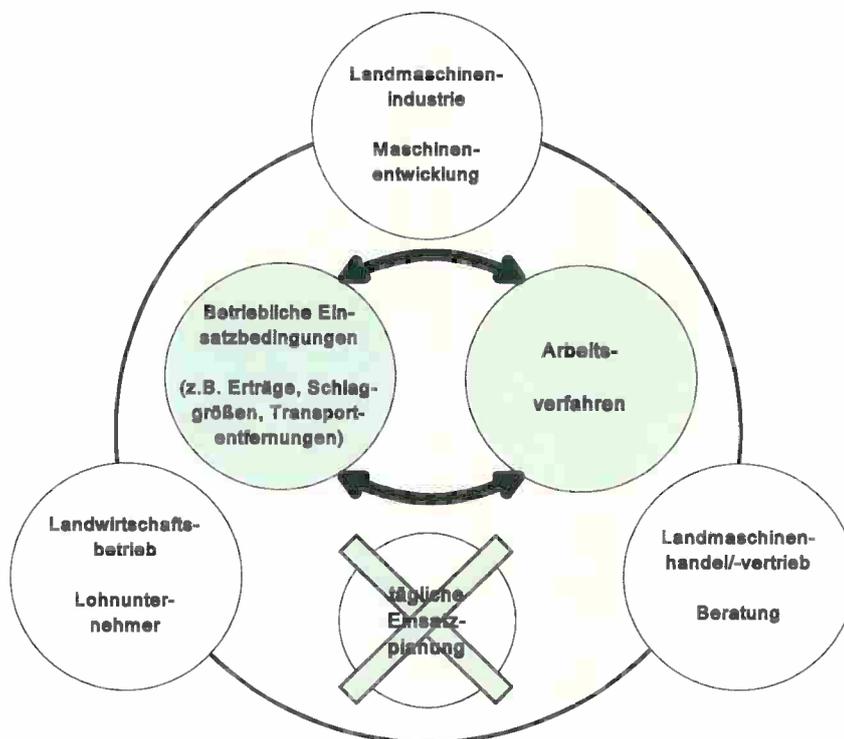


Abb. 34:  
Mögliche Anwendungsgebiete des Leistungs- und Kostenmodells

Im Modell ist die Verallgemeinerung der Algorithmen für alle Ernte- und Transportverfahren sowie für alle Verknüpfungsmöglichkeiten in ihren Grundstruktur zwar möglich. Im konkreten Fall tritt jedoch das Problem auf, daß die Algorithmen für jede Verfahrensvariante im Detail an die konkrete Situation anzupassen sind. In jeder Verfahrensvariante treten andere Teilarbeiten und damit andere Teilzeiten auftreten. Die Arbeitsverfahren laufen in jeder Variante etwas anders ab. Bisher werden die ermittelten Algorithmen in Tabellenkalkulationsprogrammen dargestellt (z.B. MS Excel). Hier lassen sich bei Bedarf relativ unkompliziert Veränderungen in den Algorithmen vornehmen. Für den

ergebnisorientierten Anwender ist diese Vorgehensweise nicht geeignet.

Ein anwenderfreundliches Programm ist jedoch nur für eine eingeschränkte Anzahl von Arbeitsverfahren denkbar, in dem die integrierten Algorithmen nicht mehr beeinflussbar sind. Zum Beispiel könnte für die Halmguternte der Vergleich von mehreren Quaderballen- und Rundballenverfahrensvarianten in einem anwenderfreundlichen Programm vorgenommen werden.

Bei einer Weiterentwicklung des Modells sollten zunächst die im Abschnitt 5.4 angesprochenen Schwachstellen bearbeitet und beseitigt werden. Weiterhin sind für bisher nicht oder nur wenig berücksichtigte Verfahren, wie z.B. Zuckerrüben- und Kartoffelernte, die Algorithmen zu konkretisieren und die Datengrundlage über die Möglichkeiten der KTBL-Datensammlung hinaus zu erweitern. Das Modell sollte auch über die Verknüpfung von Ernte und Transport hinaus ausgedehnt werden, um z.B. auch die Darstellung der Verknüpfungen von Ausbringungs- und Transportarbeitsgängen zu ermöglichen. Generell dürfte diese Erweiterung relativ problemlos möglich sein. Hierzu sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig.

## 6 Zusammenfassung

Die Bewertung von Verfahren ist ein wichtiges Anliegen der Verfahrenstechnik. Sie erfolgt auf der Grundlage von Kriterien. Eines der wichtigsten Kriterien für die Praxis sind die Kosten der Arbeitserledigung. Sie setzen sich aus mehreren Teilkosten zusammen, für die bereits gute Kalkulationsansätze vorhanden sind. Voraussetzung für die Kostenkalkulation sind Kenntnisse über die Ausnutzung und Auslastung der zu bewertenden Maschinen. Die Maschinenausnutzung ist in Form der jährlichen Einsatzstunden oder der jährlichen Erntefläche einfach festzustellen. Schwierig ist dagegen, die tatsächliche verfahrenstechnische Leistung als Ausdruck der Maschinenauslastung zu bestimmen. Dabei nimmt die Komplexität der Zusammenhänge zwischen der verfahrenstechnischen Leistung und den sie beeinflussenden Größen mit größer werdenden Zeitsummenebenen zu. Die Entwicklung von Algorithmen zur Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung in den unterschiedlichen Zeitsummenebenen war ein wichtiges Ziel der eigenen Untersuchungen. Mit der verfahrenstechnischen Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  wurde die Schnittstelle zwischen Kosten- und Leistungsmodell mathematisch beschrieben. Bei ihrer Darstellung wurde versucht, weitestgehend auf die Herleitung aus niedrigeren Zeitsummenebenen mittels Umrechnungsfaktoren zu verzichten. Vielmehr ging eine Vielzahl von Einflußgrößen in die Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung ein, die eine umfassende Berücksichtigung der betrieblichen Einsatzbedingungen erlaubte. Andererseits wurde auch darauf geachtet, daß die Einflußgrößen als Modell-eingabeparameter möglichst einfach zu ermitteln sind.

Neben der verfahrenstechnischen Leistung erfolgte die Charakterisierung der Verfahren auch mit Hilfe der Kriterien Arbeitszeitbedarf und Arbeitskräftebedarf. Beide Kriterien leiten sich genauso wie das Verhältnis zwischen jährlicher Einsatzzeit und jährlicher Erntefläche aus der verfahrenstechnischen Leistung ab. Damit besitzen sie auch einen starken Zeitbezug. Für eine Analyse der Verfahren und für die Kalkulation der Kriterien ist eine überschaubare und logische Gliederung der Arbeitszeit eine unerläßliche Voraussetzung. Als Gliederungsgrundlage wurde die TGL 22289 gewählt. Das numerische Indexsystem erwies sich als gut geeignet. Nach den Anforderungen des Modells wurde die Gliederung leicht verändert und bei der Verknüpfung von Arbeitsgängen als alphanumerisches Indexsystem angewandt.

Das erstellte Leistungs- und Kostenmodell bezieht sich ausschließlich auf die Kalkulation der Kriterien in den Ernte- und in den unmittelbaren Nacherntearbeitsgängen. Besonderes Augenmerk wurde auf die Verknüpfungen zwischen den Arbeitsgängen gelegt und ihre Auswirkungen auf die verfahrenstechnische Leistung modelliert. Bei der Abgrenzung von Verknüpfungsvarianten war die Einteilung der transportverbundenen Arbeitsverfahren nach der Art der Be- und Entladung der Transportmittel (Fremd- oder Selbstbeladung bzw. Fremd- oder Selbstentladung) eine wichtige Grundlage (FLEISCHER 1967). Die Beziehungen zwischen Ernte- und Transportarbeitsgängen wurden in einer eigenen Systematik geordnet. Auf der Grundlage dieser Systematik erfolgte für Parallelverfahren, absätzig Verfahren und bedingt absätzig Verfahren die Erarbeitung von Algorithmen zur Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung in den Zeitsummenebenen. Anhand je eines Beispiels für die unterschiedlichen Verknüpfungsvarianten von Ernte und Transport wurden die Kriterien für die Arbeitsgänge und für das Arbeitsverfahren dargestellt. Dabei standen besonders die Kriterien verfahrenstechnische Leistung, Arbeitszeitbedarf und Kosten in ihrer dynamischen Wechselwirkung mit wichtigen Einflußgrößen im Mittelpunkt der Betrachtungen. Besondere Beachtung fanden die Einflüsse der Größen Ertrag, Schlaggröße, Transportentfernung, Lademasse und Transportgeschwindigkeit. Ein weiterer Schwerpunkt war die Quantifizierung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten in transportverbundenen Fließarbeitsverfahren und die Modellierung ihres Einflusses auf die zeitgebundenen Kriterien sowie auf die Kosten der Arbeitserledigung. Ein offenes Problem bleibt die Kalkulation nichtzyklischer Verlustzeiten in Parallelverfahren und in bedingt absätzigen Verfahren.

Mit der Verknüpfung von Leistungs- und Kostenmodell unter Berücksichtigung einer komplexen Einflußgrößenkonstellation wurde ein methodischer Beitrag zur Verbesserung der Verfahrensbewertung geleistet. Das Modell kann als Entscheidungshilfe bei der Verfahrensgestaltung und Verfahrenswahl in Landwirtschaftsbetrieben dienen. Seine Verwendung als Prognosemodell in der Entwicklungsphase von Landmaschinen ermöglicht Aussagen über die zu erwartenden verfahrenstechnischen Effekte einer Maschine und Vergleiche mit anderen Verfahrensvarianten.

## 7 Literatur

- [1] **AUERNHAMMER, H.:** Eine integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL-Schrift 203, 1976
- [2] **BARKURSKY, U. und J. LANGE:** Einfluß der Schlaggestaltung auf technologische Aufwendungen. Bauern-Echo (1988) H. 301, S. 6
- [3] **BATZ, E.:** Neuordnung des ländlichen Raumes. Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 1990
- [4] **BISMARCK von, L. und BUCHHOLZ, H.:** Methodik und Technik der Arbeitsbeobachtungen in der Landwirtschaft. Berlin, Paul Parey Verlag, 116 S., 1931
- [5] **BRETSCHNEIDER, S.:** Methodischer Beitrag zur Quantifizierung des Geländeschlages und der Prozeßgestaltung auf die Effektivität des Maschineneinsatzes. Schlieben, Arbeiten zur Mechanisierung der Pflanzen- und Tierproduktion Nr. 39, 1989
- [6] **CLEGG, J.M. und D.H. NOBLE:** A cost model of straw conservation system. Agricultural engineer (1987) Frühjahrsausgabe, S. 15 - 20
- [7] **DIETZEL, H. und R. DIEMANN:** Allgemeine Anforderungen an das ländliche Wegenetz (Teilleistung zum Abschnitt 1). Halle, Universität Halle-Wittenberg, Forschungsbericht, 58 S., 1996
- [8] **DITTRICH, G.:** Analyse des gegenwärtigen Standes der Schlaggrößen. Innenleistung des Institutes SBW Böhlitz-Ehrenberg, 1982
- [9] **EIKEL, G.:** Feldhäcksler Mammot 8790 von Case-IH: Größter Mammot aus Neustadt. profi (1998) H. 7, S. 20 - 22
- [10] **EINHORN, W.:** Grundsätze der Schlaggestaltung. Feldwirtschaft 11 (1970) H. 8, S. 352-354
- [11] **FLEISCHER, E.:** Untersuchungen zur Anwendung von Arbeitszeitfunktionen und ihrer partiellen Differentiale auf die vergleichende Analyse des Arbeitszeitbedarfs transportverbundener landwirtschaftlicher Arbeitsverfahren unter besonderer Berücksichtigung der vollmechanisierten Stallung- und Gülleausbringung. Halle, Univ. Halle-Wittenberg, Dissertation A, 1967
- [12] **FLEISCHER, E.:** Ursachen und Wesen zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten transportverbundener Fließarbeitsverfahren sowie Möglichkeiten ihrer Senkung. KÜHN-ARCHIV 82 (1968) H. 4, S. 413-439
- [13] **FRÖBA, N.:** Landwirtschaftliches Transportwesen. Landtechnik 49 (1994) H. 5, S. 264 - 266
- [14] **FÜRLI, Ch. und J. HAHN:** Beitrag zur Logistik in der Halmguternte. Bornimer Agrartechnische Berichte (1994) H. 5, S. 21 - 33
- [15] **FÜRLI, Ch. und J. HAHN:** Logistik in der Landwirtschaft. Landtechnik 52 (1997) H. 5, S. 240 - 241
- [16] **GINDELE, H.:** Die Bedeutung agrarstruktureller Elemente für eine rationelle Arbeits erledigung in der Feldwirtschaft. Frankfurt am Main, KTBL-Schrift 156, 202 S., 1972
- [17] **GUERICKE, W. in ISENSEE, E.:** Großmaschinen. Arbeiten der DLG, Band 156, 1978

- [18] **HAHN, J.:** Umweltrelevante Kriterien in der Verfahrensbewertung und bei Ausstattungsentscheidungen. *Wiss. Zeitschrift der Humboldt-Univ. zu Berlin, R. Agrarwissenschaften* 40 (1991) H. 2, S. 9-12
- [19] **HAHN, J.:** Witterungsbedingte Einsatzzeit technischer Arbeitsmittel in Verfahren der Pflanzenproduktion. *Wiss. Zeitschrift der Humboldt-Univ. zu Berlin.-* 34 (1985) H. 6, S. 591 -594
- [20] **HAHN, J.:** Die Zeit in der Analyse und Synthese technologischer Prozesse. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Habilitation, 126 S., 1984
- [21] **HAHN, J. und CH. FÜLL:** Logistik optimieren - Bewertung logistischer Ketten für halmgutartige Biobrennstoffe. *Landtechnik* 50 (1995) H. 3, S. 130 - 131
- [22] **HAMANN, M. und H. NAUMANN:** Zeitgliederung nach REFA und nach TGL 2860-56. *Arbeit und Arbeitsrecht* (1991) H. 5, S. 144-148
- [23] **HAMMER, W.:** Arbeitszeit- und Beanspruchungsfunktionen. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., KTBL-Schrift 202, 1976
- [24] **HAMMER, W.:** Ganzheitliche und kausale Betrachtung als Grundlagen für Arbeitszeitstudien in der Landwirtschaft. *Landarbeit und Technik* (1968) H. 35, S. 11 - 45
- [25] **HARTOG:** Mündliche Mitteilung des Trockenwerkbetreibers in Abbekerk (Niederlande), 1994
- [26] **HEEGE, H.J.:** Zur Frage der Arbeitsorganisation im Landbau - Fließverfahren oder absätzi-ge Verfahren. *Grundl. Landtechnik* 27 (1977) 5, S. 157-162
- [27] **HEINRICH, J., R. HÜWE und J. GERSONDE:** Stand der Umstrukturierung der Landwirtschaft im Land Sachsen-Anhalt - Stand: 1994. Halle, Universität Halle-Wittenberg, Inst. f. Agrarökonomie und Agrarraumgestaltung, Forschungsbericht, 23 S., 1994
- [28] **HEINRICHSMEYER, F.:** Leistungsfähige Verfahren zur Halmguternte in Großbetrieben. Kiel, Universität Kiel, Dissertation, 1998
- [29] **HERRMANN, A.:** Arbeitswirtschaftliche Betrachtungen zu transportverbundenen Arbeitsverfahren. Kaunas (Litauen), Internationale wissenschaftliche Konferenz Landwirtschaftliches Ingenieurwesen vom 23.-27.09.1996, Tagungsband, S.53-62, 1996
- [30] **HERRMANN, A.:** Auswirkung der Schlaggröße auf die Leistung und den Arbeitszeitbedarf in der Gesamtarbeitszeit sowie auf die Kosten der Arbeitserledigung. Stuttgart-Hohenheim, 10. Arbeitswissenschaftliches Seminar des AKAL am 23. und 24. Oktober 1995, Berichte des Inst. f. Agrartechnik der Univ. Hohenheim, Bd. 26 , S.129-138, 1995
- [31] **HERRMANN, A.:** Für die energetische Verwertung wichtig: Strohernte mit niedrigen Kosten. *Neue Landwirtschaft* (1994a) H. 7, S. 77 - 80
- [32] **HERRMANN, A.:** Performance and cost of straw-harvesting for energy generation. Balatonfüred (Ungarn), 3rd International Research Conference "Rational use of local energy sources and electrical thermal consumers in the agriculture" am 09.-16.05.1993, Tagungsband, S. 33, 1993a
- [33] **HERRMANN, A.:** Technologische Untersuchungen zum Quadergroßballenverfahren in der Strohernte im Kreis Grimmen (DDR) und in der JRD Sala (CSSR)

in:

- SORGE, R.; UEBE, N. und A. HERRMANN:** Jahresbericht 1988 Forschungsgruppe "Stroh". Halle, Universität Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Forschungsbericht, 1988
- [34] **HERRMANN, A.:** Transportverbundene Arbeitsverfahren - Systematik und Beschreibung mittels arbeitswirtschaftlicher Kriterien. Halle (Saale), VDI-MEG Kolloquium Agrartechnik "Transport und Umschlag landwirtschaftlicher Güter" am 10./11. Dezember 1996, Tagungsband Heft 26, S. 15-24, 1996
- [35] **HERRMANN, A.:** Transportverfahren in der Landwirtschaft - Arbeitswirtschaftliche Aspekte. Neue Landwirtschaft (1994b) H. 12, S. 78 - 80
- [36] **HERRMANN, A.:** Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Einsatz der Quaderballenpresse Krone Big Pack 120-80 und der Rundballenpresse Krone KR 130 S.- S. 33 - 90  
in:  
**SORGE, R.; NEITZ, B.; HERRMANN, A. und L. HOFMANN:** Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Einsatz der Rundballenpresse Krone KR 130 S und der Quaderballenpresse Krone Big-Pack in der Futter- und Strohernte 1993. Halle, Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik, Forschungsbericht, 1993b
- [37] **HERRMANN, A. und S. DAMMER:** Nadelöhr Transport. Wissen kompakt 1 (1997a) 1, S. 32 - 34
- [38] **HERRMANN, A. und S. DAMMER:** Umladewagen in der Getreideernte - Trennung von Feld- und Straßentransport. Lohnunternehmer-Jahrbuch '98, Verlag AS Agrar-Service & Co. KG Rheinbach, S. 121-129, 1997b
- [39] **HERRMANN, A., DAMMER, S. und G. RÜSCHEN:** Technische und verfahrenstechnische Aspekte der Eingliederung eines Überladewagens in transportverbundene Arbeitsverfahren (Beispiel: Überladewagen HAWE ULW 2500 T). Braunschweig, VDI-MEG-Tagung Landtechnik am 16./17.10.1997, Tagungsband Nr. 1356, S. 271-274, 1997a
- [40] **HERRMANN, A., HAHN, J. und J. PAPESCH:** Arbeitszeitgliederung - Stand und Ausblick für Arbeitswirtschaft und Verfahrenstechnik. Potsdam, 11. Arbeitswissenschaftliches Seminar am 1. und 2. Oktober 1997, Bornimer Agrartechnische Berichte S. 103 - 114, 1997b
- [41] **HERRMANN, A. und K. HERRMANN:** Beurteilung der Großballentechnik bei der Strohbergung. Braunschweig, VDI/MEG-Kolloquium Agrartechnik "Halmgutverdichtung" am 6./7.11.1991, Tagungsband Heft 13, S. 1 - 18, 1991
- [42] **HERRMANN, A.; HERRMANN, K. und R. SORGE:** Methode zur Kalkulation des Leistungsverhaltens von Rund- und Quaderballenpressen in der Strohernte. Wiss. Z. Univ. Halle 41 (1992) H. 5, S. 155 - 161
- [43] **HERRMANN, A. und J. PAPESCH:** Effekte bei der Entflechtung von Ernte und Transport. KÜHN-ARCHIV 89 (1995a) 2, S. 245-257
- [44] **HERRMANN, A. und J. PAPESCH:** Quaderballen - wie vom Feld holen? Leistung, Kosten und Einsatzgrenzen zweier unterschiedlicher Verfahren. Neue Landwirtschaft (1995b) H. 6, S. 73-76
- [45] **Herrmann, A. und J. Papesch:** Schlaggröße - Auswirkung auf die verfahrenstechnische Leistung und die Kosten der Arbeitserledigung. Landtechnik 51 (1996a) H. 1, S. 50-51

- [46] **HERRMANN, A. und J. Papesch:** Selbstfahrende Feldhäcksler: Hat das Containerverfahren eine Zukunft?. Neue Landwirtschaft (1995c) 5, S. 72-74
- [47] **HERRMANN, A. und J. PAPESCH:** Stroh zur Energiegewinnung - Anforderungen an die Strohernte. Landtechnik 51 (1996b) H. 1, S. 36-37
- [48] **HERRMANN, A. und J. PAPESCH:** Systematik und Leistungsanalyse landwirtschaftlicher Transportverfahren. Agrartechnische Forschung 1 (1995d) H. 1, S. 57-67
- [49] **HERRMANN, A.; PAPESCH, J. und E. NACKE:** Arbeitswirtschaftlicher Vergleich zwischen selbstfahrenden Feldhäckslern im Parallelverfahren und im Containerverfahren. Braunschweig, VDI-MEG-Tagung Landtechnik am 12./13.10.1995, Tagungsband Nr. 1211, S. 163-166, 1995
- [50] **HERRMANN, A.; PAPESCH, J. und R. SORGE:** Die verfahrenstechnische Leistung - Diskussion des Begriffes und Vorstellung eines Quantifizierungsmodells. KÜHN-ARCHIV 87 (1993) H. 1, S. 88 - 99
- [51] **HERRMANN, A. und R. SORGE:** Analyse des Zusammenwirkens von Umschlag und Transport in Großballenverfahren. KÜHN-ARCHIV 88 (1994) H. 1, S. 79 - 90
- [52] **HERRMANN, A. und R. SORGE:** Rundballenladewagen - Leistung, Kosten und Einsatzgrenzen. Landtechnik 48 (1993) H. 7, S. 355 - 358
- [53] **HERRMANN, A. und R. SORGE:** Verfahrenstechnische Untersuchungen zu Leistung und Kosten bei der Strohernte mit Großballenverfahren in den neuen Bundesländern. Freising-Weihenstephan, VDI/MEG-Tagung Landtechnik am 22./23.10.1992, Tagungsband, S. 98 - 101, 1992
- [54] **HERRMANN, A. und R. SORGE:** Mit dem gleichen Rad auf Acker und Straße? - Transportprozesse in der Landwirtschaft. Neue Landwirtschaft (1997) H. 4, S. 78 - 80
- [55] **HERRMANN, K. und A. HERRMANN:** Auswirkung verschiedener Einflußgrößen auf die Gestaltung des Quaderballenverfahrens. Wiss. Z. Univ. Halle 40 (1991) H. 6, S. 147 - 156
- [56] **HERRMANN, K. und A. HERRMANN:** Erste Ergebnisse zum Einsatz von Quadergroßballenpressen in der DDR und in der CSSR. agrartechnik 40 (1990) H. 3, S. 114 - 116
- [57] **HERRMANN, K. und A. HERRMANN:** Strohernte mit Quadergroßballenpressen in der DDR und in der CSSR. Halle, 4. Internationale Wissenschaftliche Arbeitstagung "Mechanisierung der Prozesse der Getreideproduktion" am 17.-19.10.1989, Tagungsband S. 252 -257, 1989
- [58] **HERRMANN, K. und R. SORGE:** Ausgewählte Begriffe, Formeln und Berechnungsgrundlagen des Fachgebietes Verfahrenstechnik. Halle, Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Lehrbrief, 51 S., 1992
- [59] **HEYDE, H.:** Landmaschinenlehre. Berlin, Verlag Technik, Band 1, 3. Auflage, 1973
- [60] **HOFMANN, F.:** Problematik der Begriffsbestimmung Technologie als Wissenschaft. Die Technik 20 (1965) H. 11 , S. 727 - 733
- [61] **JÄGER, P.:** Betriebswirtschaftliche Optimierung von Flurstücken. KTBL-Arbeitsblatt (Bauwesen) Nr. 3057, 1979
- [62] **JÄGER, P.:** Zeitbedarf von Feldarbeiten (Teil 1 bis 3).- Landtechnik.- 46 (1991) H. 1/2, S. 69-71, H. 3, S. 123-128 und H. 4, S. 188-190

- [63] **JÄGER, P.:** Rechnergestützte Verfahren und Daten des KTBL für die arbeitswirtschaftliche Planung im landwirtschaftlichen Unternehmen.- Wiss. Z. Univ. Halle 41 (1992) 5, S. 39 - 42
- [64] **KASTEN, A.; FLEISCHER, E.; WEBER, W.; BRÜCKNER, H.-J.; SCHINKEL, W., PFLAUM-BAUM, M. und G. STETS:** Zur optimalen Zuordnung von Arbeitskräften und Maschinen transportverbundener Fließarbeitsverfahren mit Hilfe der gemischt-ganzzahligen Optimierung.  
in: Beiträge über technologische Arbeitsmittel zur Einführung industriemäßiger Verfahren in der Pflanzenproduktion, S. 10 -19, 1970
- [65] **KATH-PETERSEN, W.:** Leistungsfähige und bodenschonende Erntetechnik für Miscanthus. Kiel, Universität Kiel, Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Dissertation, 1994
- [66] **KLAUS, H. und J. PAUSE:** Arbeitsstudium, Arbeitsgestaltung und Arbeitsnormung in kooperierenden sozialistischen Landwirtschaftsbetrieben - Material für Praxis und Lehre. Gundorf, Inst. für Landw. Betriebs- und Arbeitsökonomik, Bericht, 1968
- [67] **KOWALEWSKY, H.-H.:** Was kosten ihre Maschinen wirklich?. profi (1992) H. 10, S. 72 - 74
- [68] **KRAUSE, V.:** Anleitung für Zeitstudien in der Landwirtschaft. Landarbeit und Technik (1964) H. 34, S. 45-84
- [69] **LENGE, R.:** PowerPress von Deutz-Fahr: Brauchen wir eine selbstfahrende Presse?- top agrar (1995) H. 7, S. 74 - 77
- [70] **LISTE, H.-J.:** Biotopverbesserung auf der Ackerfläche - gemeinsame Aufgaben der Landwirtschaft und der Jäger. Unsere Jagd 39 (1989) H. 5, S. 136-140
- [71] **LISTE, H.-J.:** Feldeinteilung und Schlaggestaltung in der Fruchtfolge - Schlaggruppen statt Riesenschläge. Neue Landwirtschaft (1992) H. 1, S. 35 - 37
- [72] **LOO van, L.:** Demo Harsewinkel - Nieuwe generatie Claas hakselaars.- Landbouwmecanisaatie (1993) H. 12, S. 30 - 31
- [73] **LÜTH, B.:** Beitrag zur Objektivierung der Entscheidungsfindung bei der Auswahl landtechnischer Arbeitsmittel. Rostock, Universität Rostock, Dissertation, 1982
- [74] **LÜTH, B.:** Methodische Grundlagen zur Bewertung technologischer Verfahren, dargestellt am Beispiel der Futterernte und -konservierung. Wiss. Z. Univ. Rostock (1978) H. 3, S. 285 - 288
- [75] **MACHER, F. et. al.:** Methoden und Verfahren des Arbeitsstudiums. Berlin, Verlag Die Wirtschaft, 224 S., 1974
- [76] **MÄTZOLD, G.; SCHÖNKNECHT, R.; DOWE, H. und LUDLEY, H.:** Zur Anwendung des Begriffes "Kapazität" in der Wissenschaftsdisziplin Technologie. Wiss. Z. Univ. Rostock (1978) H. 3, S. 277 - 280
- [77] **MAUERSBERGER, V.:** Neue Schlaggestaltung - Erfordernisse und Möglichkeiten. Neue Landwirtschaft (1994) H. 8, S. 44-45
- [78] **MEIBER, J.:** Kalkulationsdaten für die Bodenbearbeitung in Großbetrieben. Landtechnik 49 (1994a) 1, S. 10-13

- [79] **MEIßER, J.:** Maschinenkosten richtig planen. dlz (1994b) H. 1, S. 13 - 16
- [80] **MEYER, M.:** Untersuchungen des subjektiven Einflusses auf die Arbeitsgeschwindigkeit und die Flächenleistung der Mährescher E 512 und E 516. Halle, Universität Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Diplomarbeit, 1986
- [81] **MORRIS, J.:** Tractor depreciation, repair and holding costs: A casa study. Balkema, Rotterdam, Land and Water Use, Dodd & Grace (eds), S. 2647 - 2651, 1989
- [82] **MÜHREL, K.:** Transportketten: Grundsätze und methodische Grundlagen. Landtechnik 49 (1994) H. 5, S.266-267
- [83] **MÜHREL, K.:** Transport, Umschlag und Lagerung in der Landwirtschaft. Berlin, Berlag Technik, 1. Auflage, 1983
- [84] **MÜLLER, M.:** Technologische Grundlagen für die Landwirtschaft. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1. Auflage, 119 S., 1989
- [85] **MÜLLER, M. und A. PROCHNOW:** Zur Bewertung von Maschinen und Verfahren in der Pflanzenproduktion. Agrartechnische Forschung 2 (1996) H. 1, S. 70-77
- [86] **MÜLLER, M.; MÄTZOLD, G. und M. EBERHARDT:** Zeitanalyse für landtechnische Arbeitsmittel. agrartechnik 32 (1982) H. 11, S. 519 - 520
- [87] **OTTO, R., R. SCHNEIDER und R. DIEMANN:** Agrarstrukturelle Vorplanung Querfurter Platte. Landgesellschaft mbH Sachsen-Anhalt. Jena, Bericht, 1995
- [88] **PAPESCH, J.:** Anleitung zum Erarbeiten eines technologischen Projektes. Halle, Martin-Luther-Universität, WB Mechanisierung und Technologie, Arbeitsmaterial, 1984
- [89] **PAPESCH, J. und A. HERRMANN:** Arbeitswirtschaftlicher Vergleich von drei Welkguternteverfahren mit unterschiedlichen Varianten von selbstfahrenden Feldhäckslern als Schlüsselmaschine. Halle, Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Bericht, 1994
- [90] **PAPESCH, J. und A. HERRMANN:** Eingliederung des Quaderballenladewagens BLW 2.2 in die Verfahren der Strohernte Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Studie, 37 S., 1995
- [91] **PICCAROLO, P., CALVO, A. und S. DEL TREPPO:** Use of automatic computation in agricultural machinery data management. Balkema, Rotterdam, Land and Water Use, Dodd & Grace (eds), S. 2661 - 2667, 1989
- [92] **REISCH, E.:** Betriebs- und Marktlehre. Stuttgart, E. Ulmer-Verlag, 1984
- [93] **REISCH, E., GEKLE, L. und F.-M. LITZKA:** Ökonomische Beurteilung und organisatorische Einordnung verschiedener Transportverfahren. Grundl. Landtechnik 30 (1980) H. 4, S. 140 - 146
- [94] **RÖHNER, J.:** Zur Methodik der Zeitstudie in der Landwirtschaft. Landarbeit und Technik (1956) H.21, S. 29-76
- [95] **ROTH, D.:** Agrarraumgestaltung und Landschaftspflege in den neuen Bundesländern. Feldwirtschaft 30 (1991) H. 5, S. 203-206

- [96] SAHNEN, R.: Der Vergleich der Arbeitsgeschwindigkeiten und Flächenleistungen in der Grundzeit  $T_1$  der Mähdrescher E 512 (4,20 m Schneidwerk, 5,70 m Schneidwerk) E 514 (4,20 m Schneidwerk, 4,80 m Schneidwerk) und E 516 (6,70 m Schneidwerk) in der LPG(P) "Friedenshort" Nauendorf. Halle, Universität Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Diplomarbeit, 1986
- [97] SCHANZ-KÖLSCH, W.: Ein Unternehmen mit Zukunft - Maschinenringe beschreiten neue Wege / Bundestagung in Coswig. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 186 (1996) H. 30, S. 28-29
- [98] SCHIMMING, J.: Neue Zeitgliederung in der Land- und Forstwirtschaft. agrartechnik 25 (1975) H. 8, S. 402-403
- [99] SCHMID, H.: Zeitgliederung für Transport und Umschlag in der Landwirtschaft. agrartechnik 27 (1977) H. 7, S. 297-300
- [100] SCHNURRBUSCH, G.: Schlaggestaltung und Schlaggröße aus landeskultureller Sicht. Feldwirtschaft 32 (1991) H. 5, S. 206 und 208
- [101] SCHÖN, H.: Perspektiven im Forschungsbereich Agrartechnik - universitäre Forschung. agrarspectrum Schriftenreihe, Band 26, S. 89 - 104, 1997
- [102] SCHÖN, H. et. al.: Landtechnik/Bauwesen. München, BLV Verlagsgesellschaft mbH, 9. völlig neubearbeitete und erw. Auflage, 1998
- [103] SCHWARZBACH, R. und G. JALAB: Zeitbedarf von Feldarbeiten - Arbeitskalkulation bei mechanisierten Feldarbeiten in den neuen Bundesländern. Landtechnik 46 (1991) H. 5, S. 237-238
- [104] SCHWARZBACH, R. und G. JALAB: Zeitgliederung in der Landwirtschaft - Begriffe, Kurzzeichen, Erläuterungen. Rostock, Universität Rostock, Überarbeitungsentwurf der TGL 22289, 1990
- [105] SEEDORF, W.: Die Vervollkommnung der Landarbeit und die bessere Ausbildung der Landarbeiter unter besonderer Berücksichtigung des Taylor-Systems. Sonderdruck aus dem Jahrbuch für Wohlfahrtsarbeit auf dem Lande, 2. Heft des Archivs der Landarbeiterfrage, 1919
- [106] SMUKALSKI, M., S. DRECHSLER und M. KLEDITZSCH: Grundsätze für die Schlageinteilung und Ermittlung der Schlaggröße im Rahmen komplexer Acker- und Meliorationssysteme. Feldwirtschaft 9 (1968) H. 12, S. 540-543
- [107] SOMMER, C. und H. SCHÖN: Agrartechnische Forschung - quo vadis?. Braunschweig, Internationale Tagung Landtechnik am 16./17. Oktober 1997, Tagungsband Nr. 1356, S. 3 - 6, 1997
- [108] SORGE, R.: Technisch-technologische Untersuchungen ausgewählter Umschlagmittel zur Einlagerung von Stroh und ihre Einordnung in die Verfahren der Strohernte. Halle, Universität Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Dissertation B, 1990
- [109] SORGE, R. und A. HERRMANN: Wann lohnen sich Quaderballen ? . DLG-Mitteilungen 107 (1992) H. 7, S. 36 - 38
- [110] SORGE, R. und A. HERRMANN: Quader- und Rundballenpressen - lohnend für eine wirtschaftliche Strohernte. Neue Landwirtschaft (1993) H. 6, S. 75 - 78

- [111] **SORGE, R.; HERRMANN, A.; HOFMANN, L. und B. NEITZ:** Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Einsatz von Maschinen der Claas oHG in der Getreideernte 1990 -Teil II: Rundballenpresse Rollant 66. Halle, MLU Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Erprobungsbericht, 1990
- [112] **SORGE, R.; HERRMANN, A. und L. HOFMANN:** Verfahrenstechnische Untersuchungen zum Umschlag von Rundballen mit dem Traktor Fendt 365 GTA. Halle, MLU Halle-Wittenberg, WB Mechanisierung und Technologie, Erprobungsbericht, 1991
- [113] **SORGE, R.; HERRMANN, A.; NEITZ, B. und A. BACHNER:** Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Einsatz der Rundballenpresse KR 130 Mini-stop der Maschinenfabrik Bernhard Krone GmbH in der Futter- und Strohernte 1991 und 1992. Halle, MLU Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik, Forschungsbericht, 1992a
- [114] **SORGE, R.; HERRMANN, A.; NEITZ, B.; HOFMANN, L. und A. BACHNER:** Verfahrenstechnische Untersuchungen beim Einsatz der Rundballenpresse Claas Rollant 46 silage in der Futter- und Strohernte. Halle, MLU Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik, Forschungsbericht, 1992b
- [115] **SVENSSON, J.E.T.:** Maintenance costs for farm machinery. Balkema, Rotterdam, Land and Water Use, Dodd & Grace (eds), S. 2669 - 2671, 1989
- [116] **THURM, R.:** Technologie der landwirtschaftlichen Produktion. Berlin, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, 381 S., 1970
- [117] **UPPENKAMP, N.:** Kalkulation von Arbeitszeit- und Maschinenkosten im Einzelbetrieb. Landtechnik 50 (1995) H. 1, S. 48 - 49
- [118] **VENTURI, P., HUISMAN, W. und MOLENAAR, J.:** Mechanization and Costs of Primary Production Chains for Miscanthus x giganteus in The Netherlands. J. agric. Engineering Research 69 (1998) H. 3, S. 209 - 215
- [119] **WEIERSHAEUSER, L.:** Repair costs for farm machinery in cost calculations. Balkema, Rotterdam, Land and Water Use, Dodd & Grace (eds), S. 2673 - 2679, 1989
- [120] **WEIERSHÄUSER, L.:** Verbesserung einfacher Maschinenkostenkalkulationen, wo anfangen und wo aufhören?. Landtechnik 45 (1990) H. 11, S. 417 - 419
- [121] **WILD, K. und H. AUERNHAMMER:** Ansätze zur automatisierten Arbeitszeitermittlung bei Feldarbeiten. Landtechnik 51 (1996) H. 4, S. 198-190
- [122] **WINTER, K.:** Die Bedeutung der Logistik in flächenreichen Großbetrieben. Halle (Saale), VDI-MEG Kolloquium Agrartechnik "Transport und Umschlag landwirtschaftlicher Güter" am 10./11. Dezember 1996, Tagungsband Heft 26, S. 25 - 30, 1996
- [123] **WINTER, K.:** Leistung und Kosten von Arbeitsverfahren in Großbetrieben. Kiel, Universität Kiel, Dissertation (Manuskript), o. J.
- [124] **WISSING, P. und O. SCHMIDT:** Landwirtschaftliche Betriebslehre - Grundlagen der landwirtschaftlichen Betriebslehre Teil II. Dresden, Zentralstelle für Hochschulfernstudium, 1. Auflage, 90 S., 1991
- [125] **...:** Ausgewählte Methoden des Arbeitsstudiums. München, REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Carl-Hanser-Verlag, 1. Auflage, 382 S., 1993

- [126] ...: A Farmer does not want to be dependent... - Abbekerk (Niederlande), Prospekt Fa. HARTOG B.V., Green Forage Dryers, o. J.a
- [127] ...: Kontinuierlich häckseln - Zwischenbunker für den Standardhäcksler. Eilbote (1997) H. 47, S. 30
- [128] ...: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, 18. Auflage, 1996/97
- [129] ...: Récolteuses Industrielles - Trémie et Sellette.- Prospekt Fa. CMC, o. J.b
- [130] ...: RS 3427-72: RGW-Empfehlung zur Standardisierung von Land- und Forstmaschinen; Betriebsbewertung; Methoden der Zeitmessung und Bestimmung der Kennziffern. Moskau, 1972
- [131] ...: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen. Düsseldorf, VDI-Hauptgruppe Der Ingenieur in Beruf und Gesellschaft, VDI-Richtlinie 3780, 1991a
- [132] ...: Technikbewertung - Begriffe und Grundlagen, Erläuterungen und Hinweise zur VDI-Richtlinie 3780. Düsseldorf, VDI-Ausschuß "Grundlagen der Technikbewertung", 95 S., 1991b
- [133] ...: TGL 42200/03 - Flurmeliorationen - Schutz des Ackerlandes vor Erosion. Verlag für Standardisierung, Fachbereichsstandard, 1983
- [134] ...: TGL 80 - 22290 - Technologie Landwirtschaft - Begriffe. Verlag für Standardisierung, Fachbereichsstandard, 1969
- [135] ...: TGL 22290 - Technologische Begriffe der Landwirtschaft. Verlag für Standardisierung, Fachbereichsstandard, 1976
- [136] ...: TGL 22290 - Terminologie der Technologie - Grundbegriffe. Verlag für Standardisierung, Fachbereichsstandard, 1984
- [137] ...: TGL 80-22289 - Zeitgliederung in der Landwirtschaft - Begriffe, Kurzzeichen, Erläuterungen. Berlin, Staatsverlag der DDR, Fachbereichsstandard, 1970
- [138] ...: TGL 22289 - Zeitgliederung in der Land- und Forstwirtschaft - Begriffe, Kurzzeichen, Erläuterungen. Berlin, Staatsverlag der DDR, Fachbereichsstandard, 1974
- [139] ...: TGL 2860-56 - Zeitgliederung in der Produktion. Berlin, Staatsverlag der DDR, DDR-Standard, 1956

## Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Prozeß-, Verfahrens- und Maschineneinheiten (in Anlehnung an HERRMANN, K. und SORGE 1992 sowie TGL 22290)	18
Abb. 2: Gliederung des verfahrenstechnischen Leistungsbegriffes	21
Abb. 3: Systematik transportverbundener Arbeitsverfahren (nach FLEISCHER, 1967)	30
Abb. 4: Allgemeines Maschinenfolgeschema zur Darstellung der Verknüpfungsmöglichkeiten zwischen Ernte und Transport	33
Abb. 5: Zeitgliederung nach TGL 22289 (vgl. ANONYM 1974)	42
Abb. 6: Struktur des Kostenmodells für die Welkguternte mit dem Feldhäcksler im Parallelverfahren	46
Abb. 7: Welkguternte im Parallelverfahren: Ernte mit Feldhäcksler und Transport mit LKW+Anhänger	82
Abb. 8: Struktur des Leistungsmodells für die Welkguternte mit dem Feldhäcksler im Parallelverfahren	84
Abb. 9: Masseleistung $\dot{m}_{T1E}$ und $\dot{m}_{T02E}$ sowie Arbeitsgeschwindigkeit $v$ eines Feldhäckslers im Parallelverfahren in Abhängigkeit vom Welkgutertrag $m_A$ (Schlaglänge $s_1 = 800$ m)	86
Abb. 10: Schwadmasse $m_s$ in Abhängigkeit vom Schwadabstand $b_{eff}$ und vom Ertrag $m_A$	87
Abb. 11: Masseleistung eines Feldhäckslers $\dot{m}_{T1E}$ und $\dot{m}_{T02E}$ und einer Transporteinheit $\dot{m}_{T02T}$ sowie die kritische Transporteinheitenanzahl $n_{TEK}$ in Abhängigkeit von der Schlaglänge $s_1$ (Ertrag $m_A = 10$ t/ha; Schwadabstand $b_{eff} = 5$ m; Transportentfernung $s_T = 10$ km)	88
Abb. 12: Transportleistung $\dot{m}_{T02T}$ in Abhängigkeit von der Transportgeschwindigkeit $v$ und von der Lademasse $m_L$ bei unterschiedlichen Leistungen der Erntemaschine und Transportentfernungen	91

	Seite
Abb. 13: Masseleistung eines Feldhäckslers $\dot{m}_{\text{TiE}}$ in der Grundzeit $T_1$ , in der Operativzeit $T_{02}$ und in der Gesamtarbeitszeit $T_{08}$ , jährliche Einsatzfläche sowie Kosten der Arbeitserledigung für die Arbeitsgänge Häckseln und Transport in Abhängigkeit von der Schlaggröße (jährliche Einsatzzeit $\text{Ausn} = 1200 \text{ h/a}$ ; Transportentfernung $s_T = 10 \text{ km}$ ; Anzahl Transporteinheiten $n_{\text{TE}} = 4$ )	94
Abb. 14: Arbeitszeitbedarf ( $T_{\text{WA}}$ ) für die Arbeitsgänge Häckseln und Transport in der erweiterten Operativzeit $T_{025}$ sowie Kosten der Arbeitserledigung ( $K_{\text{AE}}$ ) für das Gesamtverfahren in Abhängigkeit von der Transporteinheitenanzahl ( $n_{\text{TE}}$ )	97
Abb. 15: Arbeitszeitbedarf, Kosten der Arbeitserledigung und jährliche Einsatzfläche bei der Welkguternte in Abhängigkeit von der Transportentfernung	99
Abb. 16: Strohernte mit Quaderballen im absätzigen Verfahren	102
Abb. 17: Struktur des Leistungsmodells für die Halmguternte mit einer Quaderballenpresse und für den Ballentransport mit Quaderballenladewagen	104
Abb. 18: Struktur des Leistungsmodells für den Quaderballentransport im transportverbundenen Fließarbeitsverfahren (Umschlagmittel Beladung + Transportfahrzeuge + Umschlagmittel Entladung) [Auszug]	105
Abb. 19: Masseleistung $\dot{m}_{T1}$ und Geschwindigkeit $v$ einer Quaderballenpresse in Abhängigkeit vom Strohertrag $m_A$ bei einem Schwadabstand $b_{\text{eff}}$ von 6,30 m	107
Abb. 20: Kosten der Arbeitserledigung beim Einsatz einer Quaderballenpresse in Abhängigkeit von der Schlaggröße	110
Abb. 21: Masseleistung $\dot{m}_{T02j}$ bei der Beladung, Entladung und beim Transport von Quaderballen (Ballenabmessungen: $l = 2,20 \text{ m}$ , $b = 1,20 \text{ m}$ , $h = 1,20 \text{ m}$ )	113
Abb. 22: Masseleistung beim Transport von Quaderballen $\dot{m}_{T02T}$ in Abhängigkeit von der Transportentfernung (Ballenabmessungen: $l = 2,20 \text{ m}$ , $b = 1,20 \text{ m}$ , $h = 1,20 \text{ m}$ und $l = 2,20 \text{ m}$ , $b = 1,20 \text{ m}$ , $h = 0,80 \text{ m}$ )	116
Abb. 23: Jährliche Einsatzzeit für die Strohernte mit Quaderballen und Anzahl der eingesetzten Transportmittel (Erntefläche 500 ha; Ballenabmessungen: $l = 2,20 \text{ m}$ , $b = 1,20 \text{ m}$ , $h = 1,20 \text{ m}$ )	117

	Seite
Abb. 24: Arbeitszeitbedarf $T_{WA}$ in der erweiterten Operativzeit $T_{025}$ im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der Transportentfernung unter Berücksichtigung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit $t_{25}$ (Ballenabmessungen: $l = 2,20$ m, $b = 1,20$ m, $h = 1,20$ m)	120
Abb. 25: Arbeitszeitbedarf $T_{WA}$ in der erweiterten Operativzeit $T_{025}$ im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der Transportentfernung unter Berücksichtigung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten $t_{25}$ (Ballenabmessungen: $l = 2,20$ m, $b = 1,20$ m, $h = 1,20$ m; 4 konventionelle Transporteinheiten)	121
Abb. 26: Kosten der Arbeiterledigung im Arbeitsverfahren Strohernte mit Quaderballen in Abhängigkeit von der transportentfernung (Erntefläche 500 ha/a; Ballenabmessungen: $l = 2,20$ m, $b = 1,20$ m, $h = 1,20$ m)	123
Abb. 27: Kosten der Arbeiterledigung beim Umschlag und Transport von Quaderballen in Abhängigkeit von der jährlichen Erntefläche (unterschiedliche Ballenabmessungen und Transportentfernungen)	125
Abb. 28: Kornernte mit und ohne Einsatz eines Überladewagens	127
Abb. 29: Masseleistung eines Überladewagens und der Mähdrescher (1 bis 4 Mähdrescher im Komplex) in der Operativzeit $T_{02}$ in Abhängigkeit von der Schlaglänge $s_1$	131
Abb. 30: Masseleistung eines Mähdreschers in der erweiterten Operativzeit $T_{02}$ und jährliche Einsatzzeit von drei Mähdreschern im Komplex zur Ernte von 1500 ha Getreide (Variante mit und ohne Überladewagen)	132
Abb. 31: Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte und Arbeitszeitbedarf im Gesamtverfahren Getreideernte (Variante mit und ohne Überladewagen, Komplexeinsatz von 3 Mähdreschern, Transportentfernung 12 km)	134
Abb. 32: Kosten der Arbeiterledigung im Gesamtverfahren der Getreideernte (Variante mit und ohne Überladewagen, Einsatz von 1 bis 3 Mähdreschern im Komplex, Kornertrag 6 t/ha, Transportentfernung 12 km)	135
Abb. 33: Jährlichen Ausnutzung einer Maschine bei Verlängerung der Einsatzzeit im untersuchten Arbeitsgang (zwei Varianten)	149
Abb. 34: Mögliche Anwendungsgebiete des Leistungs- und Kostenmodells	155

## Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: Kriterienkomplexe für die Bewertung von Verfahren (verschiedene Quellen)	16
Tab. 2: Verfahrenstechnische Untersuchungen zu den Arbeitsgängen Ernte, Umschlag und Transport	37



# A N H A N G



## Verzeichnis der Anlagen

Abb. A1: Entwicklung der Arbeitszeitgliederung in der deutschen Landwirtschaft

Abb. A2: Arten der Arbeitszeitstudien (nach KRAUSE 1964)

Abb. A3: Entwicklung der Arbeitszeitgliederung im Westteil Deutschlands

Abb. A4: Zeitgliederung für Transport und Umschlag (nach SCHMID 1977)

Abb. A5: Systematik der Transportverfahren (nach GINDELE, 1972)

Abb. A6: Vergleich zwischen den Zeitgliederungen der TGL 22289 und der KTBL-Methode

Abb. A7: Entwurf eines gemischten Zeitgliederungsschemas

Tab. A1: Zeitgliederungsschema für Pressen, Umschlag und Transport von Großballen (absätziges Verfahren)

Tab. A2: Zeitgliederungsschema Feldhäcksler (Parallelverfahren)

Tab. A3: Zeitgliederungsschema Getreideernte (bedingt absätziges Verfahren)

Tab. A4: Ausgangsdaten für die Kalkulation im Parallelverfahren

Tab. A5.1: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 1: Traktor + Quaderballenpresse, Umschlagmittel Feld, Traktoren mit 2 Universalanhängern, Umschlagmittel Lager)

Tab. A5.2: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 2: Traktor + Quaderballenpresse + Sammelwagen, Umschlagmittel Feld, Traktoren mit 2 Universalanhängern, Umschlagmittel Lager)

Tab. A5.3: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 3: Traktor + Quaderballenpresse, Traktor(en) mit Quaderballenladewagen)

Tab. A6: Ausgangsdaten für die Kalkulation im bedingt absätzigen Verfahren (Mähdrescher + Überladewagen + Transport-LKW)

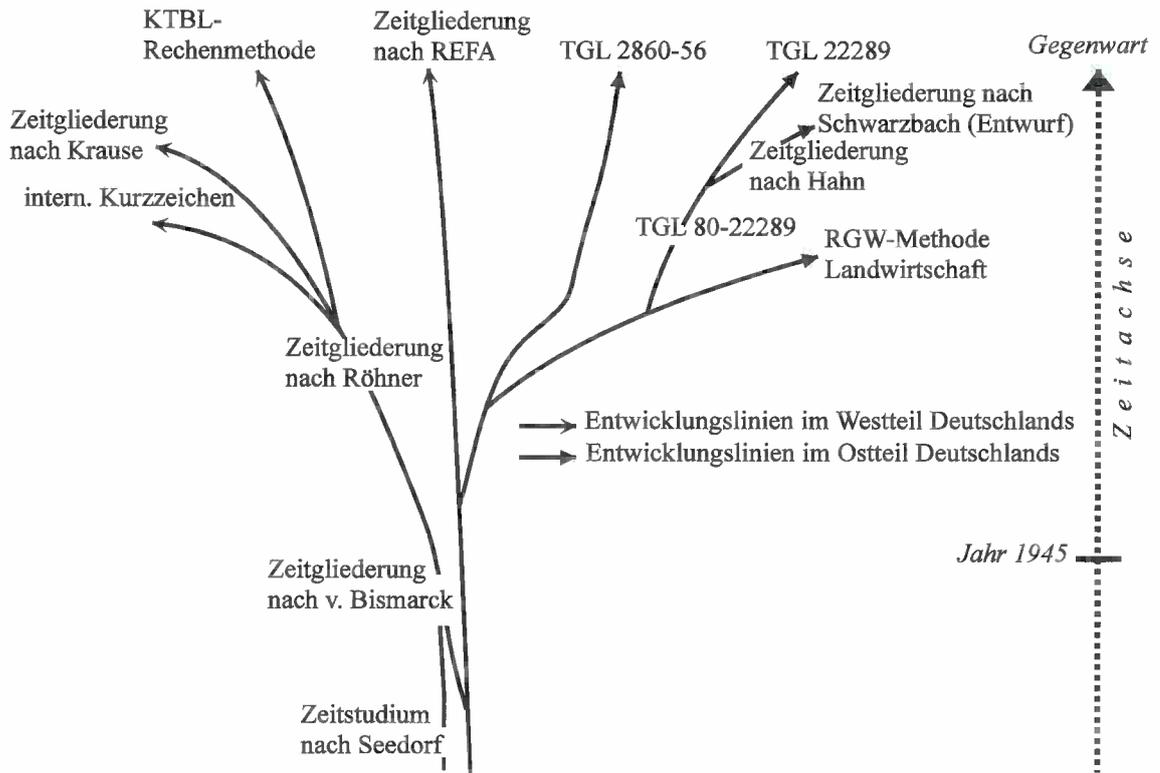


Abb. A1: Entwicklung der Arbeitszeitgliederung in der deutschen Landwirtschaft

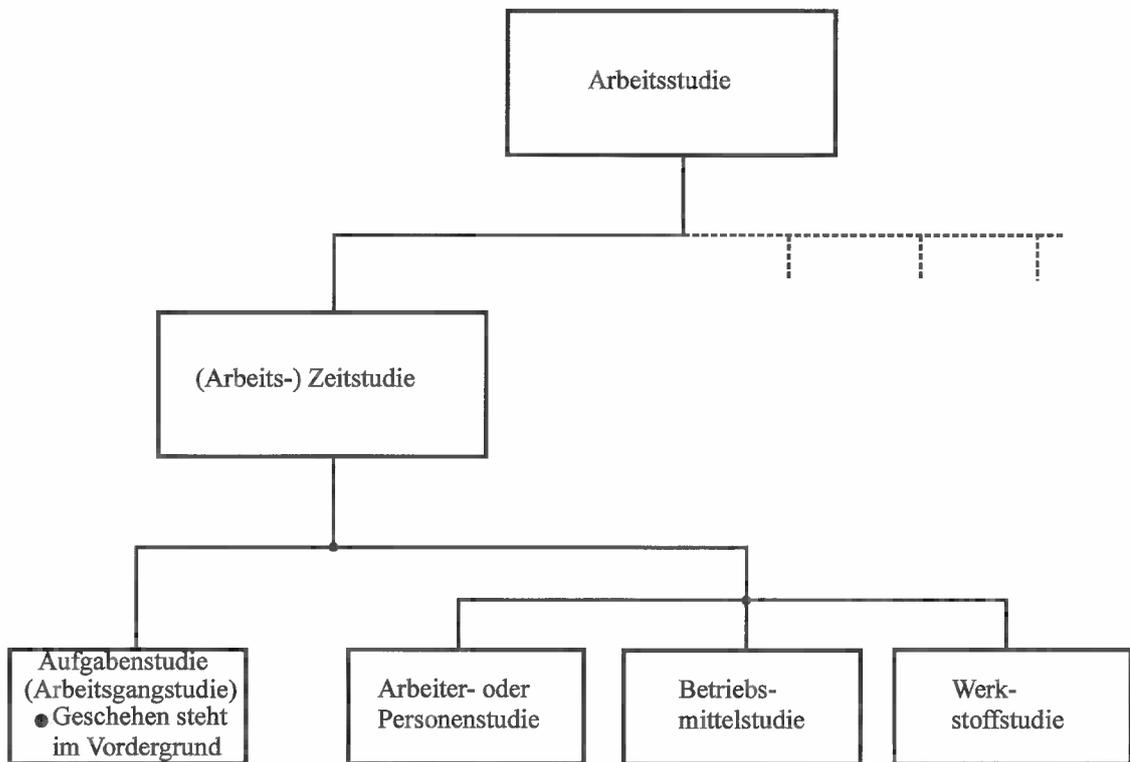


Abb. A2: Arten der Arbeitszeitstudien (nach KRAUSE 1964)

Rüstzeit	Rüstzeit	Rüstzeit auf dem Hof am Ort	Rüstzeit auf dem Hof am Ort
Hauptzeit	Hauptzeit	Hauptzeit	Hauptzeit
Nebenzeit	Wegezeit	Wegezeit	Wegezeit Hof-Feld Feld-Feld
Verlustzeit	Nebenzeit Wendezeit Versorgungszeit Inganghaltungszeit Erholungszeit	Nebenzeit Wendezeit Versorgungszeit Inganghaltungszeit Erholungszeit	Nebenzeit Wendezeit Versorgungszeit fixe Nebenzeit
Abb. A3	Verlustzeit Unfallzeit arbeitsunabhängige V. Bummelei Fehldisposition	Verlustzeit - nicht vermeidbare V. Unfallzeit pers. bedingte V. örtl. bedingte Wartezeit. - vermeidbare V. Bummelei Fehldisposition	Verlustzeit nicht vermeidbare Verlustzeit  Ablaufbedingte Wartezeit
V. BISMARCK U. BUCHHOLZ 1931	RÖHNER 1956	KRAUSE 1964	JÄGER 1991 (KTBL-Rechenmethode)

Abb. A3: Entwicklung der Arbeitszeitgliederung im Westteil Deutschlands

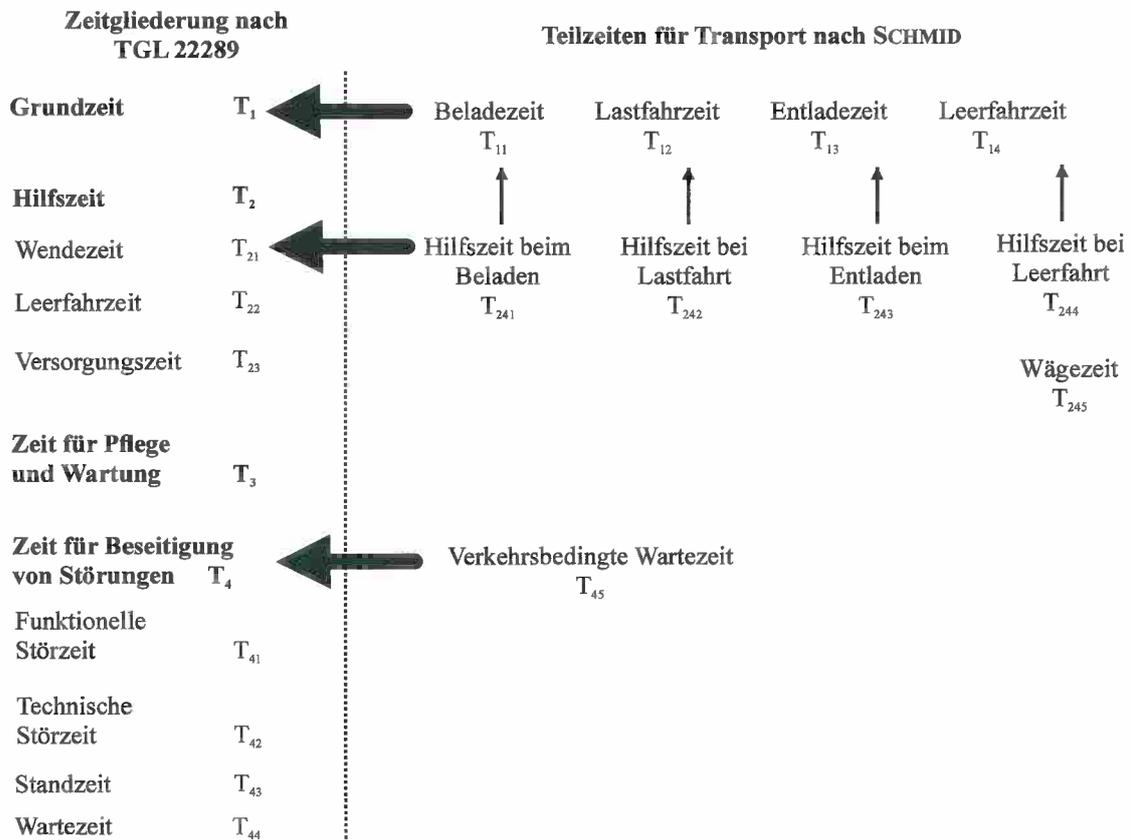


Abb. A4: Zeitgliederung für Transport und Umschlag (nach SCHMID 1977)

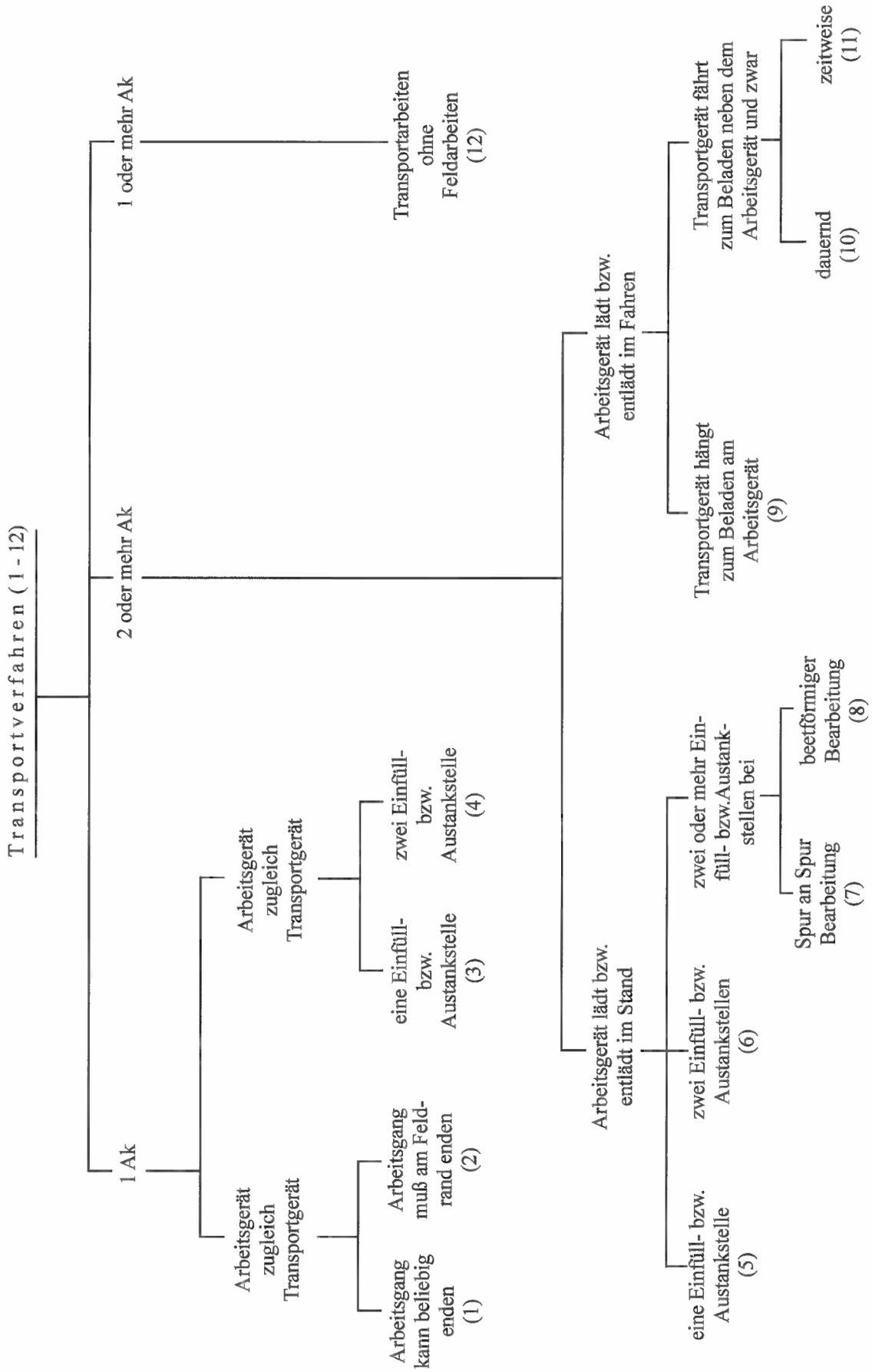


Abb. A5: Systematik der Transportverfahren (nach GINDELE, 1972)

● <u>Grundzeit</u>	T1	←→	● <u>Hauptzeit</u>	H
● <u>Hilfszeit</u>	T2	←→	● <u>Nebenzeit</u>	N
Wendezeit	T21		Wendezeit	NW
Fahrt am Arbeitsort	T22		Versorgungszeit	NV
Versorgungszeit	T23		fixe Nebenzeit	FNz
● <u>Zeit für Pflege und Wartung</u>	T3	←→	● <u>Rüstzeit</u>	R
Zeit für Pflege u. Wartung	T31	←→	auf dem Hof	RaH
Vorbereitungszeit	T32	↘	am Ort	RaO
Einstellzeit	T33	↘		
● <u>Störzeit</u>	T4	←→	● <u>Verlustzeit</u>	V
Funktionelle Störzeit	T41	↘	nicht vermeidbare	Vn
Technische Störzeit	T42	↘	Verlustzeiten	
Standzeit	T43			
Wartezeit	T44	←→	● <u>Ablaufbedingte Wartezeit</u>	—
● <u>Erholungszeit</u>	T5			
● <u>Wegezeit</u>	T6	←→	● <u>Wegezeit</u>	W
Standort-Arbeitsort	T61		Wegezeit Hof - Feld	—
Arbeitsort-Arbeitsort	T62		Wegezeit Feld - Feld	—
● <u>Zeit für Pflege und Wartung der mit der Prüfmaschine aggregierten Maschine</u>	T7			
● <u>Standzeit</u>	T8			
aus organis. Gründen	T81		vermeidbare Verlustzeit	Vv
aus witterungb. Gründen	T82			
aus anderen Gründen	T83			

Abb. A 6: Vergleich zwischen den Zeitgliederungen der TGL 22289 und der KTBL-Methode

● Grundzeit <i>Transport: <math>T_{11}</math> <math>T_{12}</math> <math>T_{13}</math> <math>T_{14}</math></i>	$T_1$
● Hilfszeit Wendezeit Fahrt am Arbeitsort Versorgungszeit <i>Transport: <math>T_{241}</math> bis <math>T_{244}</math></i> <b>Zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit</b>	$T_2$ $T_{21}$ $T_{22}$ $T_{23}$ $T_{25}$
● Zeit für Vorbereitung, Abschluß u. Einstellungen am Arbeitsort (Feld)	$T_3$
● Störzeit Funktionelle Störzeit Technische Störzeit Standzeit	$T_4$ $T_{41}$ $T_{42}$ $T_{43}$
● Erholungszeit	$T_5$
● Wegezeit Standort-Arbeitsort Arbeitsort-Arbeitsort	$T_6$ $T_{61}$ $T_{62}$
● <b>Vorbereitungs- und Abschlußzeit</b>	$T_7$
● Standzeit, nicht von Arbeitsmitteln abhängig aus organis. Gründen aus witterungsbed. Gründen aus anderen Gründen	$T_8$ $T_{81}$ $T_{82}$ $T_{83}$
<b>Zeitsummen:</b> $T_1 + T_2 = T_{02}$	<b>Operativzeit</b>
$T_{02} + T_{25} = T_{025}$	<b>erweiterte Operativzeit</b>
$T_{02} + T_3 = T_{03}$	<b>bzw.</b>
$T_{025} + T_3 = T_{03}$	<b>störungsfreie Produktionsarbeitszeit</b>
$T_{03} + T_4 = T_{04}$	<b>Produktionsarbeitszeit</b>
$T_{04} + T_5 = T_{05}$	<b>Stückzeit, Feldarbeitszeit</b>
$T_{05} + T_6 + T_7 = T_{07}$	<b>Einsatzzeit</b>
$T_{07} + T_8 = T_{08}$	<b>Gesamtarbeitszeit</b>

Abb. A7: Entwurf eines gemischten Zeitgliederungsschemas

Tab. A1: Zeitgliederungsschema für Pressen, Umschlag und Transport von Großballen  
(absätziges Verfahren)

Zeitgliederungsschema Pressen

$t_{11}$	Zeit zum Pressen eines Ballens
$t_{12}$	Zeit für Binden und Ausstoßen eines Ballens sowie Schließen der Preßkammer (nur Rundballenpresse)
$t_{21}$	Zeit je Wendung
$t_{22}$	Zeit für eine Fahrt am Arbeitsort
$t_{23}$	Zeit zum Auffüllen von Bindegarn
$t_{41}$	Zeit zur Beseitigung funktioneller Störungen (z.B. Verstopfung)

Zeitgliederungsschema Ballenumschlag

$t_{11}$	Zeit für Lastbewegung je Ballen
$t_{12}$	Zeit für Leerbewegung je Ballen
$t_{24}$	Umstapeln, Rangieren, Manipulieren

Zeitgliederungsschema Ballentransport

$t_{11}$	Zeit für Beladung einer Transporteinheit
$t_{121}$	Zeit für Lastfahrt auf dem Feld
$t_{122}$	Zeit für Lastfahrt auf der Straße
$t_{13}$	Zeit für Entladung einer Transporteinheit
$t_{142}$	Zeit für Leerbewegung auf der Straße
$t_{141}$	Zeit für Leerbewegung auf dem Feld
$t_{241}$	Hilfszeit am Beladeort
$t_{243}$	Hilfszeit am Entladeort

Tab. A2: Zeitgliederungsschema Feldhäcksler (Parallelverfahren)

$t_1$	Zeit zum Beladen einer Transporteinheit
$t_{21}$	Zeit je Wendung
$t_{22}$	Leerbewegung auf dem Feld
$t_{23}$	Zeit zum Wechseln der Transporteinheit

Tab. A3: Zeitgliederungsschema Getreideernte (bedingt absätziges Verfahren)

## Zeitgliederungsschema Transport (Überladewagen)

$t_{11}$	Beladen durch Mähdrescher
$t_{12}$	Lastfahrt des voll beladenen Überladewagens vom Mähdrescher zur Transporteinheit
$t_{13}$	Zeit für Entladen des Überladewagens
$t_{14}$	Leerfahrt des Überladewagens von der Transporteinheit zum Mähdrescher
$t_{21F}$	Hilfszeit beim Beladen (Fahrt zwischen den Mähdreschern)
$t_{21S}$	Hilfszeit beim Beladen (Standzeit zwischen den Bunkerbefüllungen)
$t_{22}$	Hilfszeit bei der Lastfahrt vom Mähdrescher zur Transporteinheit
$t_{23}$	Hilfszeit beim Entladen des Überladewagens (Rangieren)
$t_{24}$	Hilfszeit bei der Leerfahrt des Überladewagens von der transporteinheit zum Mähdrescher

## Zeitgliederungsschema Transport (Standfahrzeug, Beladung durch Überladewagen)

$t_{11}$	Beladen durch Überladewagen
$t_{12}$	Lastfahrt vom Standort zum Straßenrand
$t_{13}$	-
$t_{14}$	Leerfahrt vom Straßenrand zum Standort
$t_{21F}$	Hilfszeit beim Beladen (Vorrücken zwischen den Beladungen durch Überladewagen)
$t_{21S}$	Hilfszeit beim Beladen (Standzeit zwischen den Beladungen durch Überladewagen)
$t_{44}$	Wartezeit bis zur ersten Überladewagenfüllung

## Zeitgliederungsschema Transport (Straßentransportfahrzeug, Beladen im Parallelverfahren)

$t_{11F}$	Abbunkern während der Fahrt
$t_{11S}$	Abbunkern im Stand
$t_{12}$	Lastfahrt vom Mähdrescher zum Feldrand
$t_{13}$	-
$t_{14}$	Leerfahrt vom Feldrand zum Mähdrescher
$t_{21F}$	Hilfszeit beim Beladen (Vorrücken zwischen den Beladungen durch Mähdrescher)
$t_{21S}$	Hilfszeit beim Beladen (Standzeit zwischen den Beladungen durch Mähdrescher)
$t_{44}$	Wartezeit bis zur ersten Bunkerfüllung

Tab. A4: Ausgangsdaten für die Kalkulation im Parallelverfahren

<u>Bezeichnung</u>	<u>Formelzeichen</u>	<u>Betrag</u>	<u>Einheit</u>
<b>betriebl. Einsatzbedingungen</b>			
Welkgutertrag	$m_A$	10	t/ha
Schwadabstand	$b_{\text{eff}}$	5	m
Schlaglänge	$s_1$	0,8	km
Schlagbreite	$b_1$	0,5	km
Entferng. Standort-Arbeitsort	$s_{611}$	3	km
Entferng. Arbeitsort-Standort	$s_{612}$	3	km
Entferng. zw. den Arbeitsorten	$s_{62}$	1	km
durchschn. Transportentfernung	$s_T$	10	km
<b>Einsatzbedingungen Feldhäcksler</b>			
max. technol. Durchsatz	$\dot{m}_{T1\text{max}}$	110	t/h
max. Arbeitsgeschwindigkeit	$v_{\text{max}}$	12,5	km/h
durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Zeit je Wendung	$t_{21}$	0,005	h/Wendung
Transportmittelwechsel	$t_{23}$	0,0045	h/Wendung
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	10	h/d
Anzahl Erntemaschinen	$n_E$	1	-
<b>monetäre Ausgangsgrößen Feldhäcksler</b>			
Anschaffungspreis Häcksler	$AP_H$	289.800	DM
Ausnutzung	Ausn	1200	h/a
Nutzungsdauer	ND	8	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	Ausn <sub>R</sub>	1000	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	36,6	t/h
Preis Kraftstoff	Preis <sub>DK</sub>	1,1	DM/l
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	15	l/h
Lohnansatz	Lohnans	25	DM/h
<b>Einsatzbedingungen Transportmittel</b>			
durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	38	km/h
Entladezeit	$t_E$	0,117	h/Umlauf
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	10	h/d
Anzahl Transporteinheiten	$n_E$	4	-
Anzahl Anhänger/TE	$n_{\text{Anh/TE}}$	1	-
Lademasse	$m_L$	13,6	t/TE bei 40 m <sup>3</sup>

Fortsetzung Tabelle A4

**monetäre Ausgangsgrößen Transportmittel**

Anschaffungspreis LKW	$AP_{LKW}$	125.000 DM
Ausnutzung LKW	Ausn	1200 h/a
Ausnutzung außerhalb der Ernte		0 h/a
Nutzungsdauer	ND	12 a
Zinssatz	Zinssatz	0,08 -
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06 -
Reparatur Ausnutzung	Ausn <sub>R</sub>	1000 h/a
Anschaffungspr. eines Anhängers	$AP_{Anh}$	10.000 DM
Ausnutzung eines Anhängers	Ausn	1200 h/a
Ausnutzung außerhalb der Ernte		0 h/a
Nutzungsdauer	ND	15 a
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,02 -
Reparatur Ausnutzung	Ausn <sub>R</sub>	1000 h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	12 l/h

**Koeffizienten**

Kalkulation $T_4$ aus $T_{02}$	$k_4$	0,05 -
Kalkulation $T_5$ aus $T_{04}$	$k_5$	0,05 -

Tab. A5.1: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 1:  
Traktor + Quaderballenpresse, Umschlagmittel Feld, Traktoren mit 2 Uni-  
versalanhängern, Umschlagmittel Lager)

<u>Bezeichnung</u>	<u>Formelzeichen</u>	<u>Betrag</u>	<u>E i n - heit</u>
<b>betriebl. Einsatzbedingungen</b>			
Strohertrag	$m_A$	4	t/ha
Schwadabstand	$b_{\text{eff}}$	6,3	m
Schlaglänge	$s_1$	0,8	km
Schlagbreite	$b_1$	0,5	km
Entferng. Standort-Arbeitsort	$s_{611}$	3	km
Entferng. Arbeitsort-Standort	$s_{612}$	3	km
Entferng. zw. den Arbeitsorten	$s_{62}$	1	km
durchschn. Transportentfernung	$s_T$	5	km
<b>Einsatzbedingungen Quaderballenpresse</b>			
max. technol. Durchsatz	$\dot{m}_{T1\text{max}}$	24	t/h
max. Arbeitsgeschwindigkeit	$v_{\text{max}}$	11	km/h
Regressionskonstante	$a$	9,39	-
Regressionskoeffizient	$b$	3,49	-
durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Zeit je Wendung	$t_{21}$	0,01	h/W d
Rüstzeit	$T_3$	2	g. h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	10	h/d
Anzahl Erntemaschinen	$n_E$	1	-
<b>monetäre Ausgangsgrößen Traktor + Quaderballenpresse</b>			
<u>Presse</u>			
Anschaffungspreis Presse	$AP_{Pr}$	175.000	DM
Ausnutzung Presse	$Ausn$	500	ha/a
Nutzungsdauer Presse	$ND$	8	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	250	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	12,2	t/h
<u>Traktor</u>			
Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	150.000	DM
Ausnutzung Tr. außer Stroh	$Ausn$	1000	h/a
Nutzungsdauer Traktor	$ND$	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Preis Kraftstoff	$Preis_{DK}$	1,1	DM/l
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	15	l/h
Lohnansatz	Lohnans	25	DM/h

Fortsetzung 1 Tabelle A5.1

**Ballen**

Länge QB	$l_{QB}$	2,2	m
Höhe QB	$h_{QB}$	1,2	m
Breite QB	$b_{QB}$	1,2	m
Anzahl Bindungen	$n_B$	6	-
Ballendichte	$\rho$	0,13	t/m <sup>3</sup>
Lauflänge	Lauflänge	130	m/kg
Preis Garn	Preis <sub>Garn</sub>	4,50	DM/k
			g

**Einsatzbedingungen Umschlagmittel**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Beladezeit	$t_B$	0,02	h/QB
Entladezeit	$t_E$	0,167	h/QB
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	12	h/d

**monetäre Ausgangsgrößen Umschlagmittel**

Anschaffungspreis Umschlagm.	$AP_{Um}$	125.000	DM
Ausnutzung Umschlagm. außer Stroh	$Ausn_{Um}$	800	h/a
Nutzungsdauer	ND	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	9,15	t/h
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	6	l/h
Anzahl Umschlagm. Beladung	$n_{UB}$	1	-
Anzahl Umschlagm. Entladung	$n_{UE}$	1	-

**Einsatzbedingungen Transport**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Feldfahrzeit	$t_F$	0,15	h/Uml
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	12	h/d
Transportentfernung	$s_T$	variabel	km
Anzahl Transporteinheiten	$n_{TE}$	variabel	-
Anzahl Anhänger/TE	$n_{Anh/TE}$	2	-
Anzahl Ballen je TE	$n_{QB/TE}$	16	QB/T

E

Fortsetzung 2 Tabelle A5.1

**monetäre Ausgangsgrößen Transportmittel**

Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	74.000 DM
Ausnutzung Traktor außer Stroh	$Ausn_{Tr}$	1.000 h/a
Nutzungsdauer	ND	12 a
Zinssatz	Zinssatz	0,08 -
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06 -
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000 h/a
Anschaffungspr. eines Anhängers	$AP_{Anh}$	10.000 DM
Ausnutzung eines Anhäng. außer Stroh	$Ausn_{Anh}$	800 h/a
Nutzungsdauer	ND	15 a
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,02 -
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000 h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	8 l/h
<b>Koeffizienten</b>		
Kalkulation $T_4$ aus $T_{02}$	$k_4$	0,05 -
Kalkulation $T_5$ aus $T_{04}$	$k_5$	0,05 -

Tab. A5.2: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 2:  
Traktor + Quaderballenpresse + Sammelwagen, Umschlagmittel Feld, Traktoren mit 2 Universalanhängern, Umschlagmittel Lager)

<u>Bezeichnung</u>	<u>Formelzeichen</u>	<u>Betrag</u>	<u>E i n - heit</u>
<b>betriebl. Einsatzbedingungen</b>			
Strohertrag	$m_A$	4	t/ha
Schwadabstand	$b_{\text{eff}}$	6,3	m
Schlaglänge	$s_1$	0,8	km
Schlagbreite	$b_1$	0,5	km
Entferng. Standort-Arbeitsort	$s_{611}$	3	km
Entferng. Arbeitsort-Standort	$s_{612}$	3	km
Entferng. zw. den Arbeitsorten	$s_{62}$	1	km
durchschn. Transportentfernung	$s_T$	5	km
<b>Einsatzbedingungen Quaderballenpresse</b>			
max. technol. Durchsatz	$\dot{m}_{T1\text{max}}$	24	t/h
max. Arbeitsgeschwindigkeit	$v_{\text{max}}$	11	km/h
Regressionskonstante	$a$	9,39	-
Regressionskoeffizient	$b$	3,49	-
durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Zeit je Wendung	$t_{21}$	0,01	h/Wd-
			g.
Rüstzeit	$T_3$	2	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	10	h/d
Anzahl Erntemaschinen	$n_E$	1	-
<b>monetäre Ausgangsgrößen Traktor + Quaderballenpresse</b>			
<u>Presse</u>			
Anschaffungspreis Presse	$AP_{Pr}$	192.250	DM
Ausnutzung Presse	$Ausn$	500	ha/a
Nutzungsdauer Presse	$ND$	8	a
Zinssatz	$Zinssatz$	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	250	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	12,2	t/h
<u>Traktor</u>			
Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	150.000	DM
Ausnutzung Tr. außer Stroh	$Ausn$	1000	h/a
Nutzungsdauer Traktor	$ND$	12	a
Zinssatz	$Zinssatz$	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Preis Kraftstoff	$Preis_{DK}$	1,1	DM/l
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	15	l/h
Lohnansatz	$Lohnans$	25	DM/h

Fortsetzung 1 Tabelle A5.2

**Ballen**

Länge QB	$l_{QB}$	2,2	m
Höhe QB	$h_{QB}$	1,2	m
Breite QB	$b_{QB}$	1,2	m
Anzahl Bindungen	$n_B$	6	-
Ballendichte	$\rho$	0,13	t/m <sup>3</sup>
Lauflänge	Lauflänge	130	m/kg
Preis Garn	Preis <sub>Garn</sub>	4,50	DM/k
			g

**Einsatzbedingungen Umschlagmittel**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Beladezeit	$t_B$	0,0133	h/QB
Entladezeit	$t_E$	0,167	h/QB
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	12	h/d

**monetäre Ausgangsgrößen Umschlagmittel**

Anschaffungspreis Umschlagm.	$AP_{Um}$	125.000	DM
Ausnutzung Umschlagm. außer Stroh	$Ausn_{Um}$	800	h/a
Nutzungsdauer	ND	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	9,15	t/h
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	6	l/h
Anzahl Umschlagm. Beladung	$n_{UB}$	1	-
Anzahl Umschlagm. Entladung	$n_{UE}$	1	-

**Einsatzbedingungen Transport**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Feldfahrzeit	$t_F$	0,15	h/Uml
Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	12	h/d
Transportentfernung	$S_T$	variabel	km
Anzahl Transporteinheiten	$n_{TE}$	variabel	-
Anzahl Anhänger/TE	$n_{Anh/TE}$	2	-
Anzahl Ballen je TE	$n_{QB/TE}$	16	QB/T

E

Fortsetzung 2 Tabelle A5.2

**monetäre Ausgangsgrößen Transportmittel**

Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	74.000 DM
Ausnutzung Traktor außer Stroh	$Ausn_{Tr}$	1.000 h/a
Nutzungsdauer	ND	12 a
Zinssatz	Zinssatz	0,08 -
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06 -
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000 h/a
Anschaffungspr. eines Anhängers	$AP_{Anh}$	10.000 DM
Ausnutzung eines Anhäng. außer Stroh	$Ausn_{Anh}$	800 h/a
Nutzungsdauer	ND	15 a
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,02 -
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000 h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	8 l/h
<b>Koeffizienten</b>		
Kalkulation $T_4$ aus $T_{02}$	$k_4$	0,05 -
Kalkulation $T_5$ aus $T_{04}$	$k_5$	0,05 -

Tab. A5.3: Ausgangsdaten für die Kalkulation im absätzigen Verfahren (Variante 3:  
Traktor + Quaderballenpresse, Traktor(en) mit Quaderballenladewagen)

<u>Bezeichnung</u>	<u>Formelzeichen</u>	<u>Betrag</u>	<u>E i n - heit</u>
<b>betriebl. Einsatzbedingungen</b>			
Strohertrag	$m_A$	4	t/ha
Schwadabstand	$b_{\text{eff}}$	6,3	m
Schlaglänge	$s_1$	0,8	km
Schlagbreite	$b_1$	0,5	km
Entferng. Standort-Arbeitsort	$s_{611}$	3	km
Entferng. Arbeitsort-Standort	$s_{612}$	3	km
Entferng. zw. den Arbeitsorten	$s_{62}$	1	km
durchschn. Transportentfernung	$s_T$	5	km
<b>Einsatzbedingungen Quaderballenpresse</b>			
max. technol. Durchsatz	$\dot{m}_{T1\text{max}}$	24	t/h
max. Arbeitsgeschwindigkeit	$v_{\text{max}}$	11	km/h
Regressionskonstante	$a$	9,39	-
Regressionskoeffizient	$b$	3,49	-
durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Zeit je Wendung	$t_{21}$	0,01	h/Wd-
			g.
Rüstzeit	$T_3$	2	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	10	h/d
Anzahl Erntemaschinen	$n_E$	1	-
<b>monetäre Ausgangsgrößen Traktor + Quaderballenpresse</b>			
<u>Presse</u>			
Anschaffungspreis Presse	$AP_{\text{Pr}}$	175.000	DM
Ausnutzung Presse	$A_{\text{usn}}$	500	ha/a
Nutzungsdauer Presse	$ND$	8	a
Zinssatz	$\text{Zinssatz}$	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$A_{\text{usn}_R}$	250	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	12,2	t/h
<u>Traktor</u>			
Anschaffungspreis Traktor	$AP_{\text{Tr}}$	150.000	DM
Ausnutzung Tr. außer Stroh	$A_{\text{usn}}$	1000	h/a
Nutzungsdauer Traktor	$ND$	12	a
Zinssatz	$\text{Zinssatz}$	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$A_{\text{usn}_R}$	1000	h/a
Preis Kraftstoff	$\text{Preis}_{\text{DK}}$	1,1	DM/l
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{\text{DKT08}}$	15	l/h
Lohnansatz	$\text{Lohnans}$	25	DM/h

## Fortsetzung 1 Tabelle A5.3

**Ballen**

Länge QB	$l_{QB}$	2,2	m
Höhe QB	$h_{QB}$	1,2	m
Breite QB	$b_{QB}$	1,2	m
Anzahl Bindungen	$n_B$	6	-
Ballendichte	$\rho$	0,13	t/m <sup>3</sup>
Lauflänge	Lauflänge	130	m/kg
Preis Garn	Preis <sub>Garn</sub>	4,50	DM/k
			g

**Einsatzbedingungen Transport**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v_T$	15	km/h
Beladezeit	$t_B$	0,0146	h/QB
Entladezeit	$t_E$	0,0037	h/QB
Feldfahrzeit	$t_F$	0,1	h/Uml

Rüstzeit	$T_3$	1,5	h/d
sonstige Verlustzeiten	$T_8$	0	h/d
tägl. Gesamtarbeitszeit	$T_{08}$	12	h/d
Transportentfernung	$s_T$	variabel	km
Anzahl Transporteinheiten	$n_{TE}$	variabel	-
Anzahl Anhänger/TE	$n_{Anh/TE}$	1	-
Anzahl Ballen je TE	$n_{QB/TE}$	8	QB/T
			E

**monetäre Ausgangsgrößen Transportmittel**

Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	74.000	DM
Ausnutzung Traktor außer Stroh	$Ausn_{Tr}$	1.000	h/a
Nutzungsdauer	ND	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Anschaffungspr. eines Anhängers	$AP_{Anh}$	53.302	DM
max. Ausnutzung eines Anhäng.	$Ausn_{Anhmax}$	340	h/a
Nutzungsdauer	ND	10	a
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,02	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	8	l/h

**Koeffizienten**

Kalkulation $T_4$ aus $T_{02}$	$k_4$	0,05	-
Kalkulation $T_5$ aus $T_{04}$	$k_5$	0,05	-

Tab. A6: Ausgangsdaten für die Kalkulation im bedingt absätzigen Verfahren (Mähdrescher + Überladewagen + Transport-LKW)

<u>Bezeichnung</u>	<u>Formelzeichen</u>	<u>Betrag</u>	<u>Einheit</u>
<b>betriebl. Einsatzbedingungen</b>			
Kornertrag	$m_A$	6	t/ha
Schlaglänge	$s_1$	0,5	km
durchschn. Transportentfernung	$s_T$	12	km
Leistungskoeffizient	$k_{T025/T08}$	1,64	-
<b>Einsatzbedingungen Mähdrescher</b>			
max. technol. Durchsatz	$\dot{m}_{T1max}$	40	t/h
Arbeitsbreite	$b_{eff}$	6,9	m
Arbeitsgeschwindigkeit	$v$	7	km/h
Bunkerinhalt	$m_B$	6	t
Entladeleistung	$\dot{m}_B$	249	t/h
Zeit je Wendung	$t_{21}$	0,01	h/Wendung
Anzahl Erntemaschinen	$n_E$	3	-
<i>Fahrt zum Transportmittel bei Feldrandabbunkerung</i>	$t_{22}$	0,05	h/Bunker
<b>monetäre Ausgangsgrößen Mähdrescher</b>			
Anschaffungspreis Mähdrescher	$AP_{MD}$	450.000	DM
Ausnutzung	$Ausn$	500	ha/a
Nutzungsdauer	$ND$	10	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	200	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	25	t/h
Preis Kraftstoff	Preis <sub>DK</sub>	1,1	DM/l
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	15	l/h
Lohnansatz	Lohnans	25	DM/h
<b>Einsatzbedingungen Überladewagen</b>			
durchschn. Geschwindgk. Feld	$v$	12	km/h
Fahrtzeit zwischen den MD	$t_{241}$	0,023	h
Hilfszeit Entladen	$t_{243}$	0,01	h/Umlauf
Lademasse	$m_{LU}$	18	t
Entladeleistung	$\dot{m}_{LU}$	325	t/h
Anzahl Überladewagen	$n_u$	1	-

Fortsetzung Tabelle A6

**monetäre Ausgangsgrößen Überladewagen**Traktor

Anschaffungspreis Traktor	$AP_{Tr}$	100.000	DM
Ausnutzung Traktor	Ausn	1.000	h/a
Nutzungsdauer Traktor	ND	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1.000	h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	8	l/h

Überladewagen

Anschaffungspr. Überladewagen	$AP_{Anh}$	78.200	DM
Ausnutzung außerhalb der Ernte	Ausn	400	h/a
Nutzungsdauer	ND	10	a
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,04	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	400	h/a
Reparatur Leistung $T_{08}$	$\dot{m}_{T08R}$	65	t/h

**Einsatzbedingungen Transportmittel**

durchschn. Transportgeschwindgk.	$v$	35	km/h
Entladezeit	$t_E$	0,25	h/Umlauf
Lademasse	$m_{LT}$	25	t

**monetäre Ausgangsgrößen Transportmittel**

Anschaffungspreis LKW	$AP_{LKW}$	250.000	DM
Ausnutzung LKW	Ausn	1.200	h/a
Nutzungsdauer	ND	12	a
Zinssatz	Zinssatz	0,08	-
Reparaturkoeffizient	$k_R$	0,06	-
Reparatur Ausnutzung	$Ausn_R$	1000	h/a
Kraftstoffverbrauch $T_{08}$	$V_{DKT08}$	10	l/h

**ERKLÄRUNG**

Hiermit erkläre ich, daß ich diese wissenschaftliche Arbeit selbständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mit dieser Arbeit wurden noch keine vergeblichen Habilitationsversuche unternommen.

Halle/Saale, den 28. September 1998

Andreas Herrmann

Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei  
unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen

Thesen  
zur  
Habilitationsschrift

Der Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor agriculturarum habilitatus (Dr. agr. habil.)

vorgelegt von

Dr. agr. Andreas Herrmann

geb. am 03. Dezember 1960  
in Neustadt (Orla)

Halle/Saale 1998

Die Bewertung von Verfahren ist ein wichtiges Anliegen der Verfahrenstechnik. Sie wird auf der Grundlage von Kriterien, mit denen sich die Verfahren charakterisieren lassen, durchgeführt. Mit dem Instrumentarium der verfahrenstechnischen Bewertung wird die relative Vorzüglichkeit von Verfahrensvarianten ermittelt.

Ernte-, Transport- und Umschlagarbeitsgänge bilden in ihrer unterschiedlichen Gestaltung und Kombination eine fast unüberschaubare Anzahl von Arbeitsverfahren in der Landwirtschaft. Die Gestaltung dieser Arbeitsverfahren wird besonders in Großbetrieben immer komplexer. Von ihrer optimalen Beherrschung hängt wesentlich der Betriebserfolg ab. Mit Hilfe der Werte ausgewählter Kriterien, die sich unter konkreten betrieblichen Einsatzbedingungen ergeben, können Arbeitsverfahren so ausgewählt oder gestaltet werden, daß sie bestmöglich an Einsatzbedingungen angepaßt sind. Ziel war es, Entscheidungshilfen für diese Maßnahmen in Form eines Quantifizierungsmodells für wichtige verfahrenstechnische Kriterien zu erarbeiten. Dabei sollten die betrieblichen Einsatzbedingungen als Kriterieneinflußgrößen gut im Modell berücksichtigt werden können.

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung eines Modells zur Analyse und Kalkulation ausgewählter verfahrenstechnischer Bewertungskriterien in transportverbundenen Arbeitsverfahren werden folgende Thesen vertreten:

1. Ernte-, Transport- und Umschlagprozesse treten prinzipiell beim Anbau aller pflanzlichen Produkte auf. Sie sind auf unterschiedlichste Art und Weise in Arbeitsverfahren miteinander verknüpft. Die Arbeitsverfahren sind so zu gestalten, daß sie bestmöglich an die betrieblichen Einsatzbedingungen angepaßt sind.
2. Die Bewertung von Verfahrensvarianten erfolgt mit Hilfe von verfahrenstechnischen Kriterien. Eine möglichst genaue Feststellung der Kriterienwerte bzw. ihre sichere Prognose ist Grundlage für einen praktikablen Vergleich von Verfahrensvarianten.
3. Kriterienwerte sind keine feststehenden Beträge. Sie sind von betrieblichen, technischen und verfahrenstechnischen Einflüssen abhängig und unterliegen in Abhängigkeit von diesen Einflußgrößen einer starken Dynamik. Die Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen Einflußgrößen und Kriterien ist eine wichtige Grundlage für die Berücksichtigung der Einsatzbedingungen beim Vergleich von Verfahrensvarianten. Gleichzeitig ergibt sich dadurch die Möglichkeit, die Verfahren so auszuwählen bzw. zu gestalten, daß sie optimal für die betrieblichen Bedingungen geeignet sind.

4. Folgende Bewertungskriterien wurden in die Modellbetrachtung einbezogen:

- verfahrenstechnische Leistung (1),
- Arbeitszeit- und Arbeitskräftebedarf (2),
- jährliche Einsatzzeit (3) und
- Kosten der Arbeitserledigung (4).

Zwischen den Kriterien bestehen enge Beziehungen. Ein verbindendes Element ist ihr direkter Zeitbezug [(1) bis (3)] bzw. ihr indirekter Zeitbezug (4).

5. Die Kosten der Arbeitserledigung setzen sich aus mehreren Teilkosten zusammen, für die schon gute Kalkulationsansätze vorhanden sind. Voraussetzung für die Kostenkalkulation sind Kenntnisse über die Ausnutzung und Auslastung der zu bewertenden Maschinen. Die Maschinenausnutzung ist in Form der jährlichen Einsatzstunden oder der jährlichen Erntefläche einfach festzustellen. Schwierig ist dagegen, die tatsächliche verfahrenstechnische Leistung als Ausdruck der Maschinenauslastung zu bestimmen.
6. Die Entwicklung von Algorithmen zur Kalkulation der verfahrenstechnischen Leistung in den unterschiedlichen Zeitsummenebenen war ein Schwerpunkt der Modellbildung. Mit der verfahrenstechnischen Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  wurde die Schnittstelle zwischen Kosten- und Leistungsmodell mathematisch beschrieben.
7. Für eine Analyse der Verfahren und für die Kalkulation der Kriterien ist eine überschaubare und logische Gliederung der Arbeitszeit eine unerläßliche Voraussetzung. Als Gliederungsgrundlage erwies sich die TGL 22289 mit ihrem numerischen Indexsystem für die Bezeichnung der Teilzeiten als gut geeignet. Nach den Anforderungen des Modells wurde die Gliederung leicht verändert und bei der Verknüpfung von Arbeitsgängen als alphanumerisches Indexsystem angewandt.
8. Ziel der Modellerstellung war es, allgemeingültige Algorithmen zu entwickeln, die für alle Ernte-, Transport und Umschlagarbeitsgänge zutreffend sind. Im Vorfeld der Modellentwicklung wurde eine Vielzahl verfahrenstechnischer Untersuchungen zu verschiedenen Verfahrensvarianten durchgeführt. So konnten in das Modell Erfahrungen aus neun verschiedenen Versuchen zu mehreren Varianten folgender Verfahren einfließen:

- Strohernte mit Rund- und Quaderballen sowie Transport der Ballen im Ein-Mann-Verfahren und im transportverbundenen Fließarbeitsverfahren,
  - Welkguternte mit Einsatz des Feldhäckslers im Parallelverfahren und im Containerverfahren,
  - Kornernte mit Kornübergabe vom Mähdrescher auf die Transportfahrzeuge am Feldrand bzw. Kornübergabe vom Mähdrescher auf ein spezielles Feldtransportfahrzeug (Überladewagen) während der Fahrt.
9. Das Leistungsmodell ist auf der Grundlage deterministischer Beziehungen aufgebaut. Eine Ausnahme bildet die Kalkulation der Leistung in der Grundzeit  $T_1$ . Speziell für Halmguterntemaschinen wurden auf der Grundlage verfahrenstechnischer Untersuchungen Schwadmasse-Durchsatz-Kennlinien bzw. Schwadmasse-Geschwindigkeits-Kennlinien erarbeitet. Bei einer ausreichenden Anzahl von Wertepaaren können die Schwadmasse-Durchsatz-Zusammenhänge über den gesamten Schwadmassebereich mit drei linearen Funktionen beschrieben werden.
  10. Die verfahrenstechnische Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  berücksichtigt den Durchsatz bzw. die Geschwindigkeit der Erntemaschine, den Ertrag sowie die Arbeitsbreite bzw. den Schwadabstand. Als zusätzliches Element gehen in sie die auftretenden Hilfszeiten ein. Wichtigste Hilfszeit ist im Erntearbeitsgang die Zeit je Wendung  $t_{21}$ . Im Zusammenhang mit ihr hat die Schlaglänge einen großen Einfluß auf die Leistung in der Operativzeit. Falls weitere Hilfszeiten auftreten, werden sie in der Leistung dieser Zeitsummenebene berücksichtigt.
  11. Die Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  ist der Quotient aus täglicher Erntemasse  $m_d$  und täglicher Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ . Die Gleichung enthält aber mit der Leistung  $\dot{m}_{T_{08}}$  und mit der täglichen Erntemasse zwei Unbekannte. Die Lösung des Problems besteht in der Auflösung der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  in die Summe ihrer Teilzeiten. Einzelne Summanden können unter Berücksichtigung der täglichen Erntemasse dargestellt werden. Das Umstellen der Summe nach der täglichen Erntemasse und Einsetzen in die Grundgleichung der Leistung  $\dot{m}_{T_{08}}$  ermöglicht eine komplexe Beschreibung der Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ .
  12. Mit der unter These 11 skizzierten Vorgehensweise kann die Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  unter Berücksichtigung einer komplexen Einflußgrößenkonstellation beschrieben werden. Folgende Größen gehen in die Berechnungsvorschrift ein:

- Ertrag  $m_A$ ,
- effektive Arbeitsbreite der Erntemaschine bzw. Schwadabstand  $b_{\text{eff}}$ ,
- technologischer Durchsatz  $\dot{m}_{T1}$ ,
- Zeit je Wendung  $t_{21}$ ,
- Schlaglänge  $s_1$ ,
- Schlagbreite  $b_1$ ,
- Rüstzeit  $T_3$ ,
- Störzeit  $T_4$ ,
- Zeit für Kurzpausen  $T_5$ ,
- sonstige Verlustzeiten  $T_8$ ,
- tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ ,
- Entfernung zwischen dem Standort und dem Arbeitsort  $s_{611}$  (umgekehrt  $s_{612}$ ),
- Entfernung zwischen den Schlägen  $s_{62}$  und
- Transportgeschwindigkeit  $v_T$ .

Die Kalkulation der Leistung auf der Grundlage betrieblicher Durchschnittswerte ist für eine strategische Planung des Maschineneinsatzes und der Verfahrensgestaltung sowie für die Kostenkalkulation ausreichend.

13. Im Arbeitsgang Transport ist die Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  der Quotient aus Lademasse und Umlaufzeit. Die Umlaufzeit beinhaltet die vier Grundzeitelemente Beladung  $T_{11}$ , Lastfahrt  $T_{12}$ , Entladung  $T_{13}$  und Leerfahrt  $T_{14}$  sowie die dazugehörigen Hilfszeiten. Die Straßenfahrzeit  $T_5$  als Summe aus der Last- und Leerfahrt ist abhängig von der Transportentfernung und von der durchschnittlichen Transportgeschwindigkeit.
14. Zur Berechnung der Transportleistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  ist das Produkt aus der Anzahl der Umläufe und der Lademasse einer Transporteinheit durch die tägliche Gesamtarbeitszeit zu dividieren. Ähnlich wie bei der Kalkulation der Ernteleistung auf der Zeitsummenbasis  $T_{08}$  treten auch beim Transport zwei Unbekannte in der Gleichung auf (Leistung und Anzahl der Umläufe). Das Problem läßt sich durch analoges Vorgehen wie bei der Berechnung der Ernteleistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  lösen (vgl. These 11).
15. Ernte- und Transportarbeitsgänge sind auf verschiedenste Art und Weise miteinander verknüpft. Eine Systematik mit klar abgegrenzten Verknüpfungsarten läßt sich nicht erstellen. Das reine Parallelverfahren und das reine absätziges Verfahren stellen eher die Ausnahme der Verfahrensgestaltung dar. Die Mehrzahl der Verknüpfungsvarianten ist zu den bedingt absätziges Verfahren zu rechnen, wobei diese entweder mehr vom Charakter des Parallelverfahrens oder des absätziges Verfahrens geprägt sind.

16. Transportverbundene Arbeitsverfahren können nach der Art der Be- und Entladung der Transportmittel eingeteilt werden (Fremd- oder Selbstbeladung bzw. Fremd- oder Selbstentladung). Die beiden wichtigen Grundeinteilungsvarianten transportverbundener Arbeitsverfahren sind das transportverbundene Fließarbeitsverfahren und das Ein-Mann-Verfahren. Die Verknüpfung von Ernte und Transport im Parallelverfahren ist ein typischer Fall des transportverbundenen Fließarbeitsverfahrens. Der Transport im Ein-Mann-Verfahren ist nur bei einer absätzigen Verknüpfung von Ernte und Transport möglich.
17. In transportverbundenen Fließarbeitsverfahren ist die Leistung des mit dem Transport unmittelbar verknüpften Arbeitsganges in der Regel kein ganzzahliges Vielfaches der Transportleistung (Zeitbasis  $T_{02}$ ). Das Auftreten zyklischer verfahrensbedingter Verlustzeiten läßt sich daher nicht vermeiden. Ist die Anzahl der eingesetzten Transporteinheiten größer als die kritische Transporteinheitenanzahl  $n_{TEK}$ , treten die zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten beim Transport auf. Ist die Anzahl der eingesetzten Transporteinheiten kleiner als  $n_{TEK}$ , ist der Erntearbeitsgang von den Verlustzeiten betroffen.
18. Die zyklische verfahrensbedingte Verlustzeit  $T_{25}$  ist eine wiederkehrende Hilfsoperation (Hilfszeit). Wird sie in der Operativzeit  $T_{02}$  integriert, wird die Zeitsumme als erweiterte Operativzeit  $T_{025}$  definiert. Für die Berechnung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeit wurde ein Algorithmus erstellt, mit dem sowohl Verlustzeiten für Fließarbeitsverfahren des Typs II als auch des Typs III kalkuliert werden können.
19. Im absätzigen Verfahren laufen Ernte und Transport völlig unabhängig voneinander ab. Erfolgt der Transport im Ein-Mann-Verfahren ist sowohl bei der Ernte als auch beim Transport das Auftreten von zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten ausgeschlossen. Im Gegensatz zum Parallelverfahren können im absätzigen Verfahren sowohl die tägliche Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  als auch die Kampagneeinsatztage  $T_d$  bei Ernte und Transport verschieden sein. Ihre Werte können im Zusammenhang mit der kalkulierten Leistung  $\dot{m}_{T08}$  im Ernte- und im Transportarbeitsgang simuliert werden.
20. Für bedingt absätzige Verfahren gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, das Arbeitsverfahren konkret zu gestalten. Daher ist eine allgemeingültige mathematische Beschreibung der Verknüpfung zwischen Ernte und Transport nicht möglich. Die für das Parallelverfahren und für das absätzige Verfahren gültigen Zusammenhänge sind auf den konkreten Fall des bedingt absätzigen Verfahrens zu beziehen und anzupassen.

21. Bei der Wirkung von Einflußfaktoren auf die Transportleistung muß zwischen kurzen und langen Transportentfernungen unterschieden werden. Bei kurzen Transportentfernungen sind die Belade- und Entladezeit die entscheidenden Einflußgrößen auf die Transportleistung. Die Lademasse wirkt stärker leistungsbeeinflussend als die Transportgeschwindigkeit. Bei kurzen Transportentfernungen ist es nahezu gleichgültig, ob langsamfahrende oder schnellfahrende Traktoren bzw. LKW für den Transport eingesetzt werden. In Fließarbeitsverfahren sind leistungsstarke Umschlagmittel zur schnellen Be- und/oder Entladung wichtig für eine hohe Transportleistung.
22. Bei großen Transportentfernungen nimmt der Einfluß der Be- und Entladezeit auf die Transportleistung ab. Lademasse oder Transportgeschwindigkeit können allerdings nicht alternativ als leistungsbestimmend angesehen werden. Vielmehr wird das Produkt aus beiden Größen zur entscheidenden leistungsbeeinflussenden Komponente. Für die Praxis bedeutet das, daß aus der Sicht der Transportleistung bei großen Transportentfernungen schnellfahrende Fahrzeuge mit großen Lademassen einzusetzen sind.
23. Die Schlaggröße hat im Erntearbeitsgang auf die verfahrenstechnische Leistung in zwei Zeitsummenebenen Auswirkung. Für die Leistung in der Operativzeit  $T_{02}$  ist die Schlaglänge eine entscheidende Einflußgröße. Sie entscheidet über die Anzahl der durchzuführenden Wendungen mit der Erntemaschine. In der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$  wirkt die Schlaggröße über die notwendige Anzahl von Schlagwechseln und die Entfernung zwischen den einzelnen Schlägen auf die Leistung.
24. Kleine Schläge bewirken eine geringere Leistung in der Gesamtarbeitszeit  $T_{08}$ . Zwei Konsequenzen sind gegenüber großen Schlägen denkbar:
  - Für die Bewältigung einer konstanten jährlichen Erntefläche ist mehr Einsatzzeit erforderlich. Die Erntefläche kann bewältigt werden, wenn ausreichend Zeitreserven vorhanden sind.
  - Ist die witterungsbedingte Einsatzzeit ausgeschöpft, kann bei kleinen Schlägen weniger Fläche je Maschine und Jahr geerntet werden.

Das zweite Szenario trifft besonders für Großbetriebe und Lohnunternehmen zu. Kleine Schläge haben in diesem Fall durch die Erhöhung der Festkosten je Masseinheit des Erntegutes besonders negative Auswirkungen auf die Gesamtkosten.

25. Im Parallelverfahren wird der Arbeitszeitbedarf entscheidend durch die Verfahrensgestaltung beeinflusst. Eine suboptimale Zuordnung der Transporteinheitenanzahl zum Erntearbeitsgang führt zur Erhöhung der zyklischen verfahrensbedingten Verlustzeiten im Erntearbeitsgang (Transporteinheitenanzahl < kritische Transporteinheitenanzahl) oder im Transportarbeitsgang (Transporteinheitenanzahl > kritische Transporteinheitenanzahl). Die daraus resultierenden Kosten der Arbeitserledigung lassen sich mit dem Modell quantifizieren.
26. Im Parallelverfahren und im bedingt absätzigen Verfahren kommen in der Regel Universaltransportfahrzeuge zur Anwendung. Sie besitzen eine relativ hohe Lademasse und lassen sich für viele Transportaufgaben im Betrieb einsetzen (gute Maschinenausnutzung). Die Kosten der Arbeitserledigung sind dadurch tendenziell niedrig.
27. Bei der konsequent absätzigen Verknüpfung und dem Transport im Ein-Mann-Verfahren kommen oft Spezialtransportfahrzeuge zum Einsatz. Es handelt sich dabei um kapitalintensive Transportmittel, die sich meist durch eine niedrige Lademasse auszeichnen und deren Einsatzspektrum begrenzt ist (z.B. Quaderballenladewagen). Eine hohe jährliche Maschinenausnutzung ist für Spezialtransportfahrzeuge besonders wichtig, sie ist allerdings durch das eingeschränkte Einsatzspektrum oft schwieriger als bei Universaltransportmitteln zu erreichen.
28. Beim Einsatz des Überladewagens in der Getreideernte als Beispiel einer bedingt absätzigen Verfahrensgestaltung bewirkt der zusätzliche Arbeitsgang des Feldtransportes bei guter Maschinenausnutzung eine Senkung der Kosten im Gesamtverfahren. Zusätzliche Kosten für den Überladewagen werden durch niedrigere Kosten beim Mähdrusch und beim Straßentransport positiv überlagert. Ursache für die Kostensenkung in diesen beiden Arbeitsgängen ist eine höhere Mähdrusch- und Transportleistung durch den Einsatz des Überladewagens.

Den landwirtschaftlichen Transportverfahren sollte in Wissenschaft und Praxis eine größere Bedeutung beigemessen werden, da in ihnen ein nicht unerheblicher Teil der Produktionskosten entsteht. Gerade unter dem zunehmenden Kostendruck in der Landwirtschaft trifft das insbesondere für die Großbetriebe Ostdeutschlands zu. Einfache Veränderungen in der Verfahrensgestaltung können hier unter Umständen eine höhere Effizienz des Gesamtverfahrens bewirken.