

Entwicklungstendenzen in der landwirtschaftlichen Transporttechnik

Von Georg Segler, Stuttgart-Hohenheim*)

DK 658.286.2/.4:631.374

Die Steigerung der Maschinenleistungen erfordert den Übergang zu Fahrzeugen mit größerer Nutzlast. Der Schnell-Schlepper wird vor allem in größeren Betrieben zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel für die Rationalisierung der Transportarbeiten. Der Schlepper-Container ist vorläufig nur für kleinere Transporteinheiten vorhanden; er bietet vielseitige Anwendungsmöglichkeiten. Der Lastkraftwagen-Container entlastet den landwirtschaftlichen Betrieb von außerbetrieblichen Transportaufgaben und erspart Investitionen. Allgemein ist eine Zunahme des außerbetrieblichen Transports zu verzeichnen.

1. Der landwirtschaftliche Transport heute

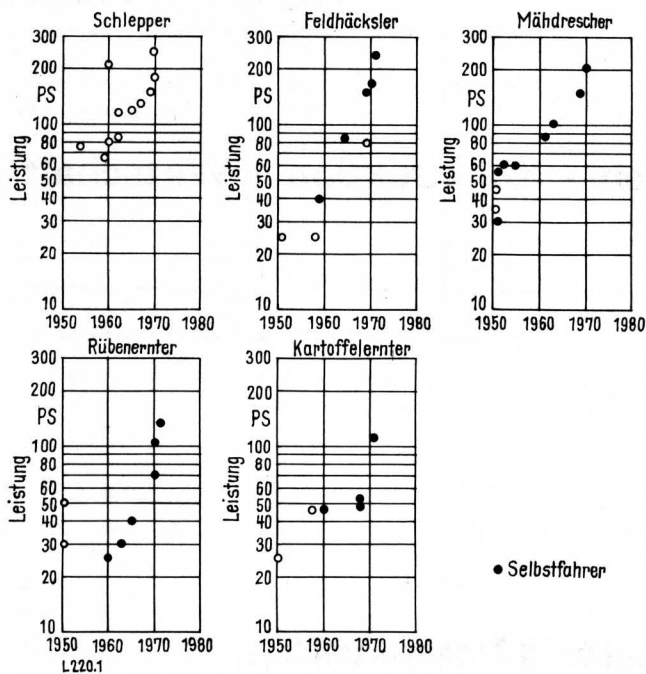
Der landwirtschaftliche Transport allein umfaßt bis zu 50% des gesamten Arbeitsaufwandes im Betrieb; er ist vielseitig hinsichtlich der Art der Transportgüter und der Transportweise und muß sich dem landwirtschaftlichen Produktionsprozeß anpassen, der auch den Transporttermin bestimmt; außerdem ist er abhängig von den räumlichen und von der Fahrbahn her gegebenen Voraussetzungen sowie von den wechselnden klimatischen Bedingungen. Der innerbetriebliche Transport ist fast stets ein Glied in einer Transportkette und an einen Prozeßablauf mit bestimmten Arbeitsmaschinen und Förderanlagen gebunden. Der außerbetriebliche Transport mit betriebseigenen Mitteln zu den Versorgungs-, Absatz- und Verarbeitungsbetrieben erfordert die Eingliederung in den öffentlichen Straßenverkehr. Die Bestimmungen der Straßenverkehrsordnung wirken in zunehmendem Maße (beispielsweise durch den Erlaß von Abstellverbots- und Geschwindigkeitsgebots) einschränkend auch für landwirtschaftliche Transporte.

Die Anforderungen an die Transporte haben sich aber auch auf Grund der Entwicklungen in der Landwirtschaft entscheidend geändert: Nach einer Epoche der völligen Mechanisierung fast aller landwirtschaftlichen Produktionsprozesse ist die Ausbildung der Transportmittel hinter dieser Entwicklung zurückgeblieben [1 bis 3]. Entscheidender als beispielsweise die zunehmende Einführung des Lose-Gut-Transports ist der Übergang zu Arbeitsmaschinen mit größerem Durchsatz, **Bild 1**, und die sich daraus ergebende Forderung nach einer größeren Transportleistung beim Säen, Düngen und Ernten; hierbei kann man davon ausgehen, daß der Durchsatz proportional mit der Antriebsleistung zunimmt. Eine ähnliche Größenzunahme ist auch bei den Schleppern festzustellen; wenn auch von bestimmten Maschinengrößen an die gezogenen Maschinen durch selbstfahrende ersetzt werden, so wirkt sich dies doch nicht einschränkend auf die Entwicklung von Transportsystemen mit größerer Leistung aus (größere Schlepper werden für den Transport freigesetzt).

Vortrag, gehalten auf der Jahrestagung der VDI-Fachgruppe < Landtechnik > in Braunschweig am 21. Okt. 1971.

*) Prof. Dr.-Ing. Georg Segler ist Inhaber des Lehrstuhls für Landtechnik der Universität Hohenheim.

Bild 1. Zunahme der Antriebsleistung von Schleppern, gezogenen und selbstfahrenden Erntemaschinen von 1950 bis heute.



Tafel 1. Maximale Ernteleistungen (Stand 1971) und erforderliche Transportleistungen.

Ernte- produkte	Erntemaschine	Leistungs- aufnahme PS	Ernteleistung der Maschine		Anzahl der Transporte je ha	
			t/h	je 4 t	je h	4 t
Weizen Körnermais	Mähdrescher (4-reihig)	200	18	10,5	4,5	
		200	10	1,25	2,5	
Strohballen	HD - Presse	60	20	1,25	5	
Kartoffeln	Vollernter, 2-reihig	60	20	7,5	5	
	SF, 4-reihig	110	40	10	10	
Zucker- rüben	Vollernter 2-reihig	70	12	10	3	
Silomais	Anbauhäcksler	80	35	8,5	8,75	
	Feldhäcksler	120	80	8,5	20	
	SF, 2-reihig	150	60	8,5	15	
Halmfutter grün	Ladewagen	45	25	19	6,25	
	Feldhäcksler	120	80	19	20	
	SF-Feldhäcksler	150	100	19	25	
welk	Ladewagen	30	10	0,85	2,5	
	Feldhäcksler	120	25	0,85	6,25	
Heu	HD - Presse	60	20	0,43	5	

SF Selbstfahrer HD Hochdruck

Die arbeitswirtschaftliche Belastung durch den Ernteguttransport bei hohen Ernteleistungen im einzelnen Betrieb bei Verwendung der vorwiegend benutzten 4-t-Anhänger veranschaulicht **Tafel 1**, die erkennen läßt, daß die Transportleistung dieser Anhänger unzureichend ist; auch ein nach DIN 11 741 seit 1965 vorgesehener größerer Anhänger mit 6 t Nutzmasse würde grundsätzlich nichts ändern. Zur Rationalisierung des landwirtschaftlichen Transports muß man somit von völlig neuen Vorstellungen über die nötige Transportleistung im Hinblick auf bessere arbeitswirtschaftliche Lösungen ausgehen.

1.1. Der Transport mit 4-t-Anhängern

Der Ernteguttransport umfaßt die Arbeiten bei der Auf- oder Übernahme des Ernteguts in das Transportmittel, den Wegtransport, das Entleeren auf dem Hof und die Weiterförderung [4]. Hierbei

bestimmt die Wahl des Ablegeverfahrens für das Erntegut (auf den unbedeckten Boden, auf Plastikfolien, in Plastik- oder Stahlbehälter, in den Standwagen, in den zugeführten Wagen, in den parallel fahrenden Wagen) maßgebend die Ausbildung des Transportsystems.

Sammelerntemaschinen sind fast immer mit Speicherbunkern ausgerüstet, die durch Kippen oder mit Hilfe von Schnecken- oder Bandförderern dosierend entladen können. Diese Bunker haben ein Fassungsvermögen bis zu 4,5 t. Die dosierende Entleerung erleichtert die Ausnutzung der Transportfahrzeuge; sie ist sogar dann erforderlich, wenn man mehrere kleinere Behälter beladen will. Bei Transportfahrzeugen wird wegen der kürzeren Entladezeit im allgemeinen die Kippentleerung bevorzugt.

Die drei Transportverfahren – absätziger Transport für den kleineren Betrieb, stetiger Transport mit Standbehältern oder Standwagen, parallel fahrender Wagen – erfordern in der genannten Reihenfolge zunehmend mehr Schlepper und Arbeitskräfte, erhöhen andererseits den Nutzungsgrad der Erntemaschinen.

Mit Hilfe von Flußdiagrammen lassen sich die Ausnutzung der Fahrzeuge abhängig von der Ernteleistung, der Feld-Hof-Entfernung und der Fahrgeschwindigkeit auf einfache Weise rechnerisch erfassen. Steht die Umlaufzeit t_{uf} des Fahrzeuges im Einklang mit der Füllzeit des Standwagens bzw. des Standbehälters, **Bild 2**, gilt die Bedingung $t_{uf} = n(t_s + t_b)$ worin n die Anzahl der Bunkerabfüllungen, t_s die Betriebszeit der Erntemaschine und t_b die Bunkerentleerungszeit sind. Mit der Fahrzeugnutzmasse M und der Ernteleistung der Maschine \dot{G}_e ergibt sich die Umlaufzeit der Erntemaschine zu $t_{um} = M/\dot{G}_e + n t_b$. Die Umlaufzeit des Transportwagens beträgt $t_{uf} = 2 t_w + t_e + 2 t_k + t_p$; darin bedeuten t_w die Wegezeit, t_e die Entleerungszeit, t_k die Zeit zum An- und Abkuppeln des Anhängers und t_p die Warte- bzw. die Pufferzeit [8; 9].

Beim Transport mit Überladewagen, **Bild 3**, dauert die Umlaufzeit der Erntemaschine bis zur nächsten Bunkerentleerung $t_{um} = M/\dot{G}_e$ und für den Transport $t_{uf} = 2 t_w + t_e$. Im Vergleich zum Betrieb mit Standwagen beträgt die Zeitersparnis bei diesem Verfahren für

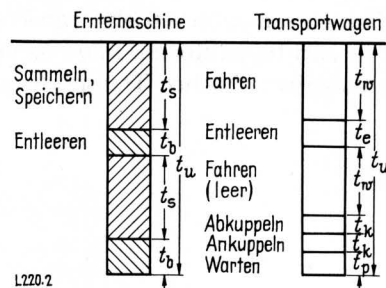


Bild 2. Zeiten beim prozeßgebundenen stetigen Transport mit Standwagen oder Containern.

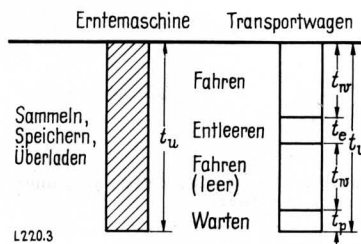
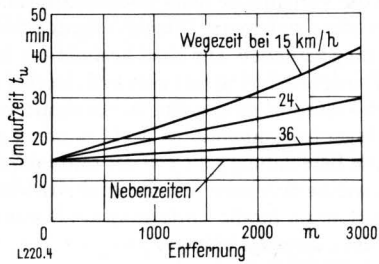


Bild 3. Zeiten beim prozeßgebundenen stetigen Transport mit Überladebetrieb.

Bild 4. Wege- und Nebenzeiten beim stetigen Transport mit dem Standwagen.



die Erntemaschine $t_{sm} = n t_b$ und für den Transportwagen $t_{sf} = 2 t_k$. Dies sind im allgemeinen etwa 20 bzw. 25 % der Gesamtzeit.

Ein Vergleich der Wegezeit und der Nebenzeit, **Bild 4**, beim Standwagenbetrieb zeigt, daß die Nebenzeit besonders bei kurzen Feldentfernungen und bei geringer Fahrgeschwindigkeit ins Gewicht fällt; dies gilt auch für hohe Fahrgeschwindigkeiten, wenn große Feldentfernungen vorliegen. Die Nebenzeiten sind daher zu verringern oder möglichst ganz einzusparen. Die in die obige Rechnung eingesetzte Warte- bzw. Pufferzeit t_p kann man durch eine straffe Arbeitsorganisation auf ein Mindestmaß beschränken, die Zeiten zum An- und Abkuppeln und zum Entleeren des Wagens dadurch vermindern, daß man diese Operationen vom Schlepper aus einleitet, ohne daß der Schlepperfahrer absteigt.

Beim Überladebetrieb entfällt die Zeit für das An- und Abkuppeln ganz. Die Entleerungszeiten lassen sich bei Kippern dann kurz halten, wenn günstige, räumliche Zufahrtsmöglichkeiten auf dem Hof und eine leistungsfähige Annahme, beispielsweise ein Tiefbunker mit entsprechendem Aufnahmevolumen, vorhanden sind. Alle Entleerungsvorrichtungen am Anhänger sollten vom Schlepper aus zu betätigen sein. Sofern bei Einachsanhängern eine Deichselstütze erforderlich ist, müßte man auch diese vom Anhänger aus ausklappen können.

1.2. Der Transport mit Wagen für größere Nutzlasten

Der Übergang zu größeren Nutzmassen führt gleichzeitig zu kürzeren Nebenzeiten. Hier bieten sich Einachsanhänger vom 6 bis 12 t Nutzmasse und darüber an, **Bild 5**; sie sind als Heck-Kipper ausgebildet. In der Bundesrepublik Deutschland sind sie für eine Achslast bis zu 10 Mp (100 kN), bei Vorhandensein einer Zwillingsachse bis zu 16 Mp (160 kN) zugelassen, in Frankreich bis zu 13 Mp (130 kN) bzw. 20 Mp (200 kN). Im allgemeinen benötigt man Anhänger mit einer Nutzmasse von 8 bis 10 t. Für die Zulassung

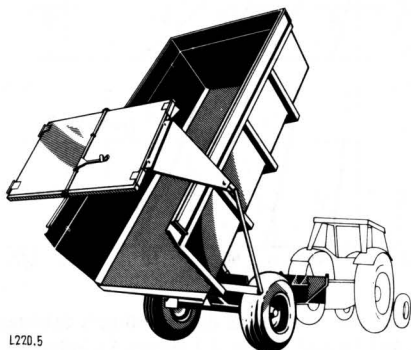


Bild 5. Einachs-Kipper für 10 t Nutzmasse mit hydraulisch betätigter Rückwand.

von größeren Einachsanhängern sind die bestehenden Vorschriften der Straßenverkehrszulassungsordnung zu beachten, die ab 8 t Nutzmasse eine Druckluftbremse am Fahrzeug erfordern und entsprechend ausgebildete vom Technischen Überwachungsverein (TÜV) geprüfte Anhängerkupplungen. In Frankreich sind hydraulische, an die Schlepperhydraulik angeschlossene Bremsen zulässig.

Beim Einachsanhänger muß die Anhängerkupplung hohe Aufsattelasten aufnehmen. Die hydraulisch betätigte Hubkupplung (Hitch) mit seitlicher Bewegungsfreiheit hat sich bei kleineren Anhängern gut bewährt, ist aber leider aus patentrechtlichen Gründen noch nicht der Normung zugänglich; ferner ist eine Sicherheitsvorrichtung erforderlich, die beim Umkippen des Anhängers den Schlepper gegen ein Kippen schützt (solche Sicherheitskupplungen wurden inzwischen entwickelt).

2. Der landwirtschaftliche Transport mit Containern

Auf eine völlig neue Lösung des landwirtschaftlichen Transports zielt die Entwicklung des Container-Systems ab. Das Einachs-Fahrgestell hat einen Aufsattelrahmen zur Aufnahme von Behältern mit Nutzmassen von 3 bis zu 6 t bei einer englischen und bis zu 8 t bei einer schwedischen Bauart. Das Fahrgestell des Containers kostet doppelt soviel wie ein bisheriger Einachs-Kipper, der Container allein ein Drittel des Kipper-Preises. Beim Erntegut-Transport eignen sich die Container vorwiegend als Ersatz für den Standwagen.

Neuerdings sind Lastkraftwagen-Container von 7 bis 12 t für die überbetriebliche Verwendung (durch Absatz-, Verarbeitungs- und Versorgungsunternehmen) zum Transport von Erntegut, Futtermitteln und Handelsdünger im Einsatz [5]. Die Lastwagen sind so ausgebildet, daß sie den Container mit Hilfe eines hydraulisch heb- und schubvorrichtung absetzen, aufnehmen und entleeren können, **Bild 6**. Die Behälter werden in der Erntezeit morgens auf dem Feld abgesetzt und nach dem Füllen abgeholt.

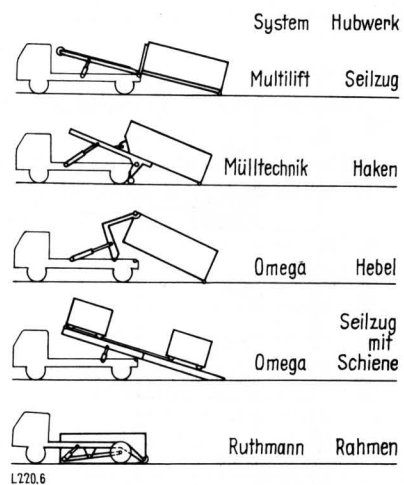


Bild 6. Systeme von Lastkraftwagen-Containern.

Heute bahnt sich – als Folge der erwünschten größeren Nutzmassen – eine Wende im landwirtschaftlichen Transportwesen an. Technisch verbesserte Transporteinrichtungen und höhere Fahrgeschwindigkeiten führen zu einer größeren Leistung des Transports als Teilprozeß im Gesamtprozeß der Erntebergung [1; 6; 7].

2.1. Verhältnisse bei der absätzigen Ernte

Bei der absätzig einzubringenden Ernte mit einer einzigen Arbeitskraft für die Erntemaschine und den Schlepper, die ausschließlich für kleinere Betriebe in Betracht kommt, ist die Erntemaschine wegen ihres zwangsläufigen Stillstands während des Erntetransportes schlecht ausgenutzt; deshalb sollte die Transportzeit möglichst kurz sein. Dies ist durch Verwenden eines Anhängers mit großer Nutzmasse und hoher Fahrgeschwindigkeit erreichbar. Ein solches verbessertes Transportsystem hat jedoch Anwendungsgrenzen, wie eine Vergleichsrechnung im Rahmen einer Systemanalyse zeigt.

Der Rechnung werden eine mittlere Feldentfernung $l = 1000$ m, ein zehnstündiger Arbeitstag, eine Fahrgeschwindigkeit $v = 16$ km/h des Transportwagens und Ernteleistungen von 3, 16 und 24 t/h zugrunde gelegt. Es ist dann die Arbeitszeit $t_A = t_m + t_t$ (mit t_m als der Maschinenbetriebszeit und t_t als der Transportzeit) und die während der Arbeitszeit transportierte Masse $G_t = nM/t_t$. Andererseits beträgt die Ernteleistung $\dot{G}_e = G_e/t_m$ (G_e Erntegutmasse). Die Transportzeit t_t umfaßt auch hier wieder die Nebenzeit t_k zum An- und Abkuppeln und die Zeit t_e zum Entleeren des Transportmittels. Mit v als Transportgeschwindigkeit ist die Transportzeit $t_t = n(2l/v + t_k + t_e)$. Ferner ist die während der Arbeitszeit transportierte Masse $G_t = \dot{G}_t t_t$; die während der Maschinenarbeitszeit eingebrachte Ernte $\dot{G}_e(t_A - t_t)$ muß dann gleich $\frac{M t_t}{2l/v + t_k + t_e}$ sein.

Daraus ergibt sich $\dot{G}_e t_A = \frac{M t_t}{2l/v + t_k + t_e} + \dot{G}_e t_t$ und

$$t_t = \frac{\dot{G}_e t_A}{\frac{M}{2l/v} + t_k + t_e + \dot{G}_e}$$

Das Ergebnis der Rechnung gibt **Bild 7** wieder. Die Transportzeit nimmt bis zu 50% der gesamten möglichen Arbeitszeit ein, so daß die Anwendung des absätzigen Ernteverfahrens auf kleinere Betriebe beschränkt bleiben muß. Nur durch Einsetzen von Fahrzeugen mit größerer Nutzmasse kann der Anteil der Transportzeit in diesem Fall ausreichend gekürzt werden.

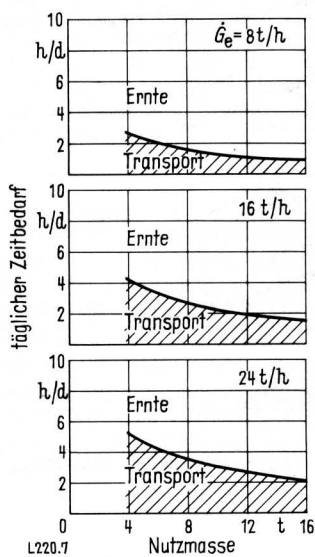


Bild 7. Anteil der Transportzeit an der täglichen Arbeitszeit beim absätzigen Ernteverfahren und unterschiedlichen Ernteleistungen der Maschine.

Entfernung $l = 1000$ m; Transportgeschwindigkeit $v = 16$ km/h.

2.2. Verhältnisse beim Fließtransport mit Standwagen oder Container

Günstiger liegen die Verhältnisse beim Fließtransport beim Einsatz von Standwagen oder Containern. Dieses Verfahren hat bisher am meisten Verbreitung gefunden. Die einer bestimmten Ernteleistung zuzuordnende Transportleistung läßt sich auch hierbei rechnerisch erfassen. Für den Transport mögen eine Arbeitskraft, ein Schlepper sowie zwei Anhänger bzw. mindestens zwei Container zur Verfügung stehen. Die Berechnung geht von der mittleren Erntemaschinenleistung aus, wie sie sich beim Standwagenbetrieb infolge der Betriebsunterbrechungen für die Entleerung des Bunkers ergibt. Die Umlaufzeit des Fahrzeugs beträgt $t_u = t_w + t_k + t_k + t_e + t_p$. Es gilt ferner bei n Transporten

$$\begin{aligned} t_m &= n t_u \\ G_t &= n M \\ \dot{G}_t &= G_t/t_t = nM/n t_u = M/t_u \\ \dot{G}_t &= \frac{M}{2t_w + 2t_k + t_e + t_p} = \dot{G}_e \end{aligned}$$

Die für die Aufrechterhaltung des Fließtransports nötigen Nutzmassen sind für verschiedene Hof-Feld-Entfernungen und für die Geschwindigkeitsbereiche von 15, 24 und 36 km/h in **Bild 8 und 9** zusammengestellt. Anhänger mit kleinen Nutzmassen reichen danach für Erntemaschinen mit größeren Leistungen nicht aus. Als Ersatzlösung könnte man beispielsweise statt eines 8-t-Anhängers einen Transportzug mit zwei 4-t-Anhängern wählen, ein Verfahren,

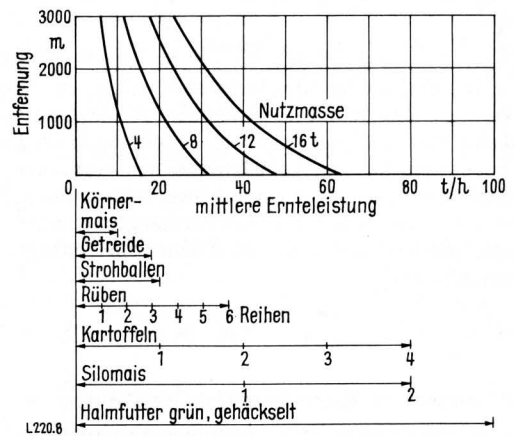


Bild 8. Erforderliche Nutzmasse des Anhängers abhängig von der Ernteleistung bei prozeßgebundenem, stetigem Transport mit Standwagen.

Fahrgeschwindigkeit 15 km/h; zwei Anhänger; ein Standwagen

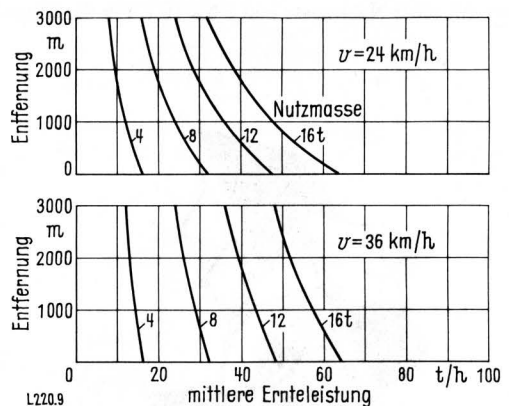


Bild 9. Erforderliche Nutzmasse des Anhängers abhängig von der Ernteleistung bei 24 und 36 km/h Fahrgeschwindigkeit und prozeßgebundenem, stetigem Transport mit Standwagen.

v Fahrgeschwindigkeit

Bild 10. Vergleich der Transportleistung von einem 8-t- und zwei 4-t-Anhängern beim stetigen Transport mit Standwagen.

v Fahrgeschwindigkeit

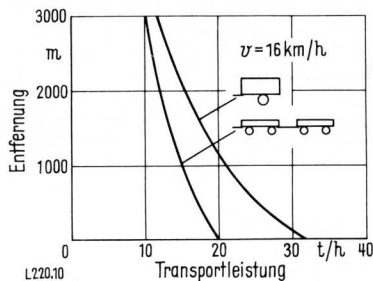
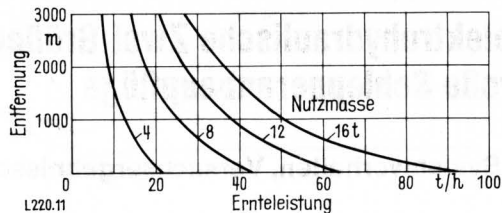


Bild 11. Erforderliche Nutzmasse beim Überladebetrieb mit stetigem, prozeßgebundenem Transport (zwei Schlepper und zwei Anhänger) abhängig von der Ernteleistung bei 15 km/h Fahrgeschwindigkeit.



wie es häufig anzutreffen ist; die Transportleistung wird dann erheblich vermindert, **Bild 10**, was auf die doppelten Nebenzeiten zurückzuführen ist.

Bei geringen Feldentfernungen hat die Fahrgeschwindigkeit kaum einen Einfluß auf die Transportleistungen, **Bild 8** und **9**; sie macht sich erst bei größeren Feldentfernungen bemerkbar. Hier liegt auch der Einsatzbereich für den Schnell-Schlepper, der zweifellos in solchen Fällen eine Schlüsselstellung einnimmt.

2.3. Verhältnisse beim Fließverfahren mit Überladebetrieb

Beim Fließverfahren mit Überladebetrieb, d.h. bei Übernahme des Erntegutes in den parallelfahrenden Wagen, wird der Vorteil der vollständigen Ausnutzung der Erntemaschine durch den zusätzlichen Einsatz eines Schleppers mit einer zweiten Arbeitskraft erkaufte. Die Erntemaschine und die Transporteinrichtungen arbeiten stetig, es ist somit das Verfahren für den hochmechanisierten Betrieb. Die Umlaufzeit für die Transporteinheit beträgt in diesem Fall $t_u = t_w + t_f + t_e$, darin ist t_f die Zeit, während der das Gut von der Erntemaschine in den Transportwagen übernommen wird. Somit ist $t_f = M/\dot{G}_e = 2l/v + t_e + t_p$. Die zugeordnete Ernteleistung beträgt dann $\dot{G}_e = \frac{M}{2l/v + t_e + t_p}$.

Für diese Bedingungen ist das Ergebnis in **Bild 11** dargestellt. Die Fahrgeschwindigkeit wurde mit 15 km/h, die Pufferzeit t_p mit 6 min angenommen. Die erforderliche Nutzmasse ist größer als bei Verwendung von Standwagen; es handelt sich also um ein Verfahren, das höchste Ansprüche an die Transportleistung stellt. In diesem Fall ist auch der Einsatz von Großkippern für große Nutzmassen vorteilhaft. Bei größeren Feldentfernungen ergibt sich ein Ausgleich durch höhere Fahrgeschwindigkeiten; der Schnell-Schlepper hat hier seine wesentliche Bedeutung.

2.4. Nutzungsgrad von Maschine und Schlepper

Ein Vergleich der drei behandelten Ernteverfahren gibt Aufschluß über den Nutzungsgrad der Erntemaschine und der Transporteinrichtung und damit für eine ökonomische Beurteilung der Verfahren. Für den Maschinennutzungsgrad bei absätzigem Betrieb gilt:

$$\eta_m = \frac{t_s}{t_s + t_b + t_t}$$

Darin bedeuten t_s die Maschinenbetriebszeit zum Sammeln des Erntegutes und t_b die Bunkerentleerungszeit des Ernters. Beim absätzigem Verfahren mit Standwagen ist $t_t = 0$, beim stetigen Überladebetrieb $t_b + t_t = 0$, **Tafel 2**. Für den Nutzungsgrad der

Tafel 2. Verfahren der Erntebergung.

Nr	Ernte				Transport					
	AK	Schlepper	Maschine	Verfahren	Techn. Nutzungsgrad	AK	Schl.	Anhänger	Verfahren	Techn. Nutzungsgrad
1	1	1	1	absätzig	$\frac{t_s}{t_s + n t_b + t_t} \ll 1$	-	-	1	absätzig	$\frac{2l/v + t_e}{2l/v + t_e + n t_b} \ll 1$
2	1	1	1	absätzig	$\frac{t_s}{t_s + n t_b} < 1$	1	1	2	stetig	$\frac{2l/v + t_e}{2l/v + t_e + 2t_k} < 1$
3	1	1	1	stetig	$\frac{t_s}{t_s} = 1$	2	2	2	stetig	$\frac{2l/v + t_e}{2l/v + t_e} = 1$

Anhänger bei absätzigem Betrieb gilt dann $\eta_a = \frac{2l/v + t_e}{2l/v + t_e + 2t_k + n t_b}$.

Bei stetigem Transport von Standwagen entfällt im Nenner der Summand $n t_b$, bei stetigem Überladebetrieb weiterhin der Summand $2 t_k$.

L 220