

Landtechnik von morgen

Folge

19

Eine Zusammenfassung landtechnischer Fachvorträge, die von ihren Verfassern anlässlich der 22. Landtechnischen Informationstagung auf Gut Schlüterhof am 2. Oktober 1979 gehalten wurden.

1. Entwicklungstendenzen bei leistungsstarken Ackerschleppern, Technische Möglichkeiten und Probleme; von Prof. Dr. Ing. Walter Söhne, Direktor des Institutes für Landmaschinen der Technischen Universität München, Seite 3
2. Leistungssteigerung beim Geräteeinsatz - durch höhere Geschwindigkeiten, größere Arbeitsbreite oder Gerätekombination? Von Prof. Dr. Heinz Lothar Wenner, Direktor des Institutes für Landtechnik und Vorstand der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München in Weihenstephan, und AR Dr. H. Auernhammer, Dipl.-Ing. agr. G. Wendl, Institut für Landtechnik Weihenstephan, Seite 19
3. Moderne Saattechnik bei Mais; von Ing. agr. Josef Schrödl, DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt, Seite 41
4. Chancen zur Energiekosteneinsparung bei der Körnertrocknung; von AOR Dr. Arno Strehler, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik der TU München, in Freising-Weihenstephan, Seite 49



Herausgegeben von der
MOTORENFABRIK ANTON SCHLÜTER MÜNCHEN — WERK FREISING

Entwicklungstendenzen bei leistungsstarken Ackerschleppern

Technische Möglichkeiten und Probleme.
von Prof. Dr.-Ing. Walter Söhne
Direktor des Institutes für Landmaschinen der Technischen Universität München

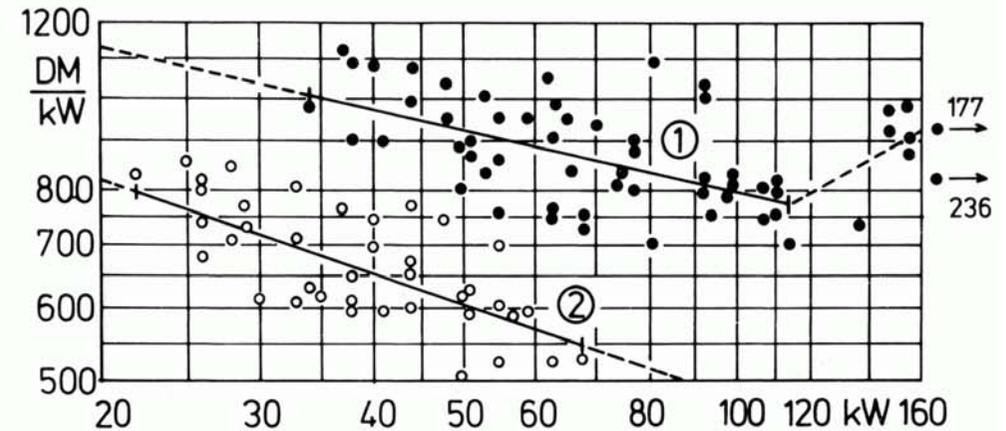
Eine Prognose der künftigen Entwicklung der Traktoren muß zunächst von der technischen und von der Marktentwicklung der Ackerschlepper in der Vergangenheit ausgehen. Am augenscheinlichsten ist dabei die kontinuierliche Erhöhung der Motorleistung. Während die mittlere Leistung in den Jahren 1958 bis 1978 von 15 kW auf 48 kW zunahm, hob sich der Leistungsbereich der schweren Zugschlepper auf 70 - 130 kW und darüber hinaus in geringen Stückzahlen bis 362 kW. Die Leistung des Universalschleppers stieg in den Bereich 30 - 80 kW. Schmalspurspezialschlepper liegen jetzt im Bereich von 20 - 50 kW.

Das nächste Kriterium war das Vordringen zahlreicher neuer Funktionen und die Vergrößerung der Gangzahl des Triebwerkes. Weiterhin wurde der Wirkungsgrad der Kraftübertragung besonders verbessert durch Allradantrieb und eine günstigere, dem Reifen angepaßte Gewichtsverteilung. Immer wieder waren es dabei die Schlepper hoher Leistung, bei denen der technische Fortschritt zuerst verwirklicht wurde.

Eine hohe Sicherheit gegen Umsturz wurde seit der Einführung der Umsturzsicherungsrichtungen 1970 erreicht; der Komfort verbesserte sich besonders seit 1974 durch isolierte Kabinen mit hohem Lärmschutz.

Als zukünftige Aufgaben werden von Welschhof niedrigere Produktionskosten und die Aufnahme weiterer Funktionen für die bessere Kontrolle angesehen [1].

Gliedern wir die Schlepper nach Bauformen, die von der Spezialisierung des Betriebes und von der Arbeitsfläche je Maschine abhängen, so sind 85 % aller Schlepper nach wie vor Universalschlepper in Standardform. Sowohl die Systemschlepper, Geräteträger und Schmalspurschlepper als auch die Schlepper sehr hoher Leistung haben nur einen geringen Anteil an der Produktion. Die



- ① Allradantrieb mit Komfortkabine
- ② Hinterradantrieb mit Schutzrahmen

Bild 1:
Schlepperleistungspreis in DM/kW in Abhängigkeit von der Motorleistung für Schlepper mit Allradantrieb mit Komfortkabine und für Schlepper mit Hinterradantrieb mit Umsturzsicherungsrichtungen nach DLZ 10/1978.

selbstfahrende Feldmaschine dominiert als Mähdrescher, dringt aber bei Feldhäckslern, Vollerntemaschinen für Hackfrüchte und Bodenbearbeitungskombinationen nur relativ langsam vor.

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Preisentwicklung. Bild 1 zeigt den Schlepperleistungspreis, Stand 1977/78, in DM/kW für Einzelschlepper mit Hinterradantrieb, Schutzrahmen und Wetterschutzverdeck. Er beträgt bei 60 kW etwa 570 DM/kW. Dem gegenüber kostet die Allradausführung mit Komfortkabine, abgesehen von einer beträchtlichen Streubreite bei 60 kW rund 890 DM/kW. Der Allradantrieb allein kostet bei 35 kW rund 7.000 DM und bei 75 kW rund 12.000 DM mehr. Genauso wie in der Automobilindustrie Fahrzeuge sehr unterschiedlicher Klassen ihre Abnehmer finden, scheint in der Landwirtschaft auch die Bereitschaft und finanzielle Möglichkeit zu be-

stehen, besonders bei Schleppern großer Leistung für komfortablere Ausstattung erheblich höhere Preise zu bezahlen, allerdings weniger aus Prestige Gründen, sondern nach den Anforderungen des Betriebes wegen der höheren Zugkräfte des Allradantriebs und mit Rücksicht auf die jährliche Stundenzahl, die ein Landwirt auf seinem Schlepper verbringen muß.

Tabelle 1

Mindestausstattung	Komfortausstattung
Hinterradantrieb	Allradantrieb
Sicherheitsschutzrahmen mit Wetterschutzverdeck	Komfortkabine
8-Gang-Getriebe teilsynchronisiert	12- bis 16-Gang-Getriebe synchronisiert und teillastschaltbar
mechanische Lenkung	hydraulische Lenkung
serienmäßige Bereifung	größere Reifen
	Frontzapfwelle und Frontdreipunktaufhängung
einfacher Sitz	Komfort-Sitz
geringere Qualität	höhere Qualität

Tabelle 1 stellt Beispiele für Mindest- und Komfortausstattung einschließlich Hinterrad- und Allradantrieb einander gegenüber, wobei mit steigender Motorleistung und mit speziellen Anforderungen die Tendenz zur Komfortausstattung geht.

Die Entwicklung der Ackerschlepper der einzelnen Hersteller war nun dadurch gekennzeichnet, daß nach und nach das Programm durch Einführung neuer Typen höherer Motorleistung mit Allradvarianten erweitert wurde, während gleichzeitig Typen in der Klasse bis 26 kW aufgegeben wurden. Aus Gründen der Kostenersparnis wurden bei den einzelnen Herstellern Schlepperfamilien entwickelt. Bild 2 zeigt als Beispiel eine nach der Leistung streng geometrisch gestufte Schlepperreihe mit drei Schlepperfamilien, A, B und C. Die Absatzanteile wurden nach einer Prognose der Leistungsklassen für 1982 angenommen. Die Schwerpunkte der einzelnen Hersteller werden natürlich unterschiedlich sein.

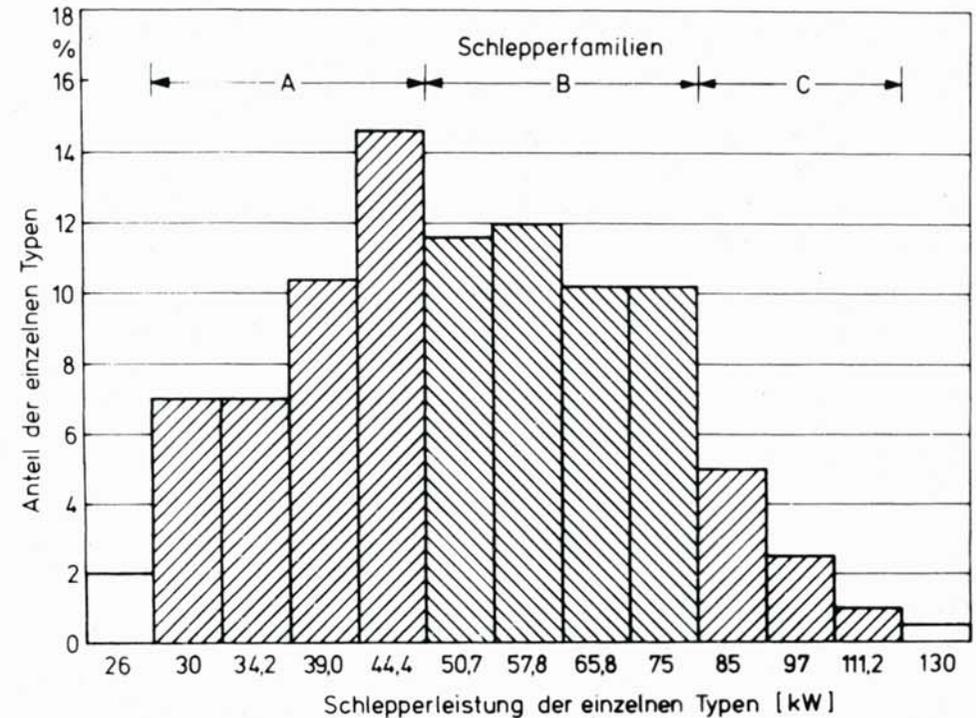


Bild 2:

Prognose des Absatzes der einzelnen Schlepperleistungsklassen bei einer angenommenen streng geometrisch gestuften Motorleistung für 1982.

Die Schlepperfamilie A von 30 bis 44 kW und die Schlepperfamilie B von 50 bis 75 kW habe jeweils gleiche Getriebe. Die schwere Zugschlepperfamilie C bestehe aus 3 Schleppertypen von 85 bis 110 kW. Die Familie A würde für 3 Schleppertypen 3-Zylinder-, für einen Typ 4-Zylinder-Motoren benötigen, die Familie B 4-bis 6-Zylinder-Motoren — 5-Zylinder mögen an Bedeutung gewinnen — Die schwere Zugschlepperfamilie C würde mit 6-Zylinder-bzw. 6-Zylinder-Turbo-Motoren ausgerüstet.

Bemerkenswert ist auch das stetig gestiegene Leistungsverhältnis von Schleppern maximaler zu denen mittlerer Leistung. Es betrug

Mitte der 50-er Jahre etwa 47 zu 15 kW, also das dreifache, im Jahre 1970 132 kW aus dem Hause Schlüter zu 35 kW, also das 3,8-fache und 1976 235 zu 44 kW, also das 5,3-fache der mittleren Leistung.

In Amerika werden etwa 9.000 Schlepper jährlich mit Knicklenkung, gleichgroßen Reifen und einer mittleren Leistung von 160 kW abgesetzt; dieser Wert mag noch bis auf 200 kW zunehmen.

Die Steigerung der Schlepperleistung hat natürlich das Ziel, eine höhere Arbeitsproduktivität zu erreichen. Darüber hinaus aber trägt eine hohe Kapazität in Bestellung, Pflege und Ernte dazu bei, optimale Termine einzuhalten und dadurch wetterbedingte Ertrags-einbußen und Schwankungen zu verringern. Mit großen Schlep-pern lassen sich ferner am ehesten die vom Gesetzgeber vorge-schriebenen, aber auch vom Landwirt gewünschten Forderungen an einen komfortablen Arbeitsplatz verwirklichen oder richtiger, die schädlichen Wirkungen von Lärm, Schwingungen, Staub und Witterung reduzieren.

Das Leistungswachstum schwerer Zugschlepper wird aber da-durch eingeschränkt,

- daß ein neuer größerer Traktor weniger Stunden auf einem Gut mit gleichbleibender Größe arbeitet und die Kosten pro Arbeitsstunde entsprechend anwachsen,
- daß das Risiko beim Ausfall des größeren Traktors und Gerätes zunimmt und
- daß es Transportschwierigkeiten von einem Teil eines nicht ar-rondierten Gutes zum anderen gibt, Zwillingsreifen erlauben keinen Straßentransport,
- daß das Gerätegewicht progressiv mit der Arbeitsbreite we-gen des Verbindungsrahmens für die Geräte ansteigt.

Zwar könnte bei gleichbleibendem Schleppergewicht, aber mit steigender Leistung, schneller gearbeitet werden; auch hier er-geben sich Grenzen durch den quadratischen Widerstandszuwachs beim Pflügen mit größerer Geschwindigkeit und durch die höhere körperliche Schwingungsbeanspruchung des Fahrers. Eine Mög-lichkeit einer weiteren Leistungssteigerung gäbe es allerdings, wenn beim Pflügen bei gleichbleibendem Gewicht ein Teil der Lei-

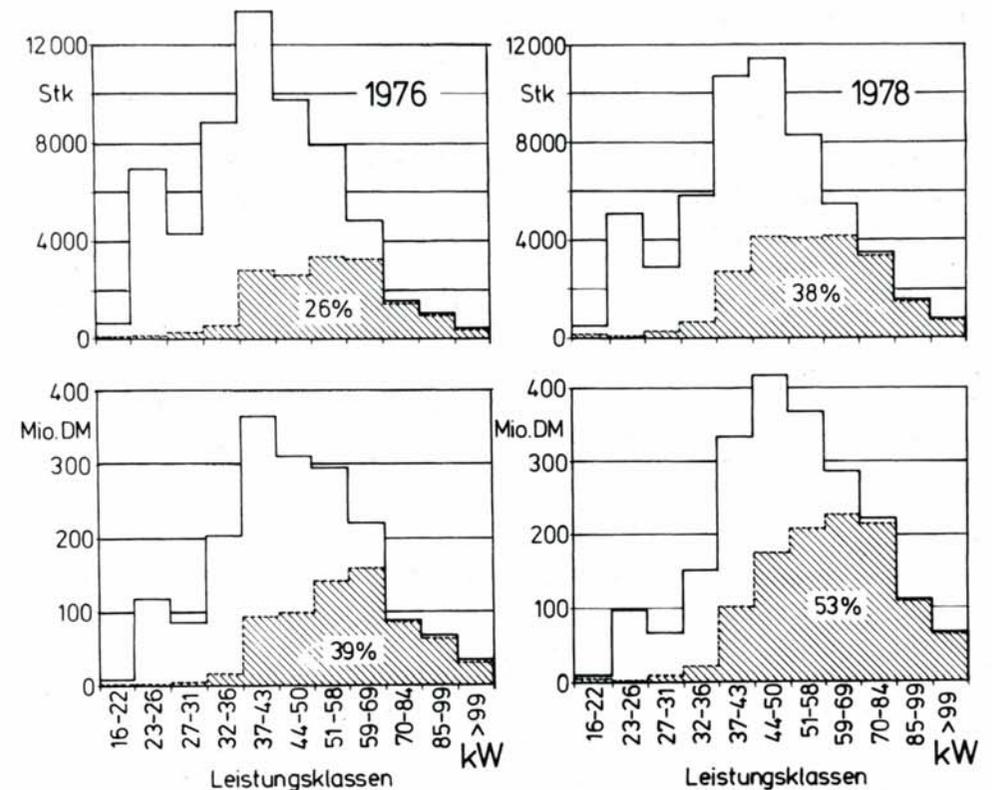


Bild 3: Anteil des Allradantriebes an den Stückzahlen und am Umsatz bei verschiedenen Leistungsklassen für die Jahre 1976 und 1978.

stung über die Zapfwelle in angetriebene Nachbearbeitungsgeräte übertragen wird.

Im Ganzen scheint, wenn man einmal von 600 kW, ja sogar 900 kW-Monstern absieht, — entsprechende Entwürfe soll es sowohl in den USA als auch in der UdSSR geben — die maximale Leistungsgrenze nahezu erreicht zu sein.

Allradantrieb

Über die Vorzüge des Allradantriebes habe ich an dieser Stelle schon vor 12 Jahren gesprochen. Bei Schlüter spielte der Allradantrieb schon früh eine große Rolle.

Die Verbesserung des Wirkungsgrades mit Allradantrieb bei unseren klimatischen Bedingungen und Bodenzuständen haben trotz des höheren Preises zu einem bemerkenswerten Vordringen der Schlepper mit Allradantrieb geführt, gerade auch in den letzten beiden Jahren (Bild 3). Der Anteil der Allradschlepper stieg von 1976 bis 1978, also in nur 2 Jahren, von 26 auf 38 %, ihr Umsatzanteil von 39 % auf mehr als die Hälfte. Dazu beigetragen hat auch das vergrößerte Angebot an Schlepperlenktriebachsen. Bei Leistungen über 60 kW sollte also die Schlepperkonzeption von vornherein auf Allradantrieb ausgelegt werden.

Leistungsgewicht

Im Zusammenhang mit dem Allradantrieb ist auch das Leistungsgewicht von Bedeutung.

Wenn man die Leistungsübertragung vom Triebwerk auf den Boden optimieren will, muß Leistungsgewicht und Fahrgeschwindigkeit bei möglichst niedrigem Reifeninnendruck aufeinander abgestimmt sein. Traktoren mit hohem Leistungsgewicht können die Motorleistung bei geringerer Geschwindigkeit auf den Boden übertragen, haben aber höhere Rollwiderstandsverluste. Traktoren mit niedrigem Leistungsgewicht müssen schneller arbeiten und gegebenenfalls mehr Zusatzgewichte neben dem aufgebrachten Gewicht der Anbaugeräte verwenden.

Bild 4 zeigt das Leistungsgewicht von hinterrad- und allradangetriebenen Schleppern in Abhängigkeit von der Motorleistung. Durch Schutzrahmen bzw. Kabinen hat das Leistungsgewicht gegenüber 1966 (gestrichelte Linien) wieder etwas zugenommen, besonders bei Allradschleppern mit Komfortkabine. Da aber Allradantrieb eine höhere Leistung auf den Boden übertragen kann als Hinterradantrieb, könnte das Leistungsgewicht der Allradantriebschlepper eher geringer sein als das der hinterradangetriebenen gleicher Leistung. Deshalb scheint Leichtbau angebracht, wobei ein Teil der Leichtbauaufwendungen durch Materialersparnis wiedergewonnen werden könnte. Hohe Zusatzgewichte sind in je-

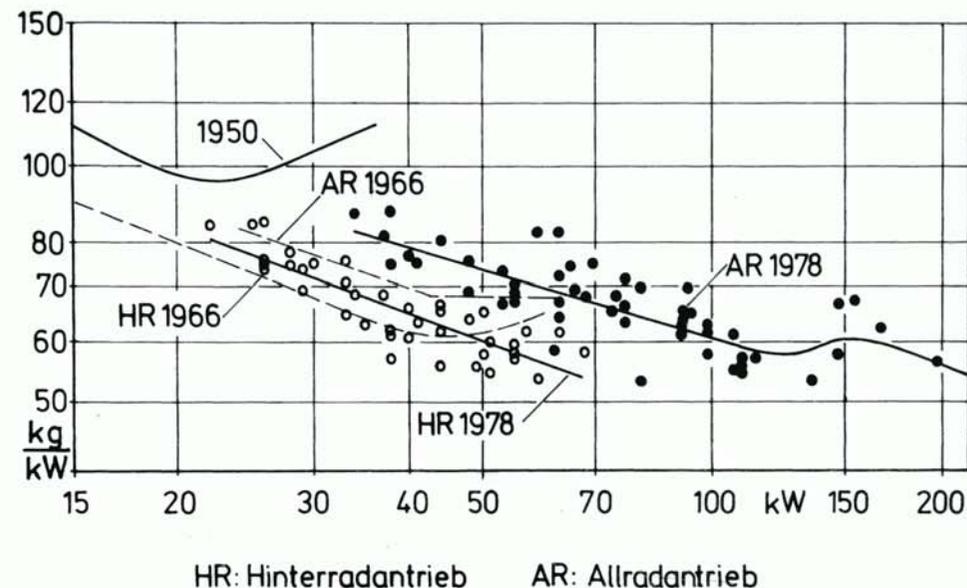


Bild 4: Schlepperleistungsgewicht für Allradschlepper mit Komfortkabine und für Hinterradschlepper mit Schutzrahmen für 1978 sowie Vergleich mit Allrad- und Hinterradschleppern 1966 (gestrichelte Linien) und Schleppern 1950.

dem Fall wünschenswert, weil durch Verlagerung der Zusatzgewichte, nämlich weit vor der Vorderachse oder in großvolumigen Vorder- oder Hinterrädern die Schwerpunktslage entsprechend den jeweiligen Geräten optimiert werden kann. Die Gewichtsverteilung vorn und hinten muß in jedem Fall der Tragfähigkeit der Reifen angepaßt sein, z. B. muß bei einem schweren Anbaudrehpflug etwa gleich viel Ballast vor der Vorderachse und in den Vorderreifen untergebracht werden. Wechselt das Gerät, müßte man u. U. eine andere Ballastverteilung wählen, damit die Vorderachse ohne Pflug nicht zu stark belastet wird. Theorie und Versuch zeigen, daß man den sogenannten Multipasseffekt ausnützen muß, um den Gesamtwirkungsgrad der Kraftübertragung zu verbessern. Multipass heißt gleich breite, möglichst gleich schwere Reifen in gleicher Spur.

Tabelle 2

Schlepper 88 kW (120 PS)
Leergewicht 5200 kg,

mit Ballast 1000 kg | 7200 kg
mit Pflug 1000 kg

		Reifen- kombinationen %	Leergewicht Anteil %	mit Ballast und Pflug %	Reifen- innendruck bar	Ausnutzung d. Tragfähigkeit
1	vorn	16.9-30	61	47,1	1.3	89,2
	hinten	16.9-30	39	52,9	1.3	100
2	vorn	16.9-26	56	42,2	1.3	85,3
	hinten	16.9-38	44	57,8	1.3	97,7
3	vorn	14.9-26	51	38,4	1.3	92,5
	hinten	16.9-38	49	61,6	1.4	99,4
4	vorn	13.6-28	46	34,5	1.3	98,1
	hinten	18.4-34	54	65,5	1.3	95,7
5	vorn	12.4-26	41	30,7	1.4	96,9
	hinten	18.4-38	59	69,3	1.3	95,4

Für einen 88 kW-Schlepper käme z. B. eine Reifenkombination nach Tabelle 2 in Frage. In dieser Tabelle werden die Vorderräder von 1 bis 5 immer kleiner und die Hinterräder immer größer; Lösung 1 hat gleich große Reifen. Bei Leergewicht sollten rund 60 % des Gewichts auf die Vorder- und 40 % auf die Hinterachse entfallen. Mit Ballast und Pflug, also im Betrieb, ändert sich das Verhältnis auf 47 % zu 53 %. Bei Lösung 2 werden gleich breite Reifen, aber mit unterschiedlichem Durchmesser und zwar 16.9-26 vorn, 16.9-38 hinten, mit einer Leergewichtsverteilung 56 % zu 44 % verwendet. Lösung 5 hat relativ kleine Reifen 12.4-26 vorn und große 18.4-38 hinten. Dabei nimmt der statische Gewichtsanteil vorn von 61 % (Lösung 1) auf 41 % (Lösung 5) ab, mit Ballast und Pflug von 47,1 % auf 30,7 %.

Das Bild 5 zeigt die äußere Erscheinung der Schlepperlösungen 2 bis 5 mit unterschiedlichen Reifenkombinationen.

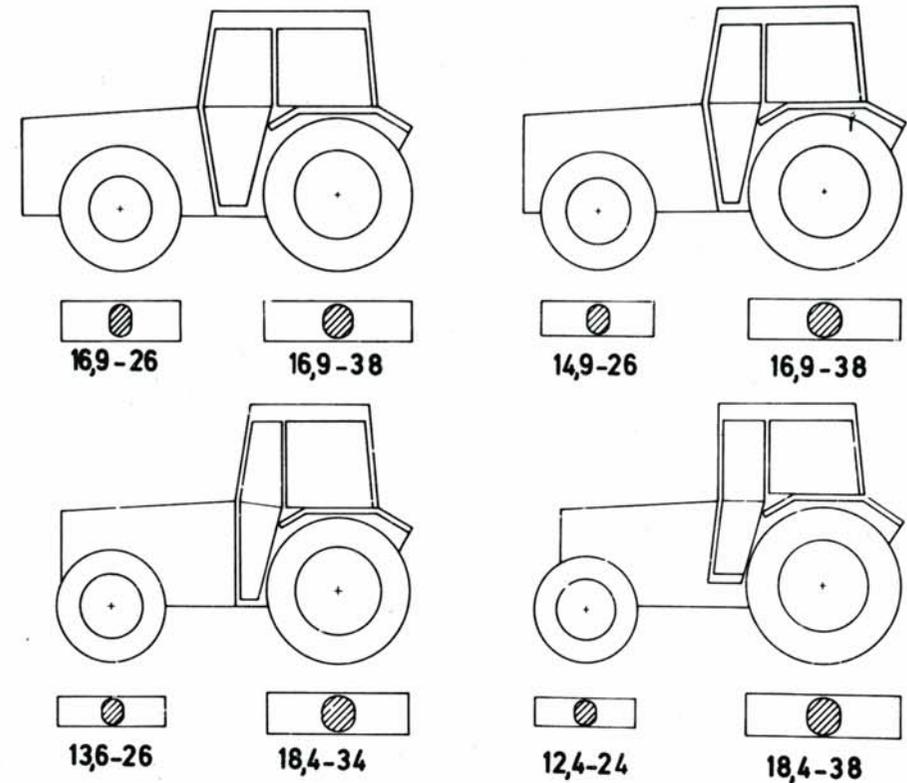


Bild 5:
Seitenansicht der Schlepperkonzeptionen 2 - 5 nach Tabelle 2 mit gleicher Leistung und gleichem Gewicht, aber unterschiedlichen Reifenkombinationen und unterschiedlicher Schwerpunktslage.

Eine rechnerische Untersuchung der Triebkraftbeiwerte, Rollwiderstandsbeiwerte und des Wirkungsgrades der Kraftübertragung in Abhängigkeit vom Schlupf bei den unterschiedlichen fünf Kombinationen von Vorder- und Hinterrädern ergibt, daß bei guten Bodenverhältnissen: trockener Lehm, Stoppelfeld (Bild 6), die Unterschiede relativ gering sind. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen, z. B. einem nassen Rübenacker, treten jedoch erhebliche Unterschiede der Triebkräfte und des Wirkungsgrades auf (Bild 7). Von diesen fünf Lösungen sollte die erste Lösung mit gleich gro-

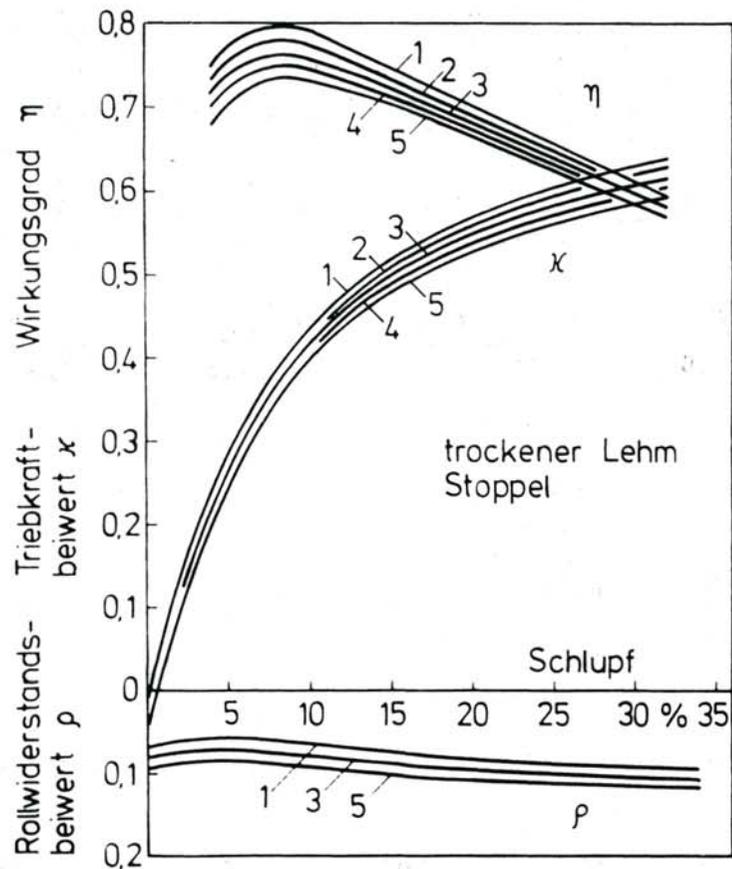


Bild 6:
Wirkungsgrad, Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwert der verschiedenen Schlepper mit Allradantrieb nach Tabelle 2 in Abhängigkeit vom Schlupf auf trockenem Lehm-Stoppelfeld.

Bei Rädern vorn und hinten bei Leistungen über 140 kW gewählt werden, während im Bereich zwischen 75 - 135 kW die Lösung 2 als optimal erscheint, weil sie den Multipasseffekt verwirklicht, aber noch eine Vorderradlenkung zuläßt und nicht Allradlenkung oder Knicklenkung erforderlich macht.

Je größer die Vorderreifen sind und je höher sie belastet werden, umso mehr können die Hinterreifen entlastet, die Flächenpressung in der Kontaktfläche reduziert und im ganzen die Kraftüber-

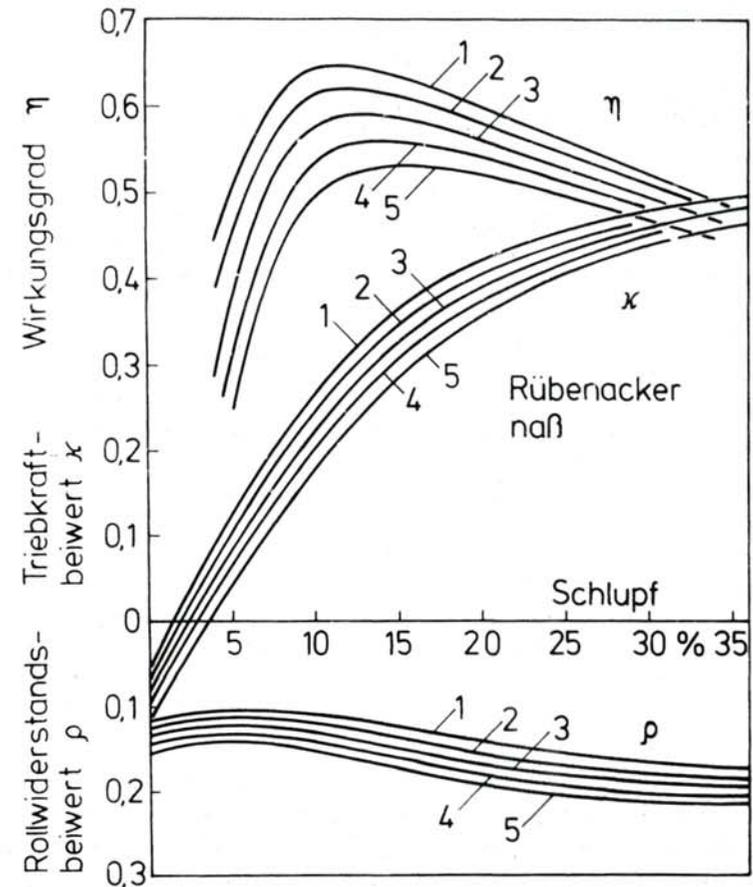


Bild 7:
Wirkungsgrad, Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwert der verschiedenen Schlepper mit Allradantrieb nach Tabelle 2 in Abhängigkeit vom Schlupf auf nassem tonigem Rübenacker.

tragung durch Multipass verbessert werden. Auch bei Pflegearbeiten erlaubt diese Kombination schmalere Reifen, z. B. 9.5-32 vorn, 9.5-48 hinten. Bei Kraftregelung muß darauf geachtet werden, daß die Schleppervorderachse nicht zu stark entlastet wird, damit der Vorzug des Allradantriebs auch wirklich zum Tragen kommt. Vielleicht wird man in Zukunft auch einmal Schlupf und Achslast elektronisch messen und daraus Regelimpulse für die Kraftregelung gewinnen.

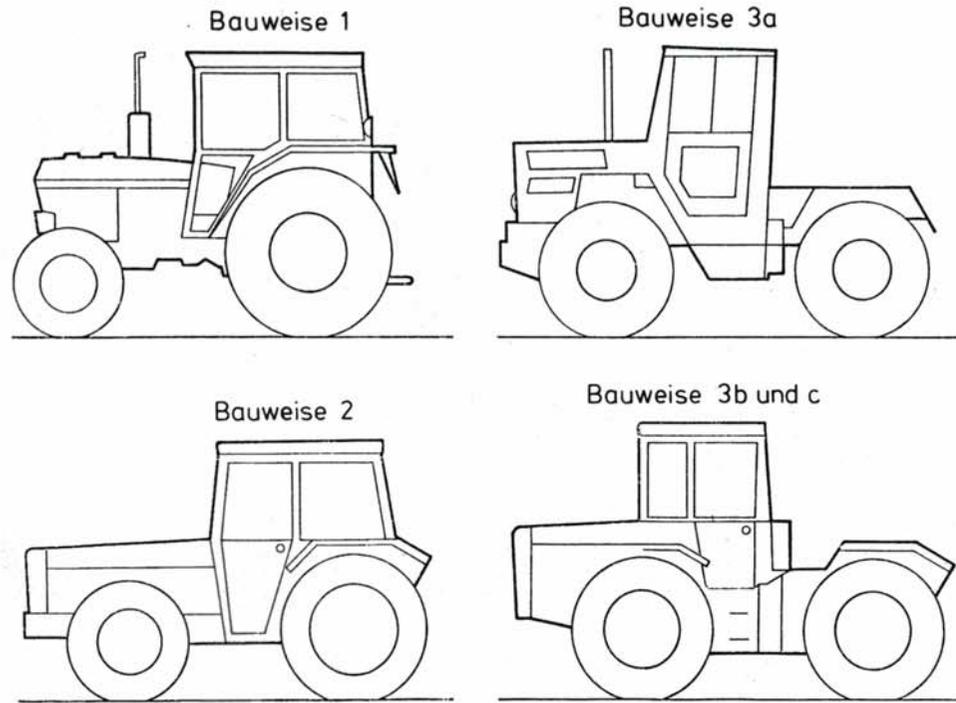


Bild 8:
Gegenüberstellung verschiedener Schlepperkonzepte hoher Leistung mit Allradantrieb.

Bild 8 zeigt noch einmal eine Gegenüberstellung verschiedener Allradschlepperkonzepte hoher Leistung. Bauweise 2 hat gleich breite Vorder- und Hinterräder, aber mit kleinerem Durchmesser vorn sowie Vorderradlenkung.

Bauweise 3b und 3c mit gleichgroßen Reifen vorn und hinten haben Allrad- bzw. Knicklenkung.

Bei amerikanischen klimatischen Verhältnissen konnte sich der Allradantrieb bei Standardschleppern nicht durchsetzen, weil die Preisdifferenz noch zu groß ist. Anders ist es dort bei den Knicklenkern. Sie machen 12 % der Gesamt-kW-Umsätze aus und haben keinen höheren kW-Preis als Standardschlepper.

Was die Schlepperreifen betrifft, so gewinnen die Gürtelreifen, deren Vorteile wir an dieser Stelle schon 1971 betont haben, immer mehr an Bedeutung. Bei gleicher Gelegenheit wurde auch auf die Vorteile der Terra-Reifen mit großer Breite, einem Innendruck von 0,4 - 0,6 bar und relativ kleinem Durchmesser für Arbeiten am Schräghang hingewiesen. Die Grasnarbe wird auch bei hohen Zugkräften geschont. Eingang gefunden haben diese Reifen damals noch nicht. Jetzt aber wurden sie erstmalig auf der Ausstellung von Weinbauschleppern in Stuttgart mit Erfolg präsentiert. Von Schmalpurschleppern abgesehen finden Schlepper unter 26 kW bei uns wegen der hohen Gebrauchtzahl in dieser Leistungsklasse zur Zeit keinen Absatz mehr. Die Japaner werden rechtzeitig zur Stelle sein, wenn man Uralt-Schlepper niedriger Leistung ersetzen muß.

Entwicklung der Schleppermotoren

Ein wesentliches Kriterium für eine kostengünstige Fertigung von Schleppermotoren ist das Baukastensystem, d.h. die Verwendung gleicher Zylinderabmessungen für 2- bis 6-Zylinder-Motoren und die Schaffung von Typfamilien zur Fertigungserleichterung und Verringerung der Ersatzteilhaltung. Weiterhin war der Übergang zur Direkteinspritzung mit verringertem Kraftstoffverbrauch und eine Tendenz zu niedriger Nenndrehzahl, u.a. auch mit Rücksicht auf die Lärmverminderung, von Bedeutung.

Bild 9 zeigt die Zylinderzahl in Abhängigkeit von der Motorleistung. Die 2-Zylinder-Motoren sind fast völlig verschwunden. Bemerkenswert ist, daß im Leistungsbereich über 90 kW überwiegend 6-Zylinder-Motoren mit Abgasturboladern verwendet werden. Die Nutzung der Abgasenergie mit Turbolader führte bisher vornehmlich zur Leistungssteigerung. Sie kann aber auch eine Verringerung des Kraftstoffverbrauchs ermöglichen. Die nicht ganz einfache Anpassung von Motor und Lader wird durch teilweises Abblasen von Ladeluft oder Abgas im oberen Bereich realisiert.

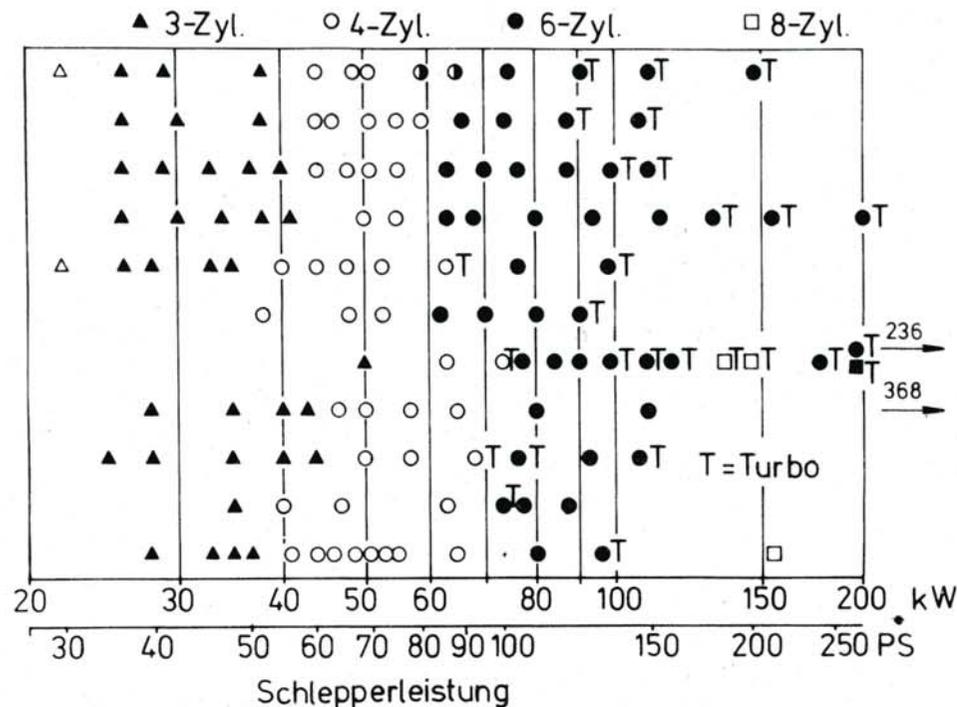


Bild 9:
Zylinderzahl von Schleppermotoren verschiedener Hersteller in Abhängigkeit von der Motorleistung.

Energieeinsparung

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bei den Verbrennungsmotoren haben das Ziel, die Emissionen von bestimmten Abgasbestandteilen und von Geräuschen zu verringern und gleichzeitig den Kraftstoffverbrauch weiter zu senken. Dabei sind aber infolge des hohen Entwicklungsstandes der Dieselmotoren nur noch geringe Verbesserungen an motorischen Arbeitsverfahren und an Einzelkomponenten möglich.

Auch für den Traktorfahrer wird die Energieeinsparung - so günstig der Schlepper-Diesel bei Direkteinspritzung schon war - ein Kardinalproblem. Dabei kann auch eine sorgfältige Auslegung der

Nebenaggregate, wie z. B. der Ölpumpe, bei geringerer Drehzahl eine Rolle spielen.

Bekanntlich beschäftigt sich BMW mit einer selektiven Abschaltung einzelner Zylinder im Teillastbereich. Die abgeschalteten Zylinder werden mitgeschleppt, die restlichen arbeiten im Teillastbereich in günstigeren Betriebspunkten des Kennfeldes, so daß der Gesamtwirkungsgrad günstiger wird. Zwar wird beim Ackerschlepper ebenfalls häufig in niedrigem Teillastbereich gearbeitet, doch ist dann beim Diesel der Verbrauch wegen der Einspritzung nicht so ungünstig wie beim Ottomotor. Es ist also fraglich, ob dieses Verfahren, wenn erprobt, für Ackerschlepper übernommen werden kann.

Comprexverfahren

Anstelle der relativ trägen konventionellen Abgas-Turbolader-Aufladung können durch die Druckwellenmaschine Comprex (Bild 10) das Drehmoment und die Leistung von Diesel-Motoren bei schnellerem Ansprechen erhöht werden. Der Comprex besteht im wesentlichen aus einem Rotor in Form eines Zellenrades, in welchem das Abgas entspannt und die Verbrennungsluft verdichtet wird, wobei ein günstiger Drehmoment-Drehzahlverlauf, besonders in niedrigem und mittlerem Drehzahlbereich sowie ein wesentlich besseres Beschleunigungsvermögen als beim Turbolader erreicht wird. Das Luftschwingungssystem arbeitet fast trägheitslos und stößt weniger Rauch bei der Beschleunigung aus. Nachteilig sind aber bis jetzt die höheren Kosten und das größere Bauvolumen gegenüber dem Turbolader. Weitere Erfahrungen sind abzuwarten, [2].

Abgasturboaufladung und Ladeluftkühlung

Bekanntlich ist die Leistung eines Dieselmotors umso größer, je größer die für die Verbrennung benötigte Luftmasse pro Arbeitstakt im Zylinder wird. Deshalb wird bei der Aufladung die Ansaugluft verdichtet. Hierbei erhöht sich aber auch die Lufttemperatur und zwar bei einer Verdichtung auf zwei bar um rund 80°. Damit steigen nicht nur die Temperaturen der thermisch am höchsten beanspruchten Bauteile, wie Kolben, Zylinderkopf und Auslaß-

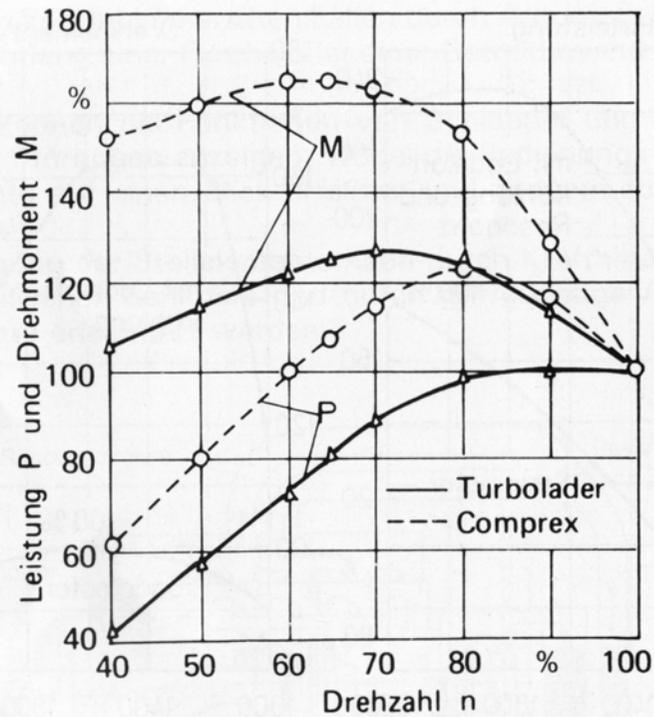


Bild 10:
Leistung und Drehmoment von Dieselmotoren mit Aufladung durch Turbolader und Comprexverfahren.

ventil, sondern die Luftdichte wird wieder reduziert. Diesen Nachteil soll die Ladeluftkühlung beseitigen. Heute kommt es jedoch nicht so sehr auf eine Leistungssteigerung, als vielmehr auf die Möglichkeit an, mit Hilfe der Ladeluftkühlung den spezifischen Kraftstoffverbrauch zu verbessern und den Anteil an Stickoxyden NO_x im Abgas herabzusetzen. Eine Absenkung der Ladelufttemperatur, z. B. um 10° , hat eine Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs um ca. 0,5 % zur Folge. Weiterhin kann die Leistung bei gleichbleibender thermischer Belastung um 3 - 4 % erhöht und die NO_x -Emission um 5 - 8 % gesenkt werden [3].

Bei 1200 U/min kann z. B. im Kühler die Temperatur von 63° auf 25° und bei 2600 U/min von 122° auf 48° abgesenkt werden. Allerdings hat die Ladeluftkühlung den Nachteil, daß der Spitzendruck im Zylinder und damit die mechanische Belastung ansteigt und daß auch der Kühler Platz braucht.

Vor kurzem hat MAN einen Motor mit Ladeluftkühlung vorgestellt [4], einen der von herkömmlichen Motoren stark abweichenden Drehmomenten- und Leistungsverlauf aufweist (Bild 11). Das maximale Drehmoment im Bild rechts von 1350 Nm erstreckt sich über einen Drehzahlbereich von 1200 bis 1600 U/min. Bei einer Drehzahl von 1900 U/min im Bild links steht bereits die maximale Leistung von 235 kW zur Verfügung. Bei 1700 U/min ergibt sich der niedrigste Kraftstoffverbrauch mit 212 g/kWh bei 97 % der maximalen Motorleistung. Bemerkenswert ist der steile Anstieg des Drehmoments im Anfahrbereich. Diese Momenten-Charakteristik wird durch Resonanzrohre und Resonanzbehälter zwischen Ladeluftkühler und dem Zylinder erreicht. Bild 12 zeigt Lader, Verdichter und den Ladeluftkühler vor dem Wasserkühler. Dabei sind Behälter und Rohre so abgestimmt, daß durch Resonanz der schwingenden Luftsäule in einem bestimmten Drehzahlbereich, nämlich zwischen 1200 und 1600 U/min, ein zusätzlicher Aufladeeffekt eintritt. Dieses Schwingsystem bei der Ladeluftkühlung kann nur bei 6-Zylinder-Motoren angewandt werden. Auch für Schlepperturbodiesel hoher Leistung könnte dieses Verfahren interessant werden.

Getriebe

Auch die Schleppergetriebe haben eine bemerkenswerte Entwicklung durchgemacht. In Bild 13 ist die Zahl der Vorwärtsgänge in den einzelnen Schlepperleistungsklassen wiedergegeben. Danach beherrschen im wesentlichen 8-, 12- und 16-Gang-Getriebe den Markt. Die 12-Gang-Getriebe bestehen aus einem 6-Gang-Schaltgetriebe und einer 2-Gang-Gruppe, wobei die 2-Gang-Gruppe als Planetengetriebe kraftschlüssig ausgebildet werden könnte. Die 16-Gang-Getriebe sind aus dem 8-Gang-Gruppengetriebe, kombiniert mit einer zweiten Gruppe, hervorgegangen. Letzteres ist in den USA in der Regel als Planetengetriebe

mit hydraulisch beaufschlagten Kupplungen kraftschlüssig ausgebildet.

Für eine Erweiterung vorhandener Getriebe eignen sich Planetenradgruppen deswegen besonders, weil sie wellengleichen Abgang haben und sich auch leicht kraftschlüssig ausbilden lassen.

Von der wahlweisen Erweiterung mit kraftschlüssigen Gängen, also von 8 auf 16 Gänge, machen in der hohen Leistungsklasse über 66 kW etwa 60 - 80 % aller US-Farmer Gebrauch. Getriebe, bei denen alle Stufen unter Last schaltbar sind, wie Ford "Select-O-Speed", konnten sich nicht durchsetzen.

In Deutschland dominieren u. a. mit Rücksicht auf umfangreiche Transportaufgaben nach wie vor synchronisierte 8- und 12-Gang-Gruppengetriebe, welche mit Kriechgängen erweitert werden können. Der höhere Komfort der Lastschaltstufen, die Möglichkeit, ohne Zugkraftunterbrechung mit höherer Gangzahl und verbesserter Anpassung an den Zugkraftbedarf zu schalten und dadurch eine höhere Flächenleistung zu erzielen, wird auch bei uns mehr und mehr gefordert werden. Dementsprechend hat die Zahnradfabrik Friedrichshafen in der Baureihe T 6000 für Leistungen von 74 - 170 kW Triebwerke angeboten, die aus einem 5- oder 6-Gang-Hauptgetriebe bestehen, das mit verschiedenen sperrsynchronisierten oder lastschaltbaren Splitgetrieben kombiniert werden kann.

Bei der Entwicklung neuer Getriebe sollte nach Renius [5] im Hauptarbeitsbereich, nämlich von 4 - 12 km/h, eine Verdichtung der Gänge stattfinden. Ausgehend von der relativen Benutzungsdauer in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Bild 14) läßt sich eine Benutzungsdauer eines beliebigen Getriebes, hier eines 16-Gang-Getriebes, über der Fahrgeschwindigkeit im logarithmischen Maßstab darstellen.

Erhöht man die Zahl der Schleppergänge im Hauptarbeitsbereich von 4 - 12 km/h auf sieben (Bild 15), so erhält man hier Stufensprünge der Geschwindigkeit von nur 15 %. Bei sehr kleiner und hoher Geschwindigkeit betragen die Stufensprünge bei dem 16-Gang-Getriebe auch nur 22,5 %. Konstruktiv ist diese Lösung aber nur näherungsweise zu realisieren.

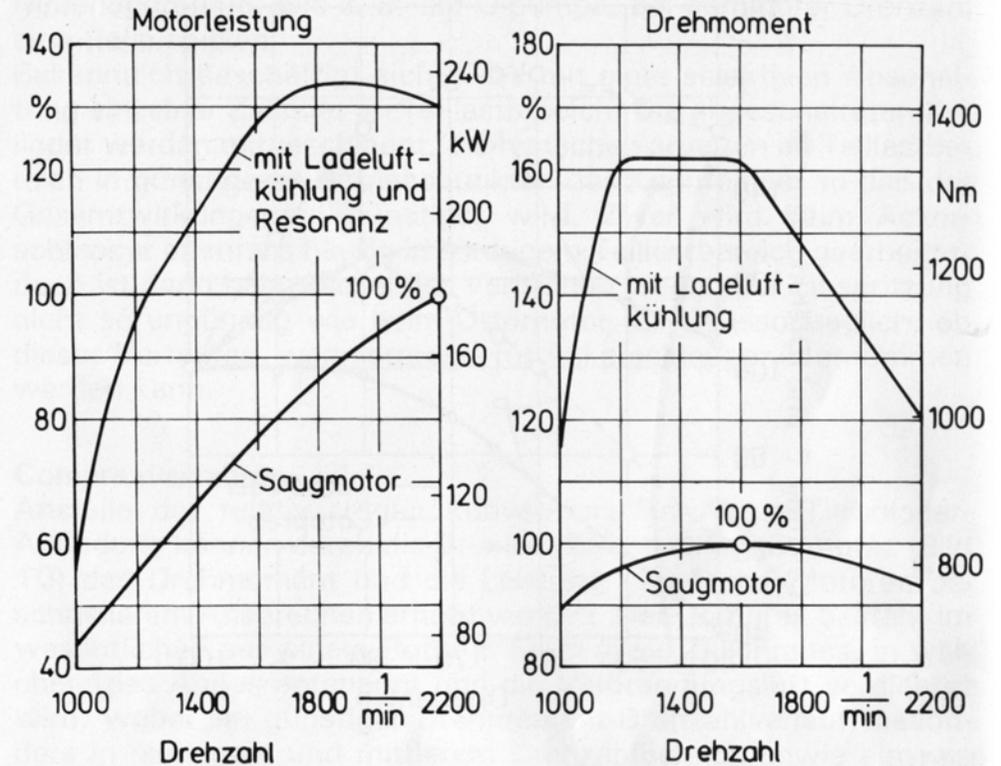


Bild 11: Motorleistungs- und Drehmomentverlauf eines MAN-Motors mit Abgasturboaufladung, Ladeluftkühlung und Resonanzaufladeeffekt.

Weitere Verbesserungen der Arbeitsbedingungen und Entlastung des Schlepperfahrers

Von den Arbeitsbedingungen hängen die Leistungsfähigkeit des Schlepperfahrers, damit Arbeitsgüte und Arbeitsumfang, aber auch gesundheitliche Risikofaktoren ab. Deshalb hat ein nach ergonomischen Gesichtspunkten gestalteter Arbeitsplatz eine große Bedeutung. Bei den Belastungen muß man unterscheiden, nach solchen aus Tätigkeiten am Arbeitsplatz, wie Lenken, Überwachen von Schlepper und Gerät, Betätigen der Stellelemente und solchen aus Umweltbedingungen am Arbeitsplatz, nämlich aus Klima, insbesondere Hitzebelastung, durch Staub, Schwingungen und Lärm.

Das Lenken könnte in manchen Fällen durch Automatisieren nach Leitlinien entlang einer Furche oder einer Getreidewand erleichtert werden.

Sensoren können die Funktionen von Schlepper und Gerät einschließlich Störungen anzeigen, wobei die Bedienungs- und Kontrollelemente auf einen Blick erfaßbar und bequem zu erreichen sein müssen.

Die Betätigung der Stellelemente kann durch Krafthilfen, wie bei der hydraulischen Lenkhilfe und durch griffgünstige Anordnung der Elemente erleichtert werden.

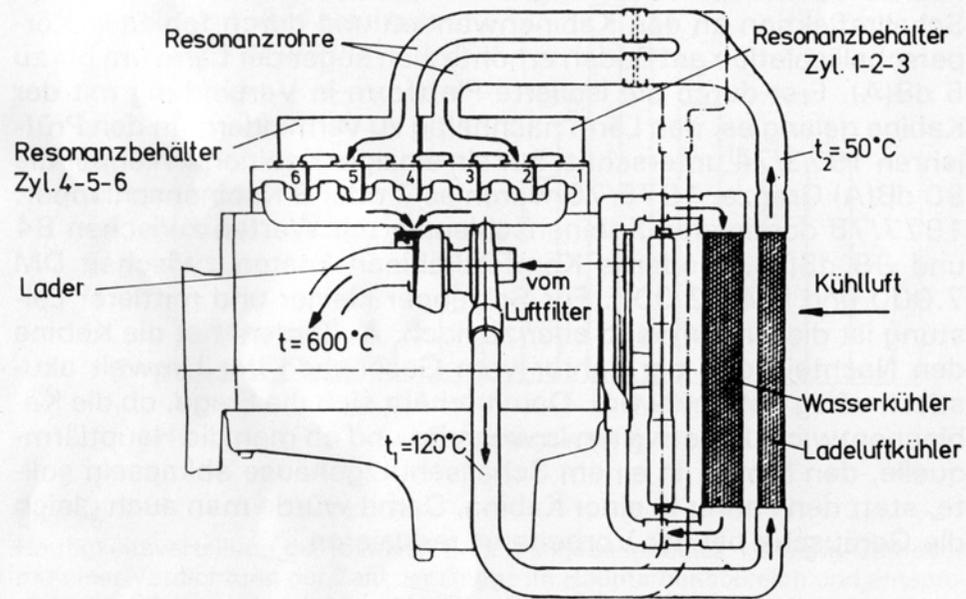


Bild 12: MAN-Fahrzeug-Dieselmotor mit Aufladung, Ladefluftkühlung und Resonanzaufladeeffekt.

Die Umweltbedingungen am Arbeitsplatz können verbessert werden durch Klimatisieren, staubschutzsichere Kabine und durch Schwingungsminderungen durch geeignete Sitze und durch die gesamte Schlepperkonzeption.

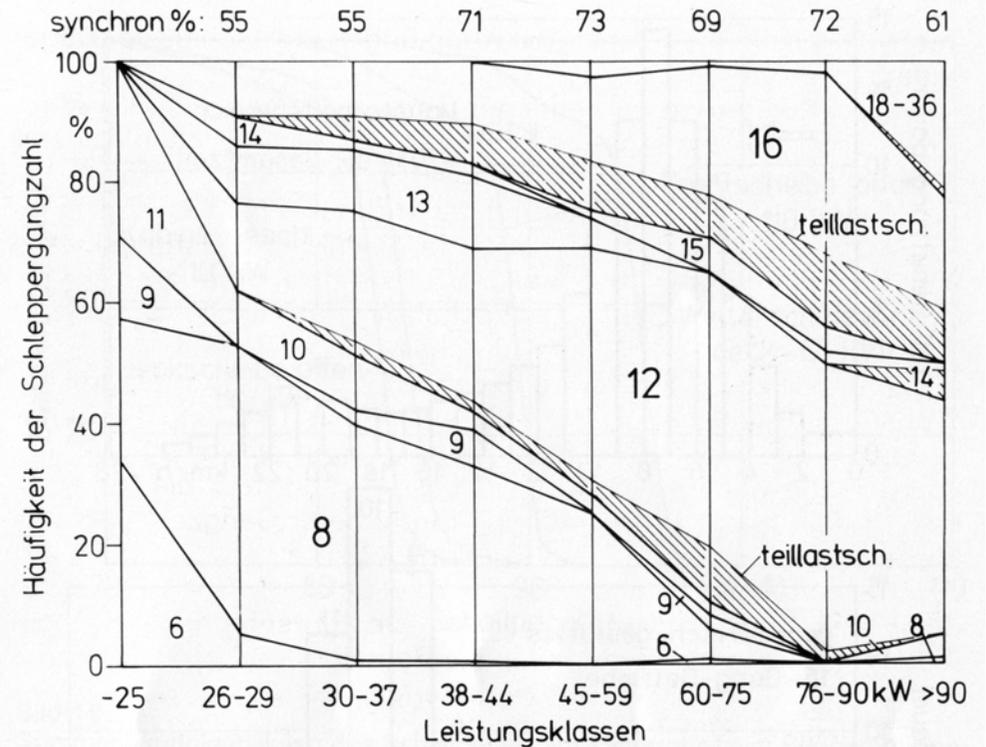


Bild 13: Zahl der Schleppergänge in den einzelnen Leistungsklassen.

Verringerung des Schlepperlärms

Nach den Vorschriften der Berufsgenossenschaften, die sich im Laufe der Jahre verschärfen, darf der Lärm am Fahrerohr für die nach dem 1.7.1981 neu in den Verkehr kommenden Acker-schlepper den Wert von 90 dB(A) generell nicht überschreiten, nicht nur wie bisher, bei geschlossener Kabine. Um diese Forde-rung zu erfüllen, haben die Schlepperhersteller in der Vergan-genheit eindeutig den Weg einer lärmgeschützten integrierten Kom-fortkabine mit vom Schlepperrumpf isolierter Plattform gewählt. Bild 16 nach Witte [6] zeigt am Beispiel der Summenhäufigkeitsli-nien des Schallpegels am Fahrerohr, d.h. des Lärmverlaufs über längere Zeit gemessen, daß sich hierbei eine Verbesserung um 10

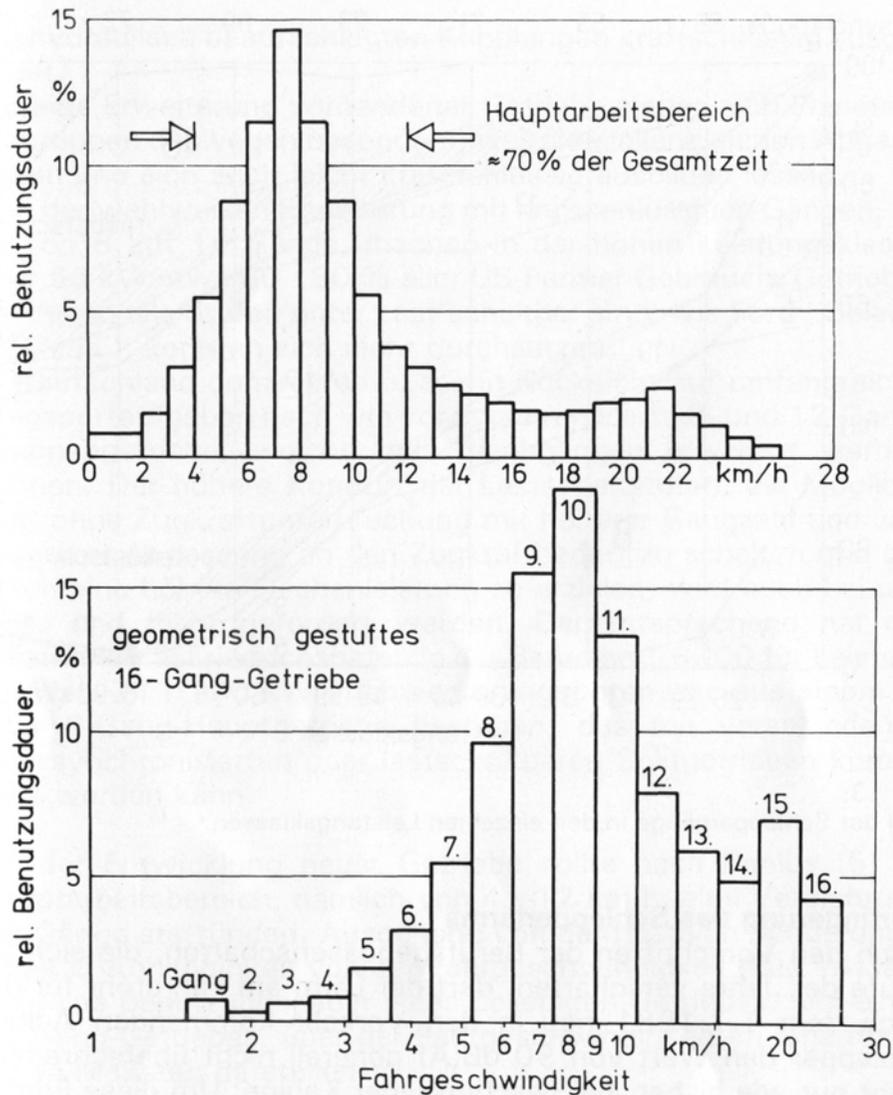


Bild 14: Häufigkeitsverteilung der relativen Benutzungsdauer eines Schleppers in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit nach Renius [5] und relative Benutzungsdauer eines danach streng geometrisch gestuften 16-Gang-Getriebes.

dB(A) eines 110 kW Kabinenschleppers gegenüber einem 68 kW Schlepper mit Wetterschutzverdeck erreichen läßt.

Häufig kann aber die Kabine im geschlossenen Zustand bei Sonneneinstrahlung kein behagliches Innenklima gewährleisten, sondern muß geöffnet werden. Öffnet man nur die Heckscheibe oder gegebenenfalls die Seitenscheiben, dringt der Lärm vom Motor noch nicht allzusehr in die Kabine ein. Schlimmer ist es jedoch bei geöffneter Frontscheibe, bei der mehr als die Hälfte des Schutzeffektes verloren geht.

Als die Wetterschutzverdecke in Verbindung mit Sicherheitschutzrahmen durch Kabinen ersetzt wurden, führte dies zunächst zu keiner Minderung des Lärms am Fahrerohr. Durch Schallreflektion an den Kabinenwänden und durch fehlende Körperschallisolierung am Boden erhöhte sich sogar der Lärm um bis zu 5 dB(A). Erst durch die isolierte Plattform in Verbindung mit der Kabine gelang es, den Lärm nachhaltig zu vermindern. In den Prüfjahren 1973/74 unterschritt nur ein einziger Kabinenschlepper die 90 dB(A) Grenze. 1975/76 waren es 7 oder 8 Kabinenschlepper. 1977/78 dominieren Kabinenschlepper mit Werten zwischen 84 und 88 dB(A). Moderne Komfortkabinen kosten zwischen DM 7.000 und DM 12.000. Für Schlepper kleiner und mittlerer Leistung ist dieser Aufwand aber zu hoch. Außerdem hat die Kabine den Nachteil, daß der Fahrer vom Geschehen der Umwelt akustisch völlig getrennt wird. Damit erhebt sich die Frage, ob die Kabinenentwicklung etwa ein Irrweg war und ob man die Hauptlärmquelle, den Motor, in einem Schallschutzgehäuse abkapseln sollte, statt den Fahrer in einer Kabine. Damit würde man auch gleich die Geräusche bei der Vorbeifahrt reduzieren.

In unserem Institut hat R. Bacher hierfür erfolgversprechende Lösungen gefunden. Der erste Schritt ist der Übergang von der Blockbauweise zum Halbrahmen und Aufhängung des Motors in denselben, wie sie 1974 von Thien (AVL Graz) vorgeschlagen wurde. Das ist nun eine entscheidende Änderung, denn seit dem Fordson-Schlepper 1916 hat die Blockbauweise die Schlepperkonstruktion beherrscht.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Schalleitung nur dann verhindert wird und ein echter Schallschutz nur dann er-

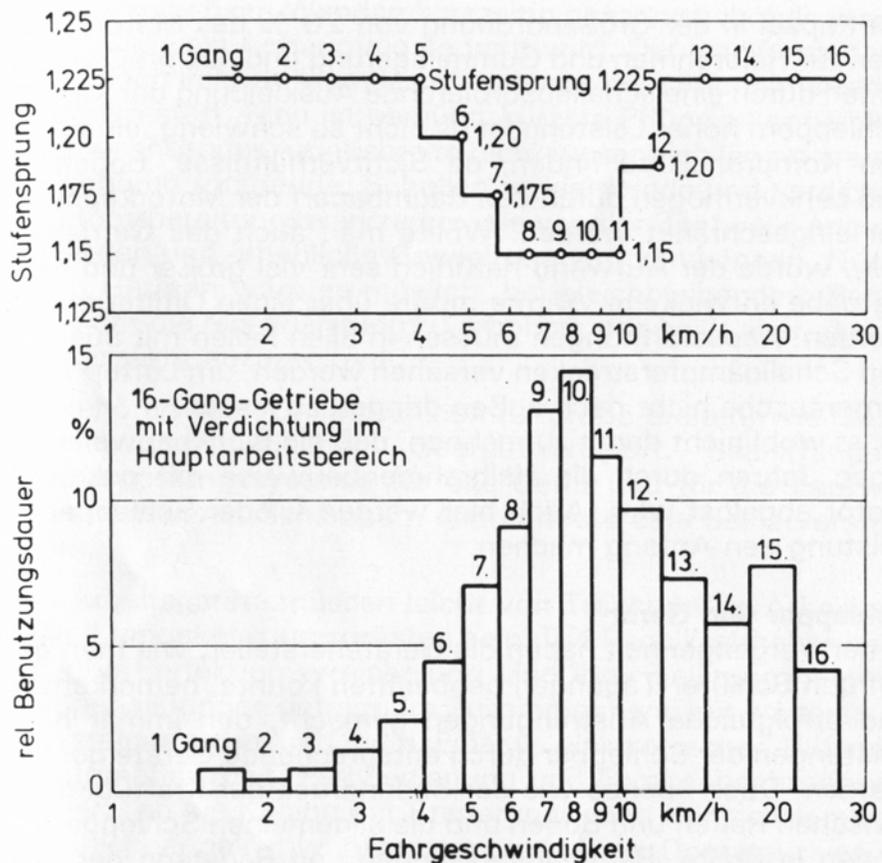


Bild 15: Häufigkeitsverteilung der relativen Benutzungsdauer eines 16-Gang-Getriebes mit einer Verdichtung der Zahl der Gänge im Hauptarbeitsbereich und entsprechenden Stufensprüngen der einzelnen Gänge nach Renius [5].

reicht werden kann, wenn der Motor sehr weich im Halbrahmen gelagert ist, was eine Gelenkwelle zwischen Motor und Getriebe erforderlich macht. In Bild 17 ist der Schallpegel am Fahrerohr für

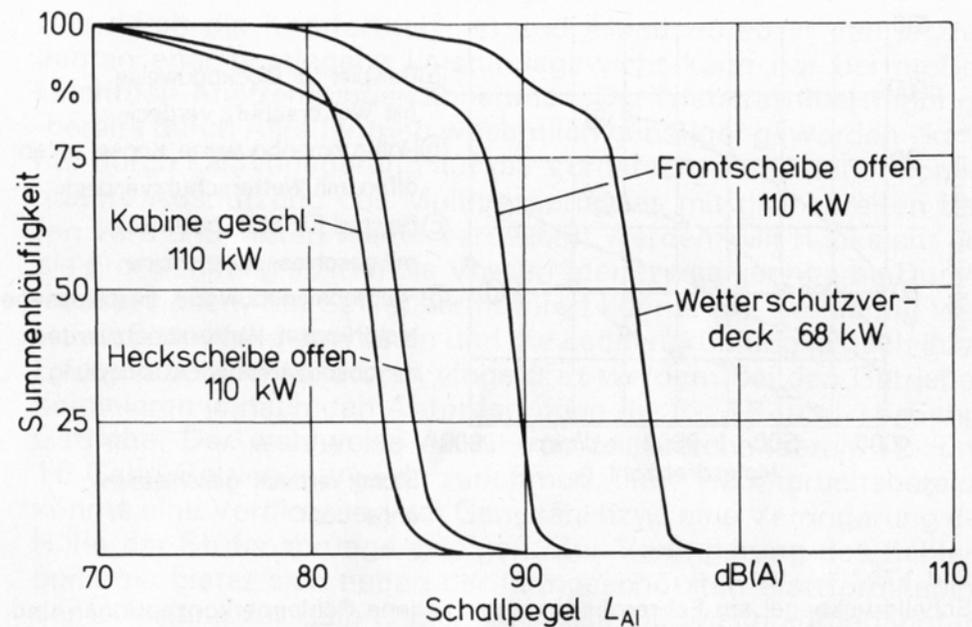


Bild 16: Summenhäufigkeitslinien des Schallpegels am Fahrerohr beim Pflügen mit unterschiedlichen Schlepperausstattungen und teilweise geöffneten Front- und Heckscheiben nach Witte [6].

verschiedene Schlepperkonzeptionen in Abhängigkeit von der Motordrehzahl dargestellt. Dabei bedeutet

- die klassische Blockbauweise in Verbindung mit einem Wetterschutzverdeck
- die Halbrahmenbauweise mit einer unten offenen Kapsel und mit Wetterschutzverdeck
- die Blockbauweise mit geschlossener Kabine und
- schließlich die Halbrahmenbauweise mit einer geschlossenen Motorkapsel und einem Wetterschutzverdeck, allerdings mit etwas absorbierender Auskleidung.

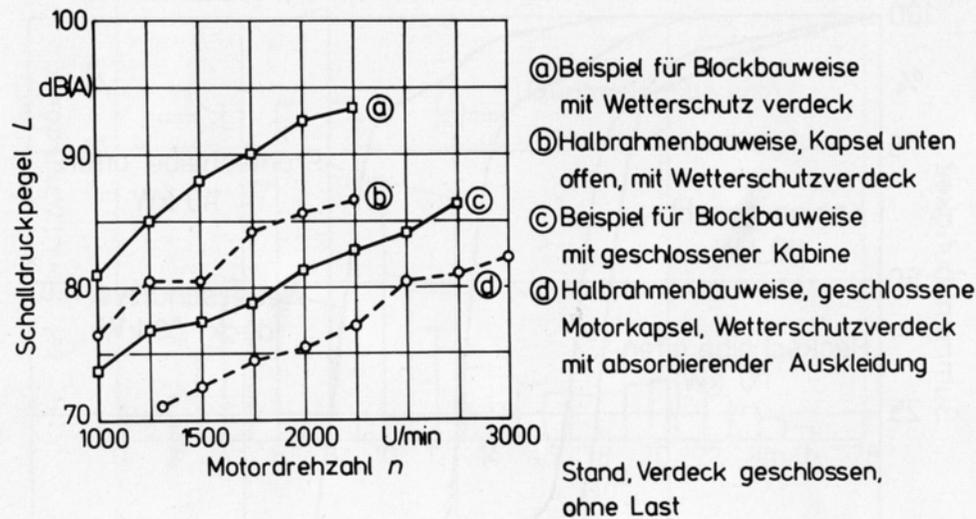


Bild 17: Schalldruckpegel am Fahrerohr für verschiedene Schlepperkonzeptionen und unterschiedliche Schallschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von der Motordrehzahl nach Bacher [7].

Damit ergibt sich bei 2200 U/min eine Verbesserung um nicht weniger als 15 dB(A) im Stand **ohne** Last. Je nach dem Anteil des Getriebelärms nimmt unter Last der Lärm um 3 - 5 dB(A) zu. Dagegen bringen aktive Maßnahmen am Motor, z.B. steiferes Gehäuse etc., nur geringe Verbesserungen. Auch die Verringerung der Nenndrehzahl bei größerem Hubvolumen erscheint für den Ingenieur unbefriedigend. Als Absorbermaterial in der Kapsel können Mineralfasern und offenporiger Schaum verwendet werden. Leider braucht man für die Dämpfung niedriger Frequenzen erhebliche Materialdicken. Schließlich kann es passieren, daß bei einer Minderung der Motorgeräusche durch Kapselung um 10 - 11 dB(A) die Getriebegeräusche dominieren. Auch diese hängen im hohen Maße von der Drehzahl ab. Durch höhere Verzahnungsqualität versucht man, sie zu verringern. Man darf auch nicht die Geräusche aus der Kühler-Lüfter-Gruppe oder durch Pumpen bei der Hydraulik übersehen. Nachteile der Kapselung sind die Kosten für

die Kapsel in der Größenordnung von 20 % des Motors, die Kosten für Halbrahmen und Gummilagerung und das größere Bauvolumen durch eine schallabsorbierende Auskleidung der Kapsel. Bei Schleppern hoher Leistung ist es nicht so schwierig, einen günstigen Kompromiß zu finden, da Sichtverhältnisse, Bodenfreiheit und Lenkvermögen durch den Raumbedarf der Motorkapsel weniger eingeschränkt werden. Wollte man auch das Getriebe kapseln, würde der Aufwand natürlich sehr viel größer und die vom Getriebe entwickelte Wärme müßte über einen Ölfilter abgeführt werden. Kapselöffnungen müssen in allen Fällen mit ausreichenden Schalldämpferstrecken versehen werden, um Lüfter- und Motorgeräusche nicht nach außen dringen zu lassen. Es ist wohl nicht damit zu rechnen, daß die Blockbauweise in wenigen Jahren durch die Halbrahmenbauweise mit gekapseltem Motor abgelöst wird. Auch hier werden wieder Schlepper hoher Leistung den Anfang machen.

Schlepper und Gerät

In der Vergangenheit haben die Gerätehersteller, wie man gerade auf den Schlüter-Tagungen beobachten konnte, bemerkenswerte und erfolgreiche Anstrengungen gemacht, den immer höheren Leistungen der Schlepper durch entsprechende Geräte gerecht zu werden. Doch ebenso wie der Bodendruck der Kraftübertragung zwischen Reifen und Boden und die allgemeinen Schlepperdimensionen in Breite, Reifenabmessungen und Radstand der Schleppergröße Grenzen setzen, so ergeben sich entsprechende Begrenzungen auch aus den Geräten. Problematisch sind die Pflüge. Je größer und länger Anbaupflüge werden, umso größer werden die von ihnen in den Schlepperrumpf eingeleiteten Momente. Die Kraftregelung des vielscharigen Anbaupfluges kann zu erheblichen Lastschwankungen der Schleppervorderräder und entsprechend schlechter Ausnutzung ihrer Triebkräfte führen. Ein Aufsattelflug wäre günstiger. Er hat jedoch Nachteile beim Wenden, z.B. bei Gräben in der Landschaft und ist erheblich teurer. Deshalb ist eine Lösung analog der der Bayerischen Pflugfabrik wünschenswert, bei welcher der Pflug während der Arbeit ein neben der Furche laufendes Hinterrad hat und nur etwa 55 % seines Gewichtes mit geringerem Moment am Schlepper abstützt, während

er andererseits beim Wenden kurzzeitig ganz ausgehoben werden kann und wie ein Anbaupflug gedreht wird. Der Straßentransport findet jedoch in Mittellage des Pfluges mit dem Pflughinterrad auf dem Boden statt. Man ist bemüht, kürzere Pflüge zu entwickeln, die mit wachsender Arbeitsbreite nicht wesentlich länger werden. Dazu gehören rotierende, Schollen zerkleinernde und verdichtende Saatbettbereitungswerkzeuge, die von der Zapfwelle angetrieben werden und erhebliche Gewichte abstützen können. Nur mit solchen Geräten wäre es möglich, bei gleichbleibendem Schleppergewicht die Motorleistung zu erhöhen, das heißt aber, das Leistungsgewicht abzusenken!

Dazu gehören auch Drillmaschinen für große Breiten, wie die Geräte mit pneumatischem Saatguttransport. Selbstfangende Schnellkuppelungssysteme für das Gerät und für die Zapfwelle sind bei schweren Schleppern schon heute eine Selbstverständlichkeit.

Breite Arbeitsgeräte müssen leicht von Transport- in Arbeitsstellung und umgekehrt umzurüsten sein. Die Regelkraftheber haben eine hohe Perfektion erreicht und sind ihrer Leistung nach den Schlepperleistungen gefolgt. Im Zusammenhang mit weiteren Leistungssteigerungen und dem Einsatz elektronischer Hilfsmittel der Automatisierung, Fernbedienung und Fernbeobachtung wird spekuliert, ob die Kabine mit Steuerungs- und Kontrollelementen vom Schlepper gelöst werden kann und ob der Operateur von dieser Kabine aus mehrere Schlepper beobachten und lenken kann. Das aber sind Spekulationen, von denen ungewiß ist, ob sie in naher Zukunft verwirklicht werden und auf die ich nicht weiter eingehen will.

Zusammenfassung:

Eine zukünftige Traktorentwicklung wird nicht mehr im gleichen Maße wie in der Vergangenheit durch die Steigerung der Motorleistung bestimmt, sondern durch eine weitere Vergrößerung der Zahl der Schlepperfunktionen, durch einen großen Anteil von Schleppern mit Allradantrieb, durch Verringerung der Produktionskosten und eine Verbesserung des Schlepperkomforts und der Qualität bei erheblichen Preisdifferenzen je nach Ausstattung.

Das durch die Komfortkabinen und Allradantrieb in den letzten Jahren eher gestiegene Leistungsgewicht kann nur bei großen Leichtbau-Anstrengungen abnehmen. Die Triebkraftübertragung - bereits durch Allradantrieb wesentlich günstiger geworden - kann nur durch Lastverlagerung auf die Vorderachse und durch konsequente Ausnutzung des Multipasseffektes mit gleichbreiten Reifen vorn und hinten weiter verbessert werden. Mit Rücksicht auf die Frontlenkung sollten die Vorderräder etwas geringeren Durchmesser haben. Bei Schleppermotoren könnte die Aufladung weiter an Bedeutung gewinnen und die Ladeluftkühlung je nach ihren Erfolgen bei LKW-Motoren eingeführt werden. Bei den Getrieben dominieren je nach den Anforderungen die 8-, 12- und 16-Gang-Getriebe. Der wahlweise Anteil von teillastschaltbaren 12- und 16-Gang-Getrieben wird zunehmen. Im Hauptarbeitsbereich könnte eine Verdichtung der Gangzahl bzw. eine Verringerung der Höhe der Stufensprünge erfolgen. Zur Verringerung des Schlepperlärms bietet sich neben der lärmgeschützten Plattformkabine der Übergang zur Halbrahmenbauweise mit weich aufgehängtem gekapseltem Motor an. Große Anstrengungen werden gemacht, um die Tätigkeiten am Arbeitsplatz zu erleichtern bzw. zu automatisieren und die Umweltbedingungen am Arbeitsplatz aus Hitzebelastung, Staub und Schwingungen zu verbessern.

Schrifttum

- [1] Welschhof, G.: Kriterien für die Weiterentwicklung von Ackerschleppern. Seminarvortrag im Institut für Landmaschinen der Technischen Universität München, 7.6.1979.
- [2] Meiners, H.H.: Die Druckwellenmaschine Complex als Aufladegerät von Dieselmotoren in Ackerschleppern. Vortrag: VDI-Tagung Landtechnik 27.10.1978, Nürnberg.
- [3] Lettner, K.: Dieselmotoren mit Ladeluftkühlung. Steyr-Daimler-Puch AG: Transport aktuell 2/1979, S. 7/9.
- [4] Nover, K., Höpfner, H.: IAA '79: Energiebewußte Motoren im LKW. KFZ-Anzeiger 17.8.1979, S. 14/18.
- [5] Renius, Th.: Festlegung der Getriebeabstufung von Ackerschleppern nach Fahrgeschwindigkeitskollektiven. Vortrag: VDI-Tagung Landtechnik 27.10.1978, Nürnberg.
- [6] Witte, E.: Lärmbelastung von Schlepperfahrern. Agrartechnik international 58 (1979) 8, S. 26, 28/29.
- [7] Bacher, R.: Lärminderung an Traktoren durch Schallschutzkapseln und Teilkapseln. Vortrag: VDI-Tagung Landtechnik 9.11.1979, Braunschweig.



Leistungssteigerung beim Geräteinsatz

durch höhere Geschwindigkeit, größere Arbeitsbreite oder Gerätekombination?

von Prof. Dr. Heinz Lothar Wenner, Direktor des Institutes für Landtechnik und Vorstand der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik der Technischen Universität München in Weihenstephan, und AR Dr. H. Auernhammer, Dipl.-Ing. agr. G. Wendl, Institut für Landtechnik, Weihenstephan.

Die Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland bevorzugt bei der Anschaffung von Neuschleppern von Jahr zu Jahr weiter steigende Leistungsklassen, ein Trend, der offenbar noch nicht abflacht. Diese jährliche Zunahme der durchschnittlichen Schleppermotornennleistung bei Neuanschaffungen bedeutet aber, daß die Landwirtschaft nach wie vor bemüht ist, die Schlagkraft bei der Arbeitserledigung weiterhin zu steigern, wofür offenbar berechtigte Gründe vorliegen. Die gewünschte höhere Schlagkraft kann jedoch nur durch Zunahme der Geräteleistungen erreicht werden. Als Alternativen zur Erhöhung der Schlagkraft beim Geräteinsatz stehen aber grundsätzlich 3 Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Die **Gerätebreite** bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit zu erhöhen,
2. die **Geschwindigkeit** bei konstanter Arbeitsbreite zu steigern, oder
3. eine **Gerätekombination** zur Einsparung von Arbeitsgängen vorzusehen.

In der Praxis wird in der Regel nicht eine dieser 3 Maßnahmen alleine verwirklicht, es handelt sich vielfach um eine gleichzeitige Erhöhung von Arbeitsbreite und -geschwindigkeit. Umso notwendiger erscheint es jedoch der Frage nachzugehen, welche dieser 3 Möglichkeiten die günstigste Wirkung zeigt und den höchsten Effekt erbringt. Um hierüber eindeutige Aussagen machen zu können, müssen bei gleichen Bedingungen die jeweils notwendigen Schlepperstärken die erzielbaren Flächenleistungen und letztlich die Veränderung der Kosten für die Arbeitserledigung Berücksichtigung finden. Da zur Ermittlung aller dieser Kennwerte ein sehr

hoher Rechenaufwand erforderlich ist und die Behandlung aller wichtigen in der Landwirtschaft vorkommenden Arbeitsgänge zu weit führen würde, soll eine Einschränkung vorgenommen werden auf einige bedeutungsvolle Bereiche der Bodenbearbeitung und der Bestellung. Anhand der Arbeitsgänge Pflügen, Saatbettbereitung und Bestellung soll also exemplarisch die Fragestellung beantwortet werden, ob die breitere, ob die schnellere oder ob die kombinierte Arbeitsweise günstiger ist.

Bevor auf die Untersuchungsergebnisse eingegangen werden kann, müssen jedoch für einen objektiven Vergleich die Rahmenbedingungen und die getroffenen Unterstellungen dargelegt werden. Hinzu kommt, daß bei einer Fülle von wirksamen Einflußfaktoren zwangsläufig Vereinfachungen vorgenommen werden müssen.

Bei der **Ermittlung der notwendigen Schleppermotornennleistung**, die ein wichtiger Kennwert für die 3 Alternativlösungen darstellt und als ein Grundwert auch zur Berechnung der Kosten für die Arbeitserledigung herangezogen werden muß, wurde von günstigen Einsatzbedingungen ausgegangen. Ferner wurden ausschließlich Allradsschlepper unterstellt. Von der erforderlichen Motornennleistung des Schleppers (Abb. 1) werden nach früheren Untersuchungen von Meyer (9) zunächst etwa 17 % für den Motorauslastungsgrad λ benötigt; dieser Wert berücksichtigt die stufenweise Anpassung an die notwendige Arbeitsgeschwindigkeit sowie die nicht mögliche ständige 100 %ige Auslastung des Schleppermotors. Ferner muß ein Getriebewirkungsgrad η_G mit im Durchschnitt 0,85 unterstellt werden, der je nach Anzahl der Untersetzungsstufen etwas schwanken kann. Die höchste Verlustquelle macht jedoch der Laufwerkwirkungsgrad η_L je nach Triebkraftbeiwert und Rollwiderstandsbeiwert aus, der nach Steinkamp f (16;17) von Fahrbahn und Bodenverhältnissen, Reifenbauart, -profil, -luftdruck u.a.m. abhängt; unter sehr günstigen Bedingungen kann der Laufwerkwirkungsgrad einen Wert von 0,72 erreichen, bei günstigen Einsatzverhältnissen kann mit einem Wert von 0,65 gerechnet werden, jedoch bei sehr ungünstigen Bedingungen mit nur 0,45. Es verbleibt folglich ein nutzbarer Leistungsanteil von höchstens 52,6 % der Motornennleistung, im Mittel

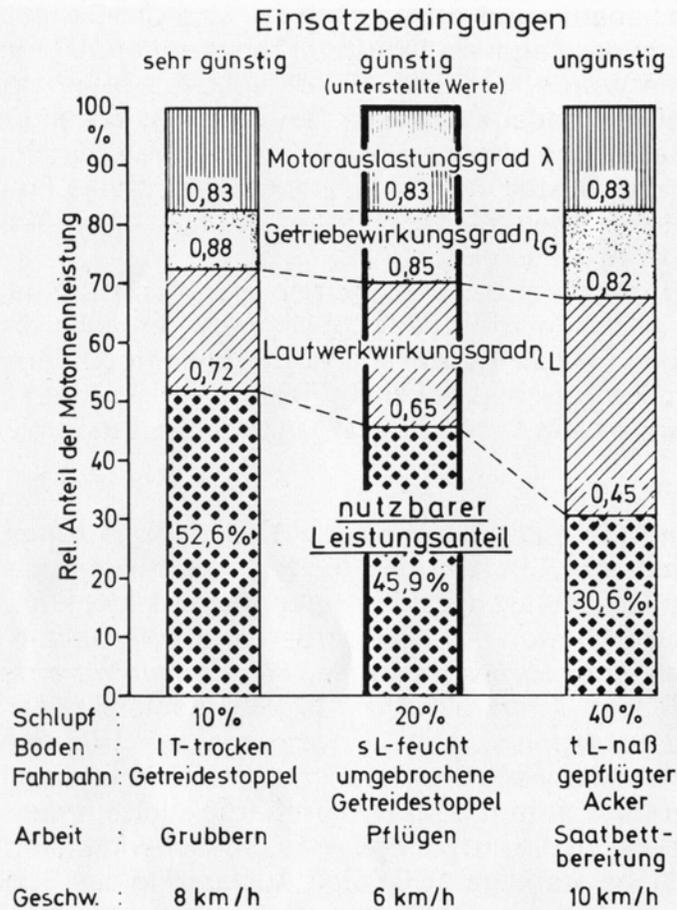


Abb. 1
Wirkungsgrad des Allradschleppers bei Zugarbeit; Bodenbearbeitung; gleiche Bereifung.

bei günstigen Bedingungen von etwa 46 %, bei ungünstigen Verhältnissen jedoch nur 30 %! In den nachfolgenden Berechnungen, z.B. für das Pflügen, wurde bei mittleren Geschwindigkeiten ein Wert von 46 % unterstellt. Danach muß die ermittelte Gerätezugleistung mit einem Faktor von nahezu 2,2 multipliziert werden, um die notwendige Schleppermotornennleistung zu erhalten. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen und auch bei höheren Arbeitsgeschwindigkeiten nimmt dieser Faktor auf über 3 zu.

Bei der **Ermittlung der erforderlichen Zugleistungen** für die Bodenbearbeitungsgeräte mußte ebenso von Durchschnittswerten ausgegangen werden, wobei Grunddaten und Berechnungsformeln den Untersuchungsergebnissen verschiedener Autoren (1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 19; 20; 21; 22) sowie den DLG-Prüfberichten entnommen wurden. Am Beispiel des Pflügens soll die Vorgehensweise und Einengung der Einflußfaktoren deutlich gemacht werden (Abb. 2). Die erforderliche Schleppermotornennleistung für das Pflügen zeigt bei gleicher Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h einen linearen, proportionalen Anstieg mit Zunahme der Arbeitsbreite vom 2- bis zum 10-Scharpflug. Als Einflußfaktoren wurden die Bodenarten, die einen unterschiedlichen spezifischen Pflugwiderstand verursachen, sowie die Arbeitstiefen variiert. Dabei wurde die vereinfachende Annahme getroffen, daß der spezifische Pflugwiderstand mit Zunahme der Arbeitstiefe gleich bleibt; in Wirklichkeit müßten dagegen höhere Pflugwiderstände zugrunde gelegt werden. Als Durchschnittswert, mit dem nachfolgend weitergerechnet wurde, ergibt sich nun je 1 m Arbeitsbreite bei 27,5 cm Arbeitstiefe und mittleren Bodenverhältnissen eine notwendige Schlepperleistung von etwa 63 kW; das sind rund 25 PS je Schar.

Zusätzliche weitere Einflußfaktoren werden wirksam, wenn die Arbeitsgeschwindigkeit des Pfluges geändert wird bei gleicher Arbeitsbreite von 1 m und gleicher Arbeitstiefe von 27,5 cm (Abb. 3). Zunächst muß die Pflugkörperform berücksichtigt werden, die nach G o r j a t s c h k i n (5) und S ö h n e (14; 15) mit dem Faktor E gekennzeichnet wird. Danach kommt zum statischen Anteil der dynamische Anteil des Pflugwiderstandes $E \cdot V^2$, so daß insgesamt die notwendige Schlepperstärke überproportional mit der Geschwindigkeit zunehmen muß. Ferner wurde die Annahme getroffen, daß sich der Laufwerkwirkungsgrad η_L des Allradschleppers bei einer Steigerung oder Verminderung der Arbeitsgeschwindigkeit vom Grundwert 6 km/h um je 0,02/1 km/h verschlechtert bzw. verbessert; diese Unterstellung, die auch bei den nachfolgenden anderen Geräten getroffen wurde, die jedoch dringend einer baldigen Überprüfung in Feldversuchen bedarf, erscheint nach den vorliegenden Versuchsergebnissen von S t e i n k a m p f (16)

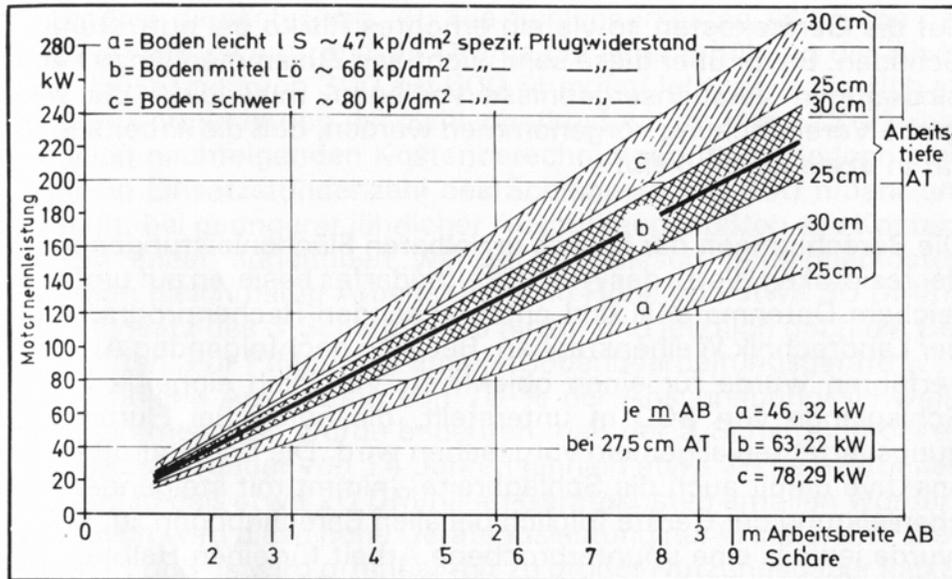


Abb. 2: Erforderliche Schleppermotornennleistung für das Pflügen bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h; Zugleistung 45,9 % der Motornennleistung.

durchaus gerechtfertigt. Auch wenn man die notwendige Fahrleistung zur Fortbewegung des Schleppergewichtes bei steigenden Fahrgeschwindigkeiten berechnet, kommt man zu einer mindestens gleichen Abnahme des nutzbaren Leistungsanteiles der Schleppermotornennleistung. Infolge dieser Zusammenhänge nimmt die notwendige Schleppermotornennleistung mit Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit beträchtlich zu; dabei ist der Einfluß der unterschiedlichen Pflugkörperformen offenbar recht gering, z.B. bei einer Pfluggeschwindigkeit von 8 km/h nur 10 kW Motornennleistung. Ausgehend von dem bei 6 km/h und mittleren Bodenverhältnissen ermittelten Grundwert wurde weiterhin nur die Wendelform mit $E = 2,0$ unterstellt.

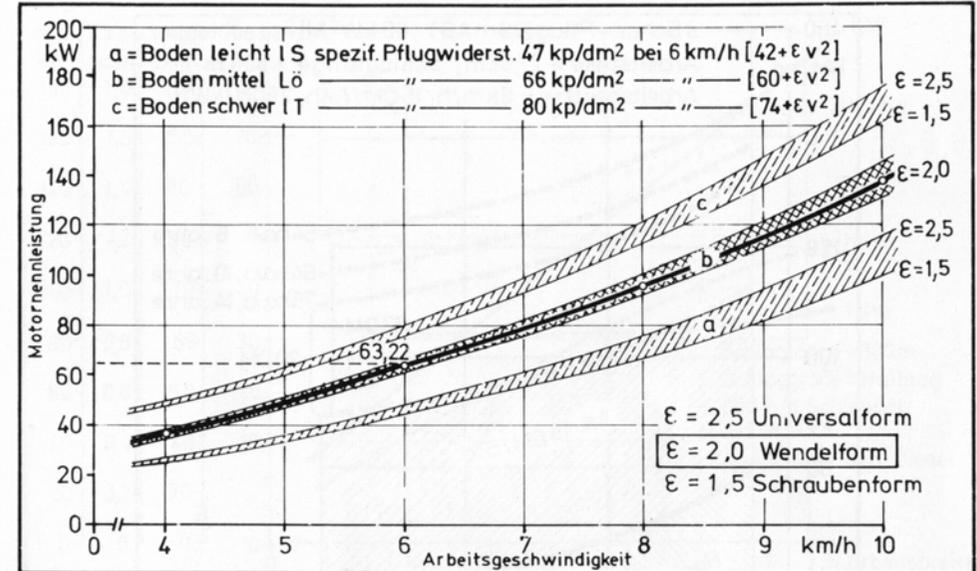


Abb. 3: Erforderliche Schleppermotornennleistung für das Pflügen bei konstanter Arbeitsbreite von 1 m (etwa 3-Schar-Pflug); Arbeitstiefe 27,5 cm.

Diese Vereinfachung wirft jedoch die Problematik für den Übergang zu höheren Arbeitsgeschwindigkeiten insofern auf, als die Arbeitsqualität nicht konstant bleibt und für höhere Arbeitsgeschwindigkeiten auch die Geräte - hier also die Pflugkörperformen - geändert werden müßten. Erst dann wäre letztlich ein echter Vergleich möglich, wenn auch bei steigender Arbeitsgeschwindigkeit eine konstante Arbeitsqualität eingehalten würde. Leider liegen jedoch über diese so wichtigen Beziehungen zwischen Arbeitsgeschwindigkeit und Bearbeitungsqualität zu wenig brauchbare Versuchsergebnisse bei den Bodenbearbeitungsgeräten vor, so daß die sich sicher verändernde Bodenzerkleinerung bei gezogenen Geräten mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit nicht

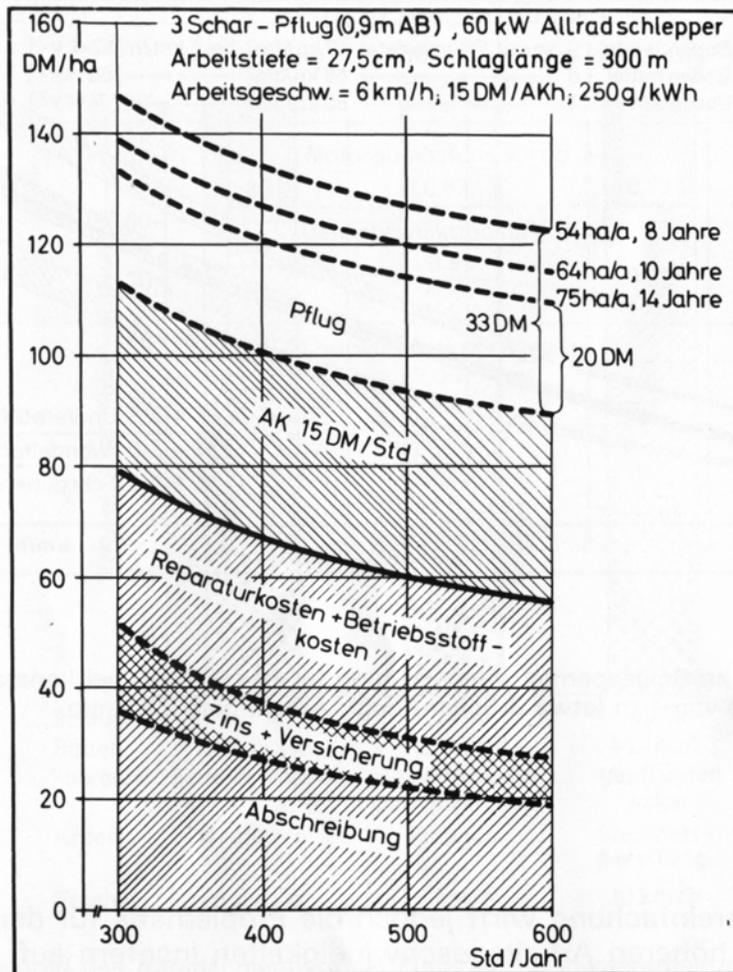


Abb. 4:
 Kosten der Arbeitserledigung je Arbeitsgang für das Pflügen bei unterschiedlicher Schlepper- und Pflugauslastung.

berücksichtigt werden konnte. Problematisch erscheint in diesem Zusammenhang auch die gleichmäßige Tiefenführung der Arbeitswerkzeuge mit wesentlicher Steigerung der Vorfahrtgeschwindigkeit, und hinzu kommt noch der höhere Verschleiß bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit mit entsprechenden Auswirkungen

auf die Gerätekosten sowie ein erhöhtes Risiko bei auftretenden Schäden. Bevor über diese sehr wichtigen Zusammenhänge keine eindeutigen Versuchsergebnisse vorliegen, muß leider die sehr grobe Vereinfachung vorgenommen werden, daß die Arbeitsqualität in etwa gleich bleibt.

Die **Berechnungen der jeweils erzielbaren Flächenleistungen** bzw. der reziproken Werte des Arbeitszeitbedarfes basieren auf umfangreichem Datenmaterial und entsprechenden Rechenprogrammen der Landtechnik Weihenstephan. Bei allen nachfolgenden Arbeitsverfahren wurde für einen objektiven Vergleich einheitlich eine Schlaglänge von 300 m unterstellt, die heute bei Flurbereinigungsverfahren allgemein vorgesehen wird. Die Schlaggröße - respektive damit auch die Schlagbreite - nimmt mit steigender Flächenleistung der Geräte folglich bei allen Berechnungen zu. Dabei wurde jeweils eine ununterbrochene Arbeit für einen Halbttag mit 4 Stunden angenommen, nach Abzug der Rüst- und Wegezeiten also etwa 3,6 h effektiv nutzbare Arbeitszeit. Bei den nachfolgend angegebenen Geschwindigkeiten handelt es sich um die eingehaltenen Arbeitsgeschwindigkeiten, so daß bei z.B. 20 % Schlupf der Schleppertriebäder die entsprechende Schaltstufe des Schleppergetriebes etwa 20 % höher liegen muß, also bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h bei etwa 7,2 km/h.

Für die vielfältigen **Kostenberechnungen zur Arbeitserledigung** mußten weitere Vereinfachungen vorgesehen werden. Die Anschaffungspreise der Allradschlepper mit Kabine sowie der Geräte wurden den DLZ-Preisnotierungen, dem KTBL-Taschenbuch und verfügbaren Preislisten entnommen, immer inklusive Mehrwertsteuer. Für 1 l Dieselkraftstoff wurden 0,65 DM unterstellt. Reparaturkosten, Zinsfuß und andere Kostengrunddaten entsprechen den KTBL-Angaben. Ferner wurde eine einheitliche Bewertung der Arbeitskosten mit 15 DM/AK vorgenommen, ein Satz, der in Anlehnung an die Tariflöhne für Landwirtschaftsmeister heute sicherlich realistisch ist. Als besonderes Kostenproblem muß jedoch die jährliche Auslastung der Maschinen angesehen werden; dies wird durch ein Beispiel, und zwar den Arbeitsgang des Pflügens mit einem 3-Scharpflug und einem 60 kW-Allradschlepper,

besonders deutlich (Abb. 4). Die Schlepperkosten fallen von nahezu 80 DM/ha auf rund 57 DM/ha bei einer Erhöhung der jährlichen Einsatzzeit von 300 auf 600 Stunden/Jahr; es ergibt sich also eine Verminderung der Schlepperkosten von etwa 23 DM/ha. Bei allen nachfolgenden Kostenberechnungen wurde jedoch eine jährliche Einsatzstundenzahl des Schleppers mit 600 h/Jahr unterstellt, bei geringerer jährlicher Ausnutzung müßten alle Kostenkurven linear angehoben werden. Zu diesen Schlepperkosten kommen gleichmäßig Arbeitskosten in Höhe von etwa 30 DM/ha beim Einsatz des 3-Scharpfluges hinzu, und letztlich noch die Gerätekosten. Für Pflüge und andere Bodenbearbeitungsgeräte wird eine jährliche Auslastung von 70 % der Abschreibungsschwelle angenommen; das würde bedeuten, daß der 3-Scharpflug bei einer Nutzungsdauer von 14 Jahren jährlich etwa 75 ha bearbeiten müßte, so daß etwa 20 DM/ha an Gerätekosten anfallen würden. Sicherlich wird diese hohe Geräteauslastung nur in seltenen Fällen erreicht, und es wird offenbar mit zu großer Nutzungsdauer kalkuliert. Realistischer wäre in diesem Beispiel eine Nutzungsdauer von 8 Jahren und eine jährliche Auslastung von 50 % der Abschreibungsschwelle, so daß jährlich 54 ha gepflügt werden und Pflugkosten von 33 DM/ha zu berücksichtigen wären. Für die nachfolgenden Gegenüberstellungen kommt es jedoch mehr auf eine einheitliche Berechnungsgrundlage an, die sich den bisherigen KTBL-Angaben anlehnt. Bei einer anderen Ausgangsbasis müßten lediglich die späteren absoluten Zahlen der Kosten in DM/ha gleichmäßig angehoben werden.

Als weiteres Kriterium zur Beurteilung der breiteren, schnelleren oder kombinierten Arbeitsweise wurde der Energieverbrauch, also der **Diesellohlverbrauch** herangezogen. Zu seiner **Ermittlung** wurde ein hoher Motorauslastungsgrad von 83 % unterstellt, so daß einheitlich ein Treibstoffverbrauch von 250 g/kWh zugrunde gelegt werden konnte, also 185 g/PS_h; bei leistungsstärkeren Schleppern über 120 kW Motornennleistung reduziert sich der Diesellohlverbrauch auf 230 g/kWh infolge des Einbaues von Turboaufladern.

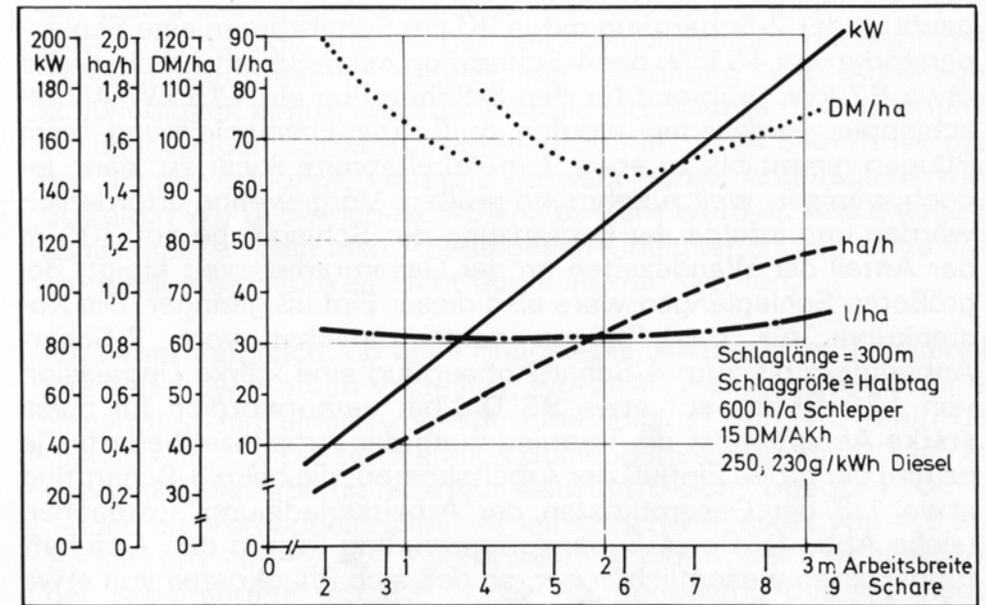


Abb. 5: Steigerung der Arbeitsbreite beim Pflügen mit konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h; Arbeitstiefe 27,5 cm; 63,2 kW Schleppermotornennleistung je m Arbeitsbreite.

Pflügen

Von allen Arbeitsgängen der Bodenbearbeitung besitzt nach wie vor das Pflügen die bei weitem größte Bedeutung, sowohl was den Jahreszeitaufwand als auch die Ansprüche an die notwendige Schlepperstärke betrifft. Daher soll zunächst die Alternative, ob die Vergrößerung der Arbeitsbreite oder die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit effektiver ist, für den Einsatz des Pfluges untersucht werden. Die **Steigerung der Arbeitsbreite** bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h führt, wie schon vorher erläutert, zu einem proportionalen Anstieg der notwendigen Schleppermotornennleistung (Abb. 5). Bei mittleren Bodenverhältnissen

benötigt der 2-Scharpflug mit je 30 cm Schnittbreite eine Schlep- perstärke von 40 kW, der 4-Scharpflug mit je 35 cm Arbeitsbreite etwa 87 kW, während für den 8-Scharpflug ein 175 kW Allrad- schlepper vorgesehen werden muß. Die Flächenleistung beim Pflügen nimmt bis zu etwa 2 m Arbeitsbreite linear zu, dann je- doch weniger, weil zunehmend größere Vorgewende erforderlich werden und infolge der Begrenzung der Schlaglänge auf 300 m der Anteil der Wendezeiten an der Gesamtarbeitszeit steigt. Bei größeren Schlaglängen wäre also dieser Einfluß geringer. Die Kos- tenkurve für das Pflügen zeigt zunächst vom 2-Schar- Anbaupflug bis zum 4-Schar-Anbaupflug eine starke Degression von 120 DM/ha auf etwa 95 DM/ha; verantwortlich für diese starke Abnahme ist die Verminderung des Arbeitszeitbedarfes je ha und der große Einfluß der Arbeitskosten, die beim 3-Scharpflug etwa 1/3 der Gesamtkosten der Arbeitserledigung ausmachen (siehe Abb. 4). Der 4-Schar-Aufsattelpflug liegt in den Anschaf- fungskosten wesentlich höher, so daß sich Pflugkosten von etwa 110 DM/ha ergeben. Mit Zunahme der Scharzahl der Aufsattel- pflüge ergibt sich nun bis zum 6-Scharpflug ein Kostenminimum von etwa 90 DM/ha, während bei weiterer Zunahme der Arbeits- breite wiederum eine Kostensteigerung auf über 100 DM/ha vor- liegt; dies ist durch die relative Abnahme der Flächenleistung zu begründen. Die Kostendifferenzen machen insgesamt bis zu etwa 20 % aus. Schließlich zeigt der Dieselölverbrauch mit etwas über 30 l/ha mit steigender Arbeitsbreite einen nahezu konstanten Ver- lauf, lediglich bei sehr großen Pflügen ist eine leichte Zunahme zu verzeichnen. Als Fazit dieser Gegenüberstellung läßt sich folgern, daß insbesondere wegen der Kosten ein Übergang zu größerer Ar- beitsbreite beim Anbaupflug bis zum 4-Schargerät sehr effektiv sein kann, sofern im Einzelbetrieb eine genügende Auslastung - al- so genügend Fläche -zur Verfügung steht; Aufsattelpflüge sind erst ab einer Arbeitsbreite mit 5 Scharen, besser sogar erst mit 6 Scharen aus Kostengründen von Interesse.

Die **Zunahme der Arbeitsgeschwindigkeit** beim Pflügen mit kon- stanter Arbeitsbreite von 1 m, was in etwa einem 3-Scharpflug entspricht, führt jedoch zu völlig anderen Verhältnissen (Abb. 6).

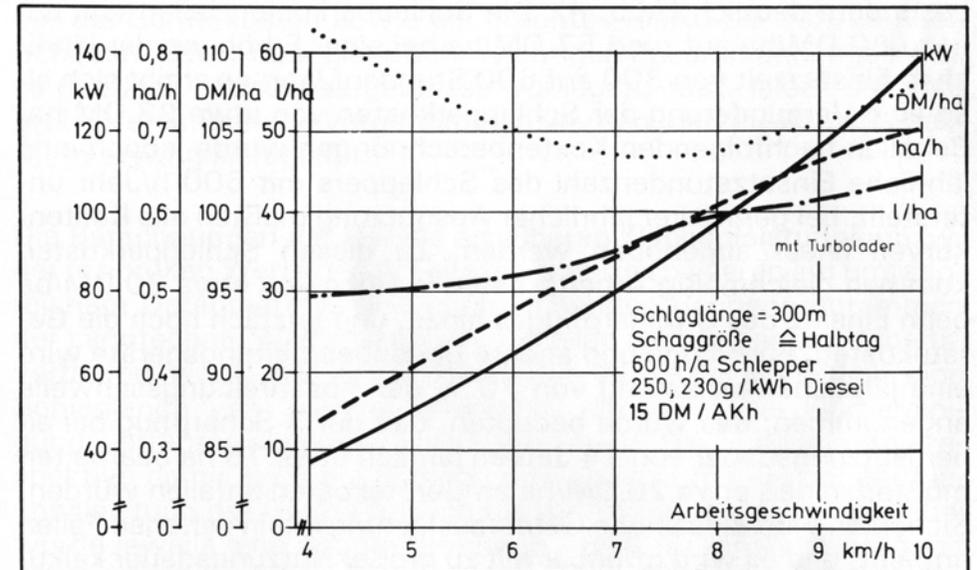


Abb. 6: Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit beim Pflügen mit konstanter Arbeitsbreite von 1 m; Arbeitstiefe 27,5 cm.

Die notwendige Schlepperleistung zeigt mit Steigerung der Ar- beitsgeschwindigkeit eine stark überproportionale Zunahme; während bei nur niedriger Geschwindigkeit von 4 km/h bereits ein 35 kW-Allradsschlepper ausreicht, werden bei 6 km/h bereits 63 kW benötigt, bei 8 km/h schon 100 kW, und bei sehr hoher Pflug- geschwindigkeit von 10 km/h wäre ein Schlepper mit 140 kW er- forderlich. Die erzielbare Flächenleistung fällt bei höheren Ge- schwindigkeiten gegenüber der Steigerung der Arbeitsbreiten ent- sprechend stärker ab, da die Anzahl der Wendevorgänge verbleibt und ihr Einfluß infolge nahezu konstanter Wendegeschwindig- keiten stark anwächst. Als Folge davon nimmt die Flächenleistung mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit immer nur in geringerem Umfang zu als mit zunehmender Arbeitsbreite. Die Pflugkosten sinken von kleinen Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu einem Kos- tenminimum bei etwa 7 bis 8 km/h und steigen dann wieder wegen der zunehmenden relativen Verringerung der Flächenleistung

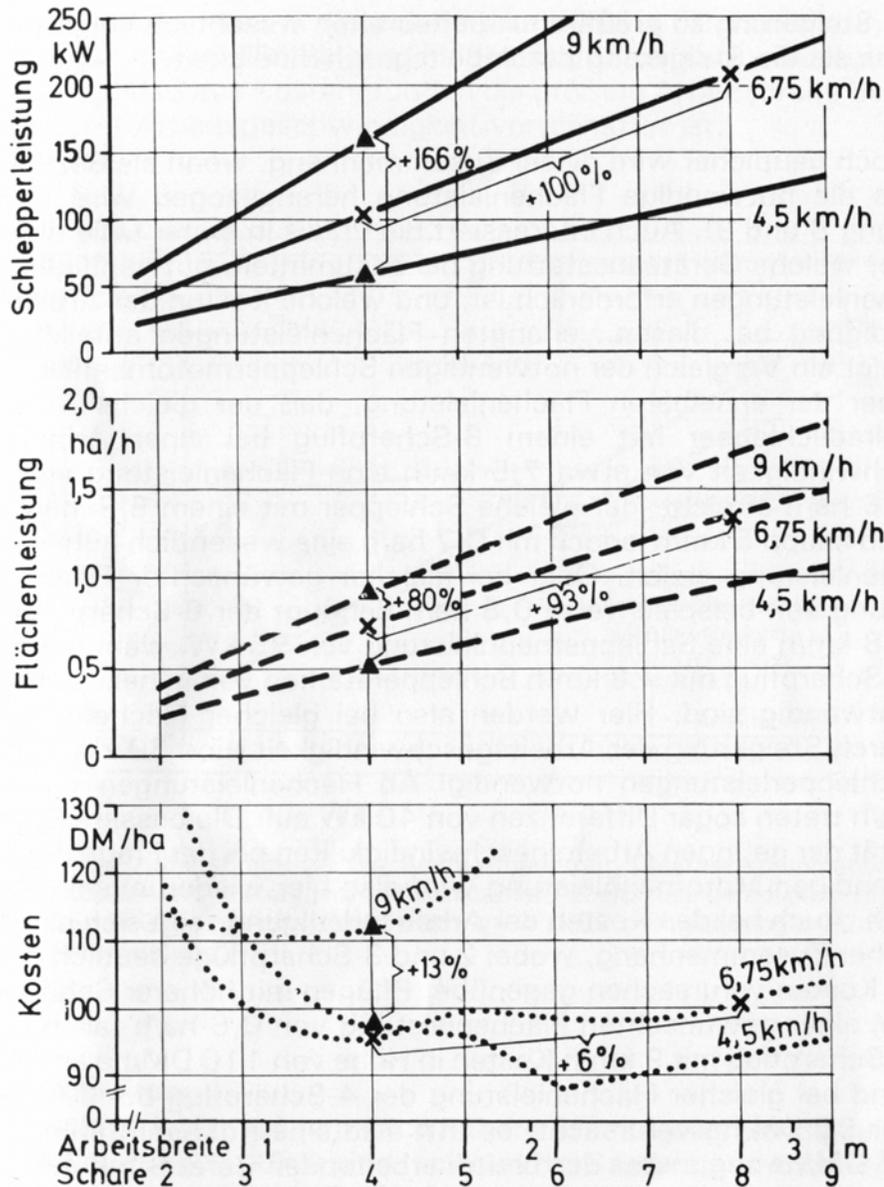


Abb. 7:
Vergleich zwischen größerer Arbeitsbreite oder höherer Arbeitsgeschwindigkeit beim Pflügen.

an, wobei allerdings die Kostendifferenzen mit weniger als 10 % relativ gering sind. Infolge der stark zunehmenden notwendigen Schleppermotornennleistungen mit Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit nimmt auch der Energieverbrauch je ha beträchtlich zu; bei geringen Vorfahrtgeschwindigkeiten bis zu 5 km/h werden nur 30 l/ha benötigt, während bei sehr hohen Arbeitsgeschwindigkeiten Werte bis nahezu 45 l/ha erreicht werden. Aus energetischer Sicht sollten also Arbeitsgeschwindigkeiten von etwa 6,5 km/h nach Möglichkeit nicht überschritten werden.

Für **einen Vergleich**, ob beim Pflügen die **breitere** oder die **schnellere** Arbeitsweise von Vorteil ist, wurde als Ausgangsbasis der 4-Scharpflug mit einer Arbeitsgeschwindigkeit von 4,5 km/h gewählt (Abb. 7). Die notwendige Schlepperleistung steigt bei Verdoppelung der Arbeitsbreite vom 4-auf den 8-Scharpflug um 100%, jedoch bei Verdoppelung der Arbeitsgeschwindigkeit von 4,5 auf 9 km/h um 166 %. Die Flächenleistung nimmt bei Verdoppelung der Arbeitsbreite um 93 %, bei Verdoppelung der Arbeitsgeschwindigkeit jedoch nur um 80 % zu; auch hier ist also die Erhöhung der Arbeitsbreite effektiver. Bei den Kosten der Arbeitserledigung liegen für geringe Pflugbreiten bis zum 3- bzw. 4-Scharpflug mittlere Geschwindigkeiten um etwa 7 km/h am günstigsten; vom 4-Scharpflug bis zu größeren Arbeitsbreiten sind jedoch eindeutig Steigerungen der Arbeitsbreiten vorteilhafter als die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit. So verursacht beim 4-Scharpflug die Verdoppelung der Arbeitsgeschwindigkeit eine Kostenerhöhung um 13 %, während die Verdoppelung der Arbeitsbreite zum 8-Scharpflug nur 6 % höhere Kosten verlangt. Es müssten sogar die Pfluggeschwindigkeiten bei sehr großen Arbeitsbreiten von 2,5 bis 3 m reduziert werden, um eine möglichst kostengünstige Arbeitserledigung zu erzielen. Die absoluten Unterschiede sind jedoch nicht mehr von sehr großer Bedeutung; ferner ist sehr fraglich, ob die in diesen Bereichen notwendigen sehr hohen Schlepperleistungen überhaupt bei geringen Geschwindigkeiten für hohe Zugansprüche nutzbar gemacht werden können, da die geringen Schlepperleistungsgewichte in diesem Bereich steigende Arbeitsgeschwindigkeiten verlangen. Insgesamt wirkt sich also beim Einsatz des Pfluges ab etwa 1 m Arbeitsbreite die weite-

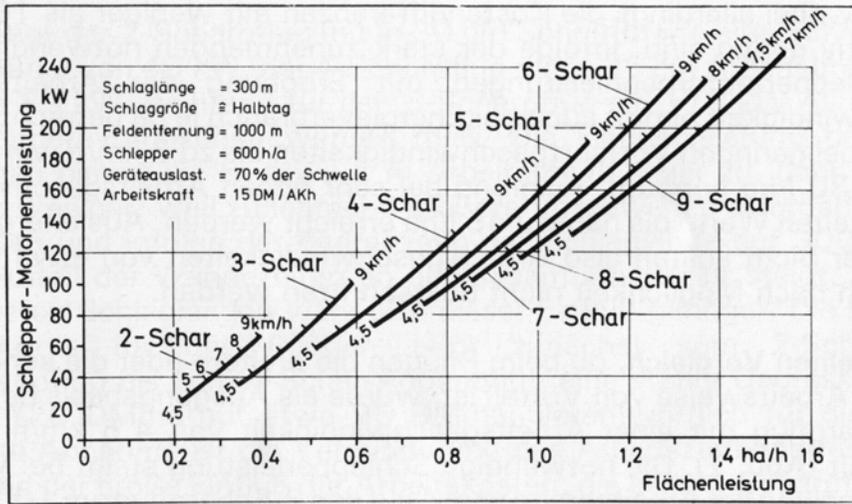


Abb. 8: Notwendige Schleppermotornennleistung beim Pflügen in Abhängigkeit von Flächenleistung, Scharzahl und Arbeitsgeschwindigkeit.

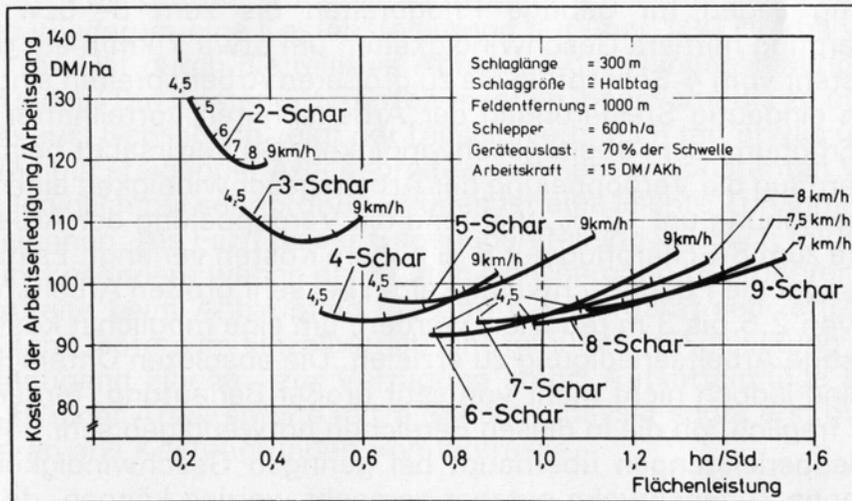


Abb. 9: Kosten der Arbeitserledigung für das Pflügen in Abhängigkeit von Flächenleistung, Scharzahl und Arbeitsgeschwindigkeit.

re Steigerung zu größeren Arbeitsbreiten wesentlich vorteilhafter aus als die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit.

Noch deutlicher wird dieser Zusammenhang, wenn als Bezugsbasis die notwendige Flächenleistung herangezogen wird (Abbildung 8 und 9). Auch interessiert die Praxis in erster Linie die Frage, welche Geräteausstattung bei bestimmten, notwendigen Flächenleistungen erforderlich ist, und welche Kosten der Arbeitserledigung bei diesen verlangten Flächenleistungen anfallen. So zeigt ein Vergleich der notwendigen Schleppermotornennleistung über der erzielbaren Flächenleistung, daß der gleiche 80 kW-Allradsschlepper mit einem 3-Scharpflug bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von etwa 7,5 km/h eine Flächenleistung von gut 0,5 ha/h erreicht, der gleiche Schlepper mit einem 5-Scharpflug und knapp 5 km/h jedoch mit 0,7 ha/h eine wesentlich höhere Flächenleistung erzielt. Oder bei gleicher gewünschter Flächenleistung von beispielsweise 0,8 ha/h benötigt der 6-Scharpflug bei 4,8 km/h eine Schleppernennleistung von 95 kW, während beim 4-Scharpflug mit 7,8 km/h Schlepperstärken von nahezu 130 kW notwendig sind. Hier werden also bei gleicher Flächenleistung durch Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit rund 30 kW höhere Schlepperleistungen notwendig! Ab Flächenleistungen von 1,0 ha/h treten sogar Differenzen von 40 kW auf. Die bessere Effektivität der geringen Arbeitsgeschwindigkeiten bei der Frage der notwendigen Motornennleistung wird also hier wiederum sehr deutlich. Auch bei den Kosten der Arbeitserledigung zeigt sich ein ähnlicher Zusammenhang, wobei 2- und 3-Scharpflüge deutlich höhere Kosten verursachen gegenüber Pflügen mit höherer Scharzahl. Bei einer gewünschten Flächenleistung von 0,6 ha/h fallen beim 3-Scharpflug mit 9 km/h Kosten in Höhe von 110 DM/ha an, während bei gleicher Flächenleistung der 4-Scharpflug bei 5,5 km/h nur 95 DM/ha verursacht; es tritt also eine Kostendifferenz von 15 DM/ha zugunsten des breiter arbeitenden Gerätes mit geringerer Arbeitsgeschwindigkeit auf. Nicht mehr so deutlich sind die Unterschiede bei einer notwendigen Flächenleistung von 1,0 ha/h; der 5-Scharpflug mit nahezu 8 km/h liegt bei 104 DM/ha, der 6-Scharpflug mit 6,3 km/h jedoch bei nur etwa 95 DM/ha. Die

Kostendifferenz macht in diesem Bereich höherer Flächenleistungen weniger als 10 DM/ha aus. Es bestätigt sich also wiederum die Tendenz, daß aus Kostengründen die größere Arbeitsbreite bei verminderter Arbeitsgeschwindigkeit vorteilhafter ist.

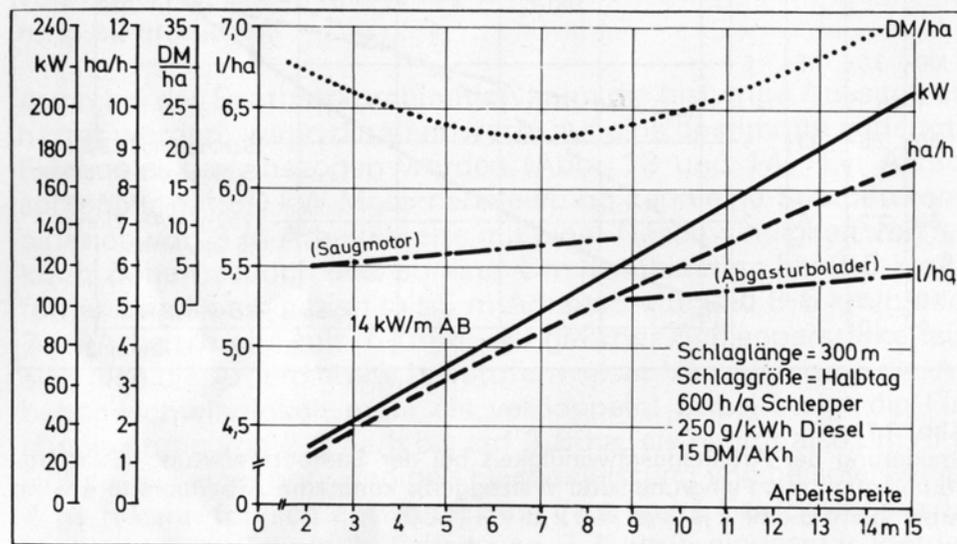


Abb. 10: Steigerung der Arbeitsbreite bei der Saatbettbereitung (Saatbettkombination aus Feingrubbern und Wälzegen) mit konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h; $Z = 260 \text{ kp/m}$; Arbeitstiefe 6 cm; $\eta_L = 0,57$; Pflugleistung 40,2 % der Motornennleistung.

Saatbettbereitung

Als typisches Gerät, bei dem noch höhere Arbeitsgeschwindigkeiten als beim Pflügen üblich sind, soll nun die Saatbettkombination untersucht werden - also die Gerätekombination aus Feingrubber mit Wälzegen. Für einen Vergleich verschiedener **Arbeitsbreiten** wurde eine konstante Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/h unterstellt, bei dieser Geschwindigkeit ferner ein Schlepper-

Laufwerkswirkungsgrad η_L von 0.57, so daß sich ein Wirkungsgrad der Leistungsübertragung des Schleppers von 40,2 % ergibt (Abb. 10). Die Arbeitstiefe wurde mit rund 6 cm angenommen. Die notwendige Schleppermotornennleistung nimmt mit der Steigerung der Arbeitsbreite von 2 bis auf 15 m linear zu, und zwar mit etwa 14 kW/mAB. Die Flächenleistung wächst mit Vergrößerung der Arbeitsbreite nicht proportional sondern in nur geringem Umfang; so werden bei 3 m Arbeitsbreite etwa 2 ha/h erreicht, bei 12 m dagegen nur 7ha/h, also nicht der 4-fache Wert. Die Kosten liegen zwischen 5 und 9 m Arbeitsbreite im Minimum, bei großen Breiten ergibt sich wiederum ein Kostenanstieg wegen des Nachlassens der Flächenleistung, letztlich wiederum verursacht durch die konstanten Schlaglängen von 300 m. Die absoluten Kostenunterschiede sind nicht unbeträchtlich, sie schwanken von etwa 30 DM/ha bis auf 22 DM/ha; das sind mehr als 25 %! Der Dieselölverbrauch steigt von nur 2 bis auf 9 m Arbeitsbreite geringfügig an, während ab 9 m Arbeitsbreite sehr leistungsstarke Schlepper notwendig werden, für welche ein Abgasturbolader unterstellt wurde. Dadurch sinkt der Dieselölverbrauch je ha sprunghaft um rd. 7 %. Mit weiterer Verbreiterung der Geräte nimmt aber auch dann der Energieverbrauch wieder etwas zu.

Bei der Steigerung der **Arbeitsgeschwindigkeit** (Abb. 11) von 6 auf 12 km/h und konstanter Gerätebreite von 4,5 m ergibt sich eine sehr starke Zunahme der notwendigen Schlepperstärke von nur 40 kW auf etwa 135 kW. Dieses überproportionale Anwachsen der notwendigen Schleppermotornennleistung wird verursacht durch den dynamischen Anteil der erforderlichen Gerätezugkraft, aber auch durch die weitere Verschlechterung des Laufwerkswirkungsgrades des Schleppers; so sinkt der nutzbare Leistungsanteil der installierten Motornennleistung bei 12 km/h auf etwa 30 % ab! Die Flächenleistung steigt wiederum zunehmend geringer mit wachsender Arbeitsgeschwindigkeit, und zwar aus ähnlichen Gründen wie beim Pflügen, jedoch bei der Saatbettkombination wegen der wesentlich höheren Geschwindigkeiten viel ausgeprägter. Die Kosten der Arbeitserledigung verändern sich mit zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit nicht sehr stark, erst im höheren Geschwindigkeitsbereich zeigt sich ein gewisser Anstieg; das liegt in erster Linie an der insgesamt doch beträchtlichen

Arbeitszeiteinsparung, also an der Verminderung der Arbeitskosten mit ihrem hohen Anteil von 15 DM/h. Entsprechend der überproportionalen Zunahme der notwendigen Schlepperstärke steigt auch der Dieselölverbrauch mit knapp 5 l/ha bei 6 km/h auf etwa 8 l/ha bei 12 km/h.

Insbesondere beim Einsatz der Saatbettkombination wird der aufgezeigte Kennwerteverlauf insgesamt jedoch problematisch, weil sich die Arbeitsqualität des gleichen Gerätes mit Erhöhung der Geschwindigkeit verändern muß, und weil auch Schwierigkeiten beim Einhalten gleicher Arbeitstiefen auftreten. Hier sei also nochmals der Hinweis angebracht, daß für einen letztlich objektiven Vergleich vom gleichen Ausmaß an Bodenzerkleinerung ausgegangen werden müßte; das ließe sich dadurch erreichen, bei kleinen Arbeitsgeschwindigkeiten mit sehr geringem Zinkenabstand zu arbeiten und bei hohen Geschwindigkeiten auf größere Zinkenabstände überzugehen. Hierüber fehlen leider jedoch bisher eindeutige Versuchsergebnisse, so daß die ermittelten und in den Abbildungen wiedergegebenen Kennwerte nur unter großem Vorbehalt interpretiert werden können.

Der Vergleich **schnellere oder breitere Arbeitsweise** zur Erhöhung der Geräteleistung bei Saatbettkombinationen geht noch eindeutiger als beim Pflügen zugunsten der Zunahme der Arbeitsbreite aus (Abb. 12). Als Ausgangsbasis dient für diesen Vergleich eine Arbeitsbreite von 5 m. Während die notwendigen Schlepperstärken bei Verdoppelung der Arbeitsbreite auf den doppelten Wert zunehmen, müssen sie bei der Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit von 6 auf 12 km/h mehr als verdreifacht werden. Die Flächenleistung nimmt mit der Arbeitsbreite von 5 auf 10 m um 96 % zu, mit der Verdoppelung der Geschwindigkeit jedoch nur um etwa 76 %; denn bei solch hohen Geschwindigkeiten von 12 km/h und der Begrenzung der Schlaglänge auf 300 m beansprucht die Wendezeit einen beträchtlichen Anteil der Gesamtarbeitszeit. Die Kosten der Arbeitserledigung mit Saatbettkombinationen zeigen wie beim Pflügen ein differenziertes Bild. Bei geringen Arbeitsbreiten bis zu 4 m sind mittlere Arbeitsgeschwindigkeiten von 9 km/h zweckmäßig, bei Arbeitsbreiten zwischen 4 und 10 m liegt prak-

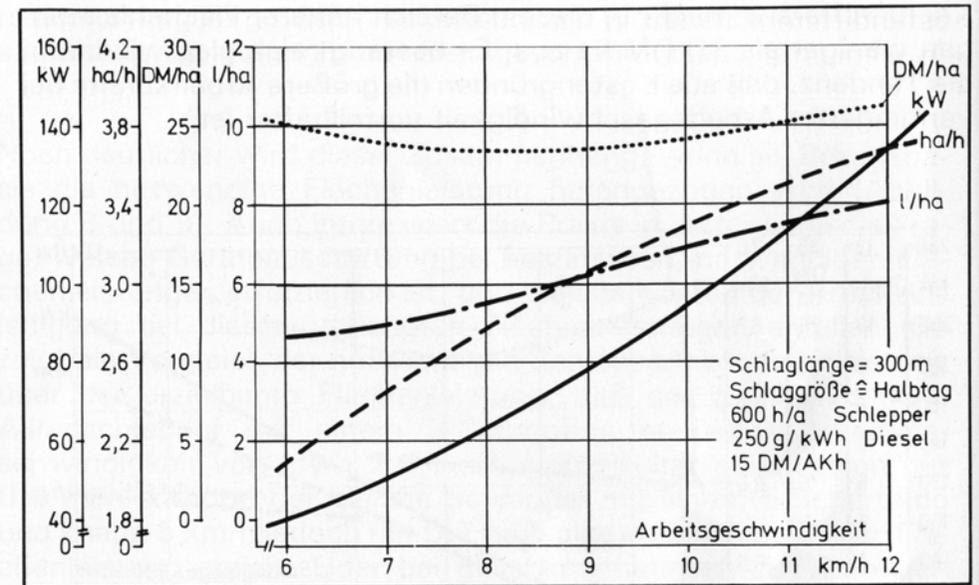


Abb. 11: Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Saatbettbereitung (Saatbettkombination aus Feingrubber und Wälzegenen); konstante Arbeitsbreite 4,5 m; Arbeitstiefe 6 cm; $Z \text{ je } 1 \text{ m} = 12,5 v + 160$.

tisch Kostengleichheit bei 6 oder 9 km/h vor, während bei sehr großen Arbeitsbreiten jedoch eindeutig verminderte Arbeitsgeschwindigkeiten günstiger werden. Sehr hohe Vorfahrtgeschwindigkeiten von 12 km/h führen zu Kostenerhöhungen von 10 %, also etwa 3 DM/ha. Ein Kostenvergleich bei Verdoppelung der Arbeitsbreite von 5 auf 10 m ergibt insofern ein falsches Bild, weil bei Saatbettkombinationen mit 10 m und mehr Arbeitsbreite infolge der hohen Aufwendungen für die zusätzlichen Einklappvorrichtungen wesentlich höhere Anschaffungspreise auftreten. Das führt bei sehr großen Arbeitsbreiten zu stärker steigenden Kosten der Arbeitserledigung. Auch bei diesem gezogenen Bodenbearbeitungsgerät kommt letztlich also der Steigerung der Arbeitsbreite

im mittleren Bereich die bei weitem größere Bedeutung gegenüber der Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit zu. Als Folgerung für die Geräteindustrie müßte insofern auf diese Zusammenhänge Rücksicht genommen werden, als mit größer werdenden Arbeitsbreiten die Zinkenanzahl je m Arbeitsbreite und die Anzahl der nachlaufenden Wälzrollen stufenweise erhöht werden müßten, um bei verminderter Geschwindigkeit eine gleich gute Bodenzerkleinerung zu erreichen.

Auch bei der Saatbettkombination kann die bisherige Aussage erhärtet werden, wenn die Kennwerte auf eine bestimmte verlangte Flächenleistung bezogen werden (Abb. 13 und 14). Ein Allrad-schlepper mit 80 kW Motornennleistung kann eine Saatbettkombination von 3 m Arbeitsbreite mit einer Geschwindigkeit von 11 km/h ziehen, jedoch ebenso eine 4 m Kombination bei 9,5 km/h, ferner eine Kombination mit 5 m Arbeitsbreite und 8,5 km/h oder 7 m Arbeitsbreite mit 7 km/h; bei gleicher Schlepperstärke läßt sich also die Arbeitsbreite bei stufenweiser Verminderung der Arbeitsgeschwindigkeit mehr als verdoppeln! Dabei steigt die Flächenleistung von 2,3 ha/h bis auf 3,8/ha, sie nimmt also um rund 2/3 zu. Bei einer notwendigen Flächenleistung von beispielsweise 4 ha/h kann folglich entweder eine 7 m breite Saatbettkombination mit einer Geschwindigkeit von 7,4 km/h eingesetzt werden oder aber ein 5 m Gerät mit 11,3 km/h; die notwendige Schlepperstärke steigt dann allerdings von etwa 90 kW auf 140 kW Motornennleistung, also um rund 50 kW! Bei sehr großen Flächenleistungen ergeben sich noch wesentlich größere Unterschiede im Leistungsbedarf. Diese Zusammenhänge zeigen wiederum eindeutig die relative Vorzüglichkeit geringer Arbeitsgeschwindigkeiten. Zu ähnlichen Ergebnissen führen die Kostenrechnungen. Wird z.B. eine Flächenleistung von 2,5 ha/h verlangt, dann treten bei der Saatbettkombination mit 3 m und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 12 km/h Kosten der Arbeiterledigung von knapp 28 DM/ha auf, während bei gleicher Flächenleistung, jedoch mit 5 m Arbeitsbreite und nun bei 6,3 km/h Kosten von etwa 22,5 DM/ha verursacht werden - also eine Differenz von etwa 5,5 DM/ha. Also auch aus Kostengründen ist eindeutig die größere Arbeitsbreite bei geringerer Geschwindigkeit im Vorteil. Der hohe Kostensprung

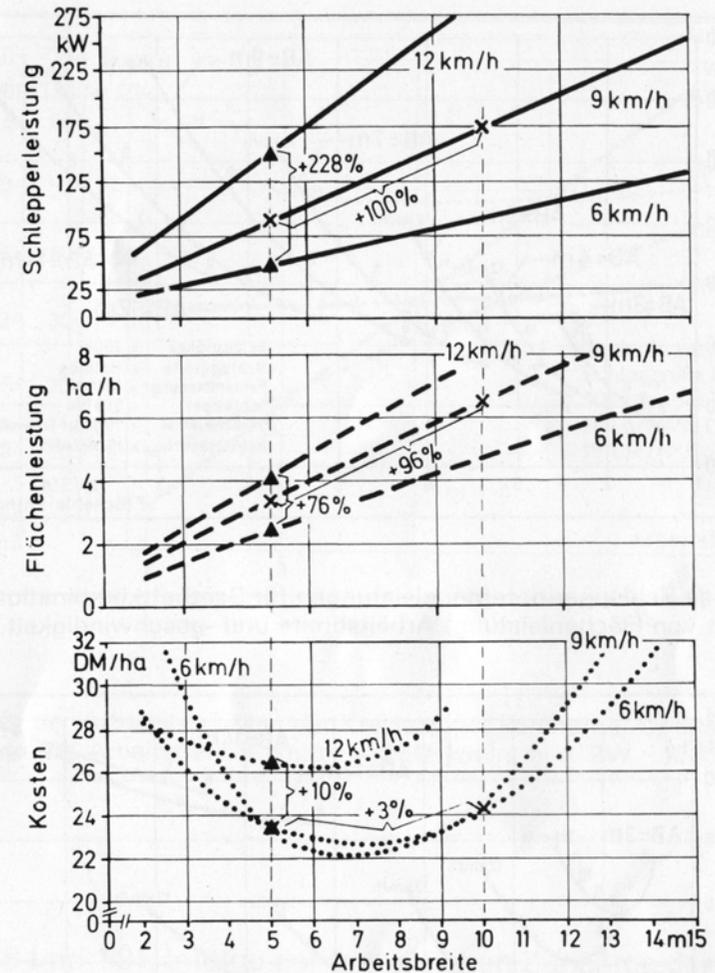


Abb. 12: Vergleich zwischen größerer Arbeitsbreite und höherer Arbeitsgeschwindigkeit beim Einsatz der Saatbettkombination.

zu Arbeitsbreiten von 12 m und mehr macht den Einfluß des stark gestiegenen Gerätekapitalbedarfes deutlich, der für die umfangreichen Einklapp- oder Langfahrvorrichtungen erforderlich wird. Für westdeutsche Einsatzverhältnisse kommen derartige Gerätegrößen jedoch nur selten in Frage.

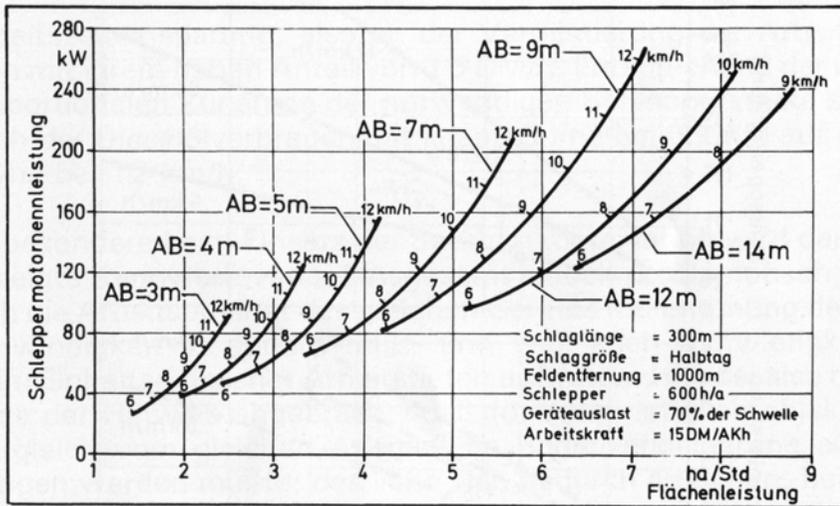


Abb. 13: Notwendige Schleppermotornennleistungen für Saatbettkombinationen in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

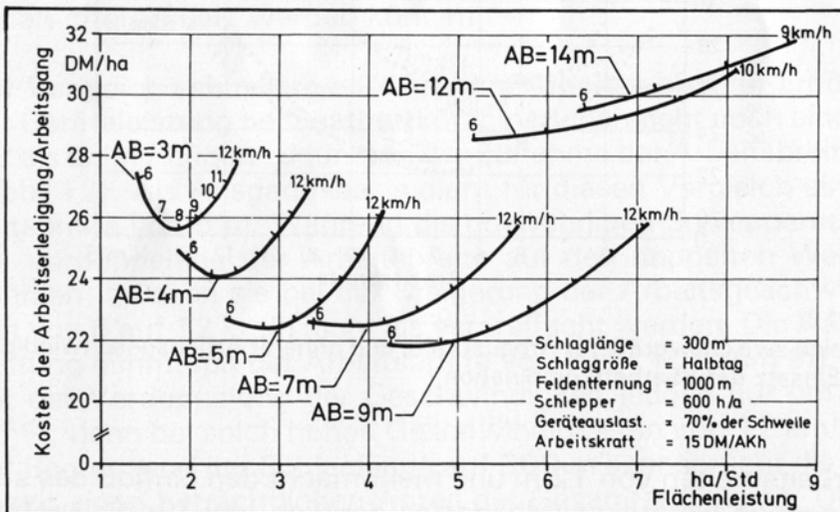


Abb. 14: Kosten der Arbeitserledigung je Arbeitsgang der Saatbettkombination in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

Kreiselegen

Als eines der wichtigsten Bodenbearbeitungsgeräte, die über die Zapfwelle angetrieben werden, soll nachfolgend die Kreiselegge in die Betrachtungen einbezogen werden. Dadurch lassen sich die Auswirkungen der Übertragung eines hohen Anteiles des Geräteleistungsbedarfes über die Zapfwelle mit höherem Wirkungsgrad nachweisen; denn beim Zapfwellenantrieb kann ein Motorleistungswirkungsgrad von 0,77 unterstellt werden. Bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h und einer gleichmäßigen Arbeitstiefe von 8 cm führt die **Geräteverbreiterung** auch bei der Kreiselegge zu einem linearen Anstieg der notwendigen Schleppermotornennleistung, und zwar um 16 kW je m Arbeitsbreite bei mittleren Bodenverhältnissen (Abb. 15). Die Flächenleistung nimmt nicht mit der Geräteverbreiterung linear zu, sondern insbesondere bei großen Arbeitsbreiten in geringerem Umfang. Die Kosten der Arbeitserledigung vermindern sich bis zu 3 m Arbeitsbreite und bleiben dann in etwa konstant. Auch der Dieselkraftstoffverbrauch zeigt mit zunehmender Arbeitsbreite kaum nennenswerte Veränderungen.

Mit der **Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit** der Kreiselegge werden jedoch interessante Zusammenhänge deutlich (Abb. 16). Nach vorliegenden Versuchsergebnissen von Z e l t n e r (23), S t e i n k a m p f und Z a c h (18) sowie DLG-Prüfberichten steigt infolge des hohen Anteiles der Leistungsübertragung über die Zapfwelle mit ihrem hohen Nutzungsgrad die erforderliche Motornennleistung mit Zunahme der Arbeitsgeschwindigkeit in nur geringerem Umfang, selbst dann, wenn die Drehzahlen der Werkzeugträger mit Steigerungen der Arbeitsgeschwindigkeit erhöht werden. Dies ist notwendig, um einen etwa gleichen Arbeitseffekt zu erreichen, der vom Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit der Arbeitswerkzeuge zu Vorfahrtgeschwindigkeit abhängt. So kommt es, daß bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 3,5 km/h eine Schlepperstärke von etwa 30 kW erforderlich ist, während bei der doppelten Arbeitsgeschwindigkeit von 7 km/h die notwendige Schleppermotornennleistung bei etwa 55 kW liegt, also weniger als verdoppelt wird. Erst bei höheren Vorfahrtgeschwindigkeiten

ergibt sich offenbar eine stärkere Zunahme der notwendigen Schlepperleistungen. Die Flächenleistungen nehmen bis etwa 6 km/h fast linear zu, jedoch dann zunehmend nur geringer. Die Kosten beim Einsatz der Kreiselegge liegen bei geringen Arbeitsgeschwindigkeiten bei etwa 65 DM/ha und erreichen bei hohen Geschwindigkeiten von 8 bis 9 km/h mit 47 DM/ha ihr Minimum; aus Kostengründen sind also offenbar hohe Arbeitsgeschwindigkeiten am günstigsten. Der Dieselmotorkraftstoffverbrauch sinkt von sehr geringen zu mittleren Arbeitsgeschwindigkeiten und steigt ab 8 km/h wiederum stärker an. Der relativ hohe Dieselmotorkraftstoffverbrauch bei geringen Arbeitsgeschwindigkeiten liegt darin begründet, daß bei der Unterstellung eines 35 kW-Schleppers dieser im Teillastbereich genutzt wird und dadurch der spezifische Kraftstoffbedarf höher ist.

Zieht man diese Ergebnisse zu einem **Vergleich breitere oder schnellere** Arbeitsweise zusammen, dann zeigt sich sehr deutlich, daß im Gegensatz zu den gezogenen bei zapfwellengetriebenen Geräten durchaus höhere Arbeitsgeschwindigkeiten zweckmäßig sind (Abb. 17). Für diesen Vergleich wurde als Ausgangsbasis eine Arbeitsbreite von 3 m und eine Arbeitsgeschwindigkeit von 4 km/h angenommen. Die Verdoppelung der Vorfahrtgeschwindigkeit von 4 auf 8 km/h erhöht die notwendigen Schlepperstärken nur um 87 %, die Flächenleistung jedoch um nahezu 80 %, so daß sich die Kosten um 9 % vermindern können! Demgegenüber führt die Verdoppelung der Arbeitsbreite von 3 auf 6 m bei der Schleppermotornennleistung zu ungünstigeren Werten. Die Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit erbringt insbesondere bei Arbeitsbreiten von 2 - 3 m große Vorteile. Bei der Kreiselegge, wie auch vermutlich bei Fräsen, sind also hohe Arbeitsgeschwindigkeiten zumindest gleichwertig zu beurteilen gegenüber der Steigerung der Arbeitsbreite. Um die aufgezeigten Schwierigkeiten der Leistungsübertragung über die Triebräder bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten und sehr starken Schleppern zu vermeiden, bietet sich also als sehr vorteilhaft der Zapfwellenantrieb an; denn auch höchste Schleppermotornennleistungen sind dann sinnvoll zu nutzen.

Interessant ist auch bei der Kreiselegge der Bezug der Schlepperstärke und der Kosten auf die erforderlichen Flächenleistungen

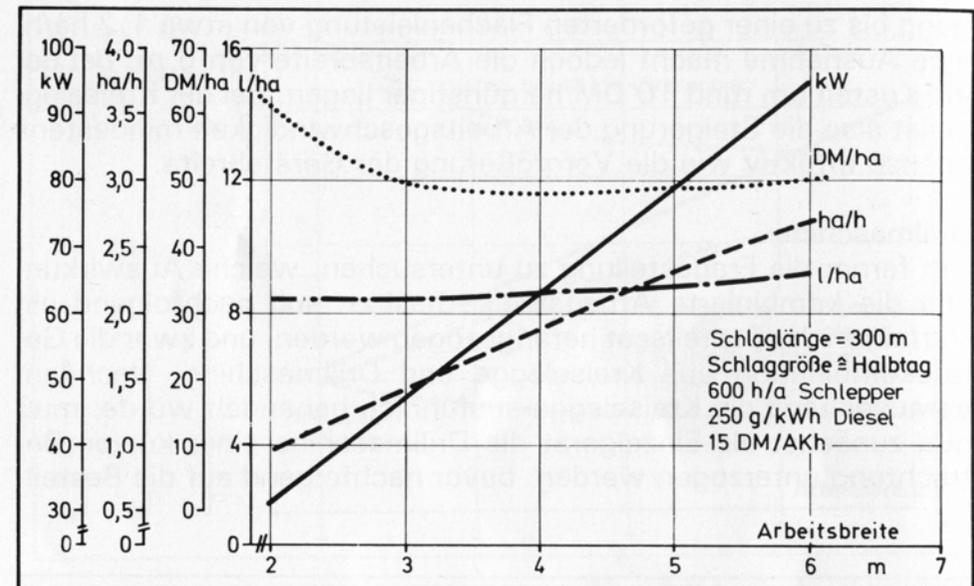


Abb. 15: Steigerung der Arbeitsbreite bei der Kreiselegge; konstante Arbeitsgeschwindigkeit 6 km/h; Arbeitstiefe 8 cm; $\eta = 250$ 1/min; $\eta = ZW \cdot \lambda = 0,77$.

(Abb. 18 und 19). Infolge der fast gleichen Zunahme der notwendigen Schlepperstärke mit Steigerung der Arbeitsbreite bzw. der Arbeitsgeschwindigkeit liegen nun die verschiedenen Gerätebreiten auf etwa einer Linie, die mit Zunahme der Flächenleistung fast linear ansteigt. Zwar können nun bei gleicher Schlepperstärke zwei unterschiedliche Arbeitsbreiten mit verschiedener Vorfahrtgeschwindigkeit eingesetzt werden, jedoch ergibt sich dadurch kaum eine Veränderung der Flächenleistung in ha/h. Auch bei einem Kostenvergleich der unterschiedlichen Gerätebreiten und -geschwindigkeiten zeigen sich keine wesentlichen Differenzen, lediglich eine starke Verminderung der Kosten der Arbeitserledi-

gung bis zu einer geforderten Flächenleistung von etwa 1,2 ha/h; eine Ausnahme macht jedoch die Arbeitsbreite von 6 m, bei der die Kosten um rund 10 DM/ha günstiger liegen. Bei der Kreiselegge ist also die Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit mindestens ebenso effektiv wie die Vergrößerung der Gerätebreite.

Drillmaschine

Um ferner die Fragestellung zu untersuchen, welche Auswirkungen die kombinierte Arbeitsweise besitzt, soll nachfolgend ein Verfahren der Bestellsaat herangezogen werden, und zwar die Gerätekombination aus Kreiselegge und Drillmaschine. Nachdem vorausgehend die Kreiselegge ausführlich behandelt wurde, muß nun zunächst als Einzelgerät die Drillmaschine einer kurzen Betrachtung unterzogen werden, bevor nachfolgend auf die Bestell-

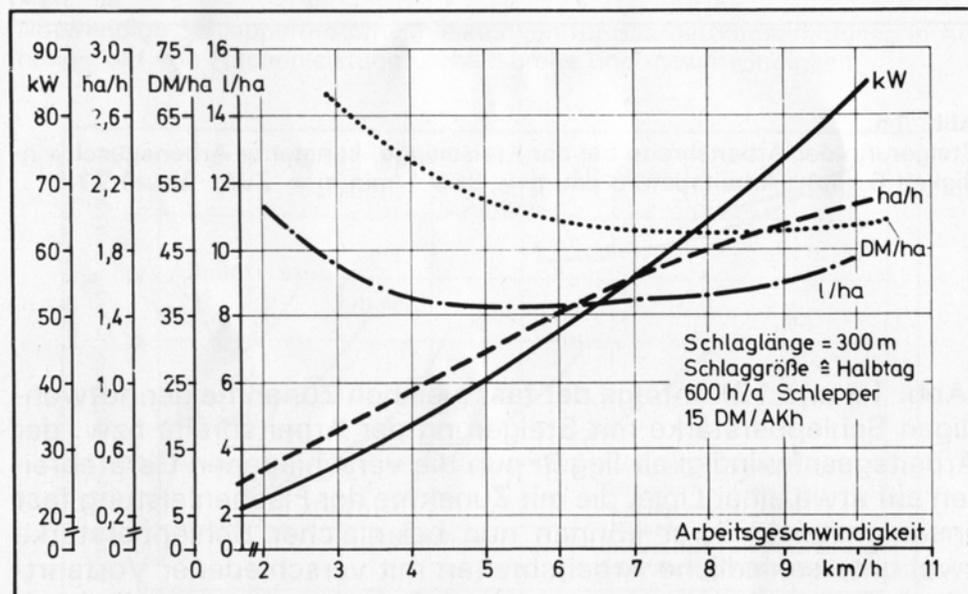


Abb. 16: Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Kreiselegge; konstante Arbeitsbreite 3 m; Arbeitstiefe 8 cm; Anpassung der Werkzeugträgerdrehzahlen von 190 -350 1/min; $\frac{U}{V} = 2 - 3$.

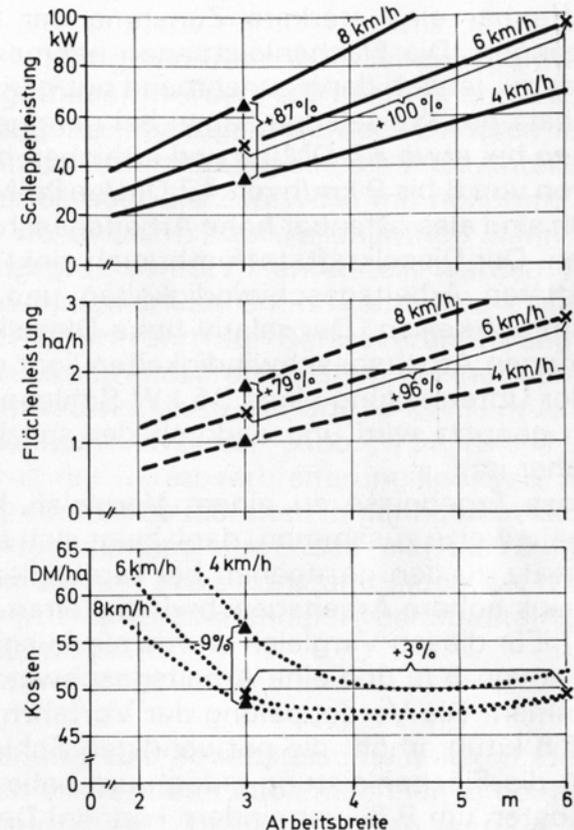


Abb. 17: Vergleich zwischen größerer Arbeitsbreite und höherer Arbeitsgeschwindigkeit bei der Kreiselegge.

saat eingegangen werden kann. **Vergrößerungen der Arbeitsbreite** (Abb. 20) von 2 bis auf 6 m führen bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 8 km/ha bei der Drillmaschine wiederum zu einem linearen Anstieg der notwendigen Schleppermotorenleistung, wobei die absoluten Werte für dieses relativ leichtzügige Gerät weit unter den in der Praxis eingesetzten Schlepperstärken liegen. Die Flächenleistung nimmt mit Steigerung der Arbeitsbreite von 1,0 auf 2,3 ha/h zu. Da für die Kostenberechnung als kleinster Allrad Schlepper eine Schlepperstärke von 35 kW eingesetzt wurde, fallen die Kosten bis zur größten Arbeitsbreite ab. Der Die-

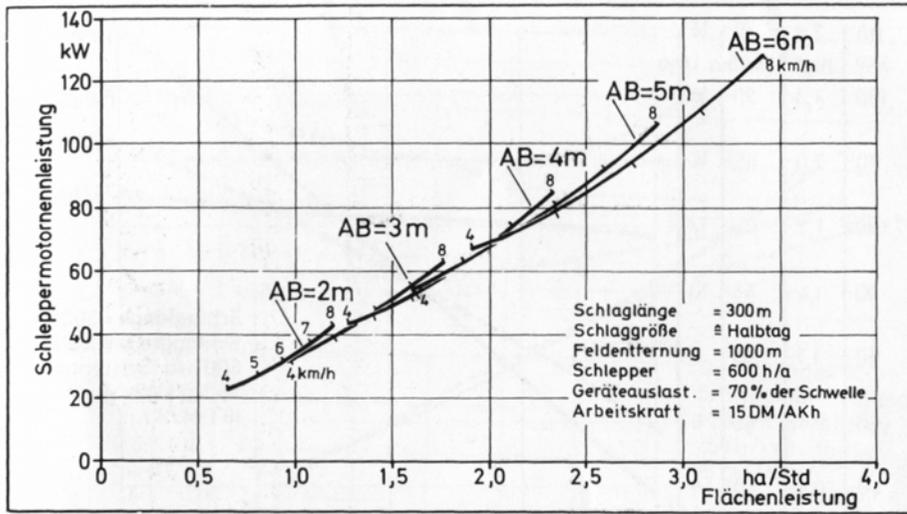


Abb. 18: Notwendige Schleppermotornennleistung für Kreiselegen in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

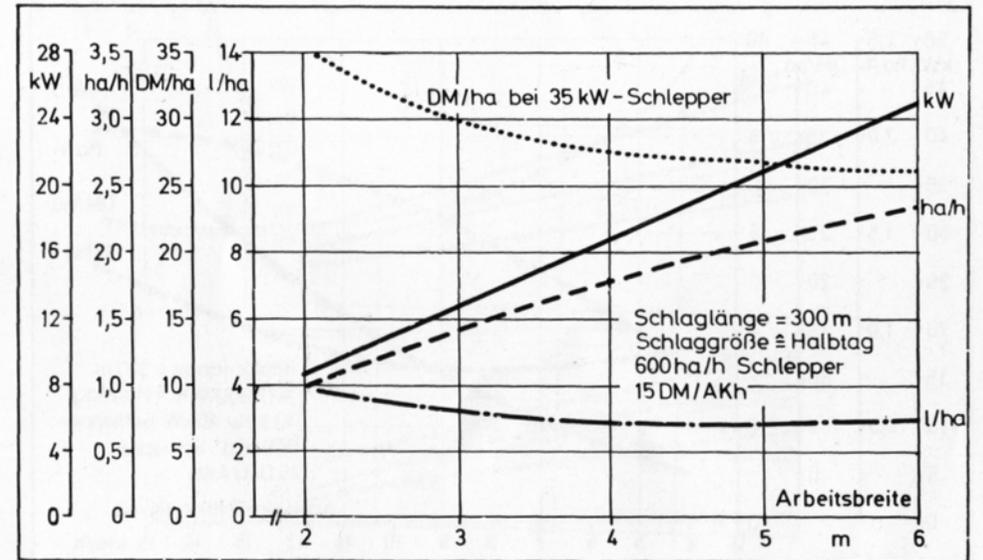


Abb. 20: Steigerung der Arbeitsbreite bei der Drillmaschine; konstante Arbeitsgeschwindigkeit 8 km/h; Zugleistung 40,2 % der Motornennleistung.

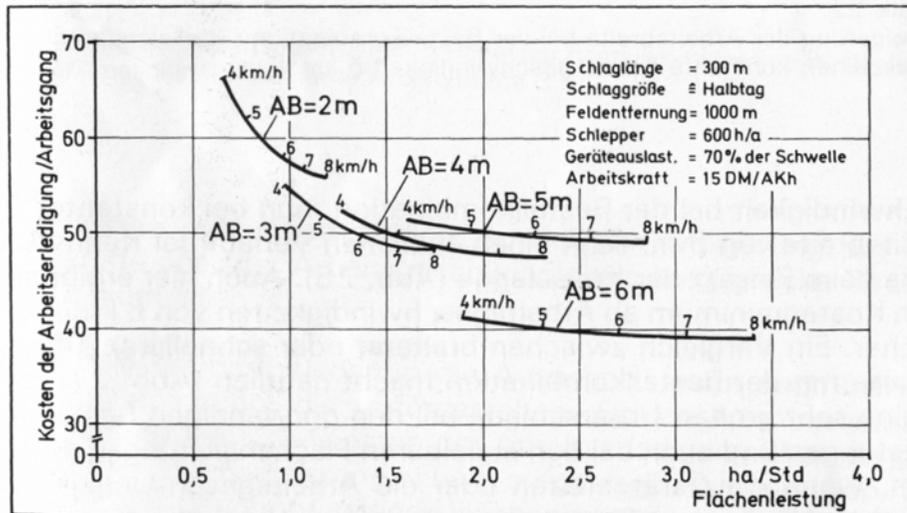


Abb. 19: Kosten der Arbeitserledigung je Arbeitsgang mit der Kreiselege in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

selölverbrauch liegt ab etwa 4 m Arbeitsbreite in etwa konstant bei 3 l/ha. Ein anderes Bild zeigt nun jedoch die **Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit** bei der Drillmaschine, wenn mit konstanter Arbeitsbreite von 3 m gedreht wird (Abb. 21). In diesem Falle nimmt die notwendige Schlepperstärke stark überproportional zu, so daß bei hohen Drillgeschwindigkeiten Schlepperstärken von über 35 kW erforderlich sind. Die Flächenleistung zeigt bei Drillgeschwindigkeiten über 10 km/h zunehmend geringeren Anstieg, die Kosten der Arbeitserledigung erreichen demgegenüber bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten ihr Minimum; erst dann wird der unterstellte 35-kW-Schlepper voll ausgenutzt. Demgegenüber wiederum steigt der Dieselölverbrauch mit Erhöhung der Geschwindigkeit von etwa 9 km/h mit gut 3 l/ha sehr stark mit Zu-

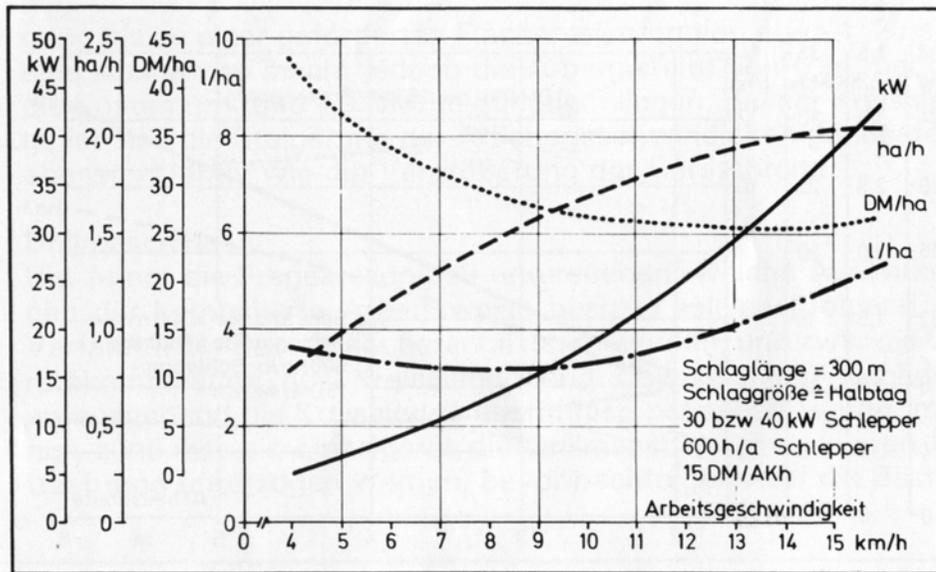


Abb. 21: Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Drillmaschine; konstante Arbeitsbreite 3 m.

nahme der Geschwindigkeit bis auf 15 km/h auf nahezu 5 l/ha an. Zu hohe Drillgeschwindigkeiten wirken sich also energetisch negativ aus.

Bestellkombination

Werden nun die beiden Einzelgeräte Kreiselegge und Drillmaschine zu einer Bestellkombination zusammengefügt, müssen sich die bisher besprochenen Gerätewerte überlagern. **Geräteverbreiterungen** bei dieser Bestellkombination ergeben bei konstanter Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h einen proportionalen Anstieg der notwendigen Schleppermotorenleistung bis auf 110 kW bei einer Arbeitsbreite von 6 m (Abb. 22). Die Kosten liegen bei 3 bzw. 4 m Arbeitsbreite im Minimum, der Dieselverbrauch weist keine großen Unterschiede auf. Die **Erhöhung der Arbeitsge-**

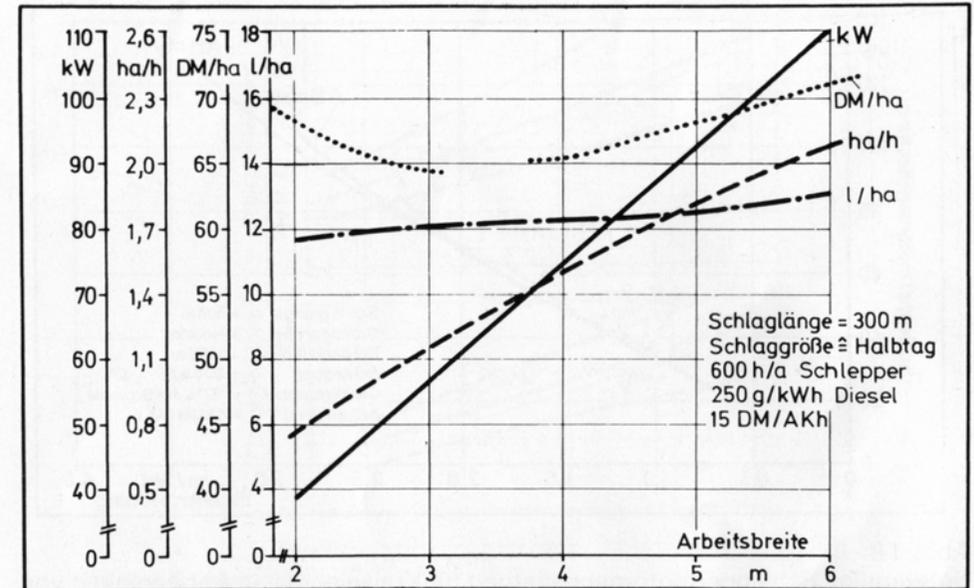


Abb. 22: Steigerung der Arbeitsbreite bei der Bestellkombination. (Kreiselegge mit Drillmaschine); konstante Arbeitsgeschwindigkeit 6 km/h.

schwindigkeit bei der Bestellkombination, nun bei konstanter Arbeitsbreite von 3 m, zeigt einen ähnlichen Verlauf der Kennwerte wie beim Einsatz der Kreiselegge (Abb. 23). Auch hier ergibt sich ein Kostenminimum ab Arbeitsgeschwindigkeiten von 6 km/h und höher. Ein **Vergleich** zwischen **breiterer** oder **schnellerer Arbeitsweise** mit der Bestellkombination macht deutlich (Abb. 24), daß keine sehr großen Unterschiede bei den notwendigen Schlepperleistungen und auch bei den erzielbaren Flächenleistungen auftreten, wenn die Gerätebreiten oder die Arbeitsgeschwindigkeiten verdoppelt werden. Bei den Kosten wirken sich hohe Geschwindigkeiten bis zu Arbeitsbreiten von 3 m günstig aus, während mit Steigerung ab dieser Arbeitsbreite mittlere Geschwindigkeiten am effektivsten sind. Allerdings sind die Unterschiede bei großen Ar-

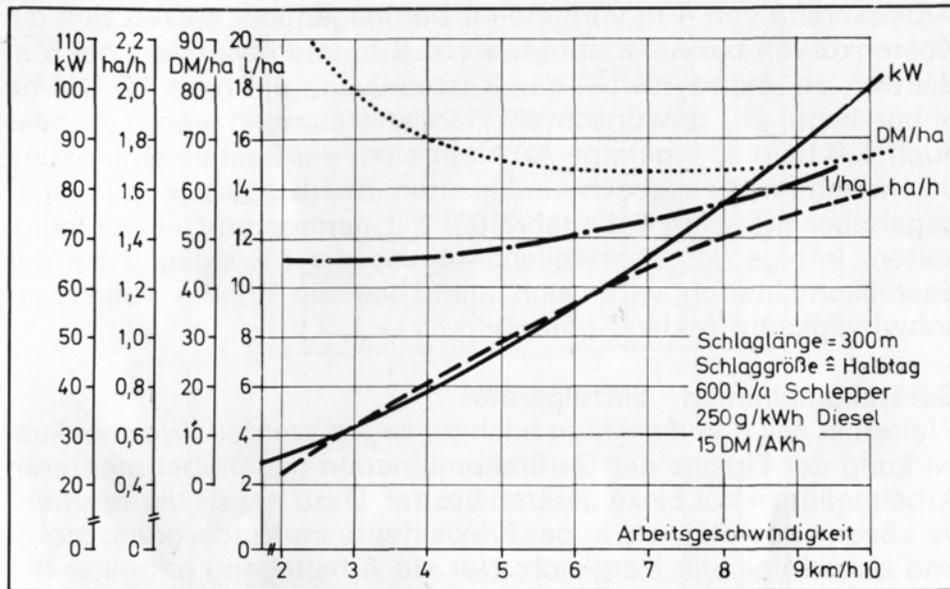


Abb. 23: Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit bei der Bestellkombination (Kreiselegge mit Drillmaschine); konstante Arbeitsbreite 3 m.

beitsbreiten nur unbedeutend, so daß der Steigerung der Arbeitsbreite oder der Arbeitsgeschwindigkeit etwa gleiche Bedeutung zuzumessen ist.

Deutlicher werden wiederum die Aussagen, wenn auch bei der Bestellkombination die erforderlichen Schleppermotorenleistungen und auch die Kosten der Arbeitserledigung über der gewünschten Flächenleistung in ha/h aufgetragen werden (Abb. 25 und 26). Bei einer notwendigen Flächenleistung von 0,8 ha/h können mit dem gleichen Allradschlepper von 40 kW eine 2 m breite Bestellkombination mit 6,2 km/h oder aber eine 3 m breite Bestellkombination mit knapp 4 km/h betrieben werden; bei 1,6 ha/h ist die doppelte Schleppermotorenleistung von 80 kW erforder-

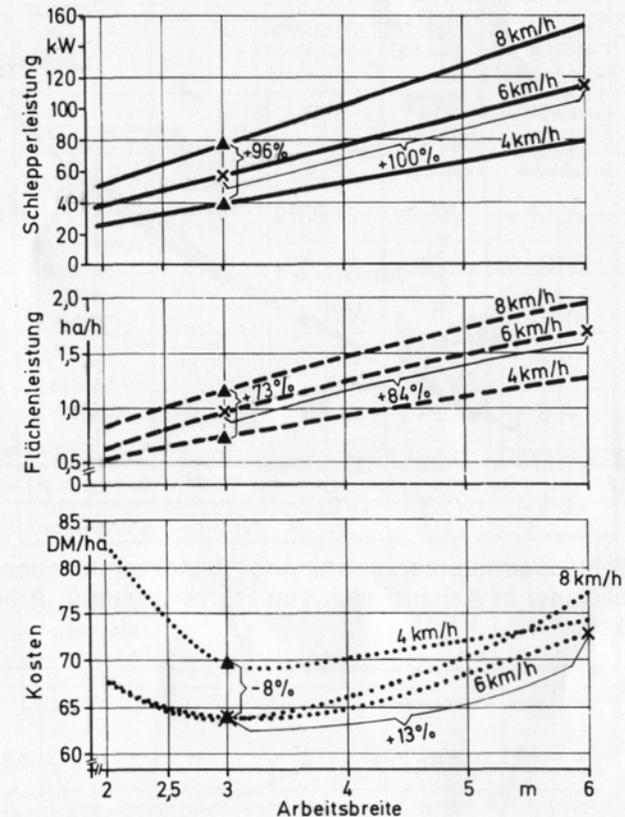


Abb. 24: Vergleich zwischen größerer Arbeitsbreite und höherer Arbeitsgeschwindigkeit beim Einsatz der Bestellkombination (Kreiselegge mit Drillmaschine).

lich, wobei dann 3 verschiedenbreite Bestellkombinationen von 4 m, 5 m oder 6 m bei unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten zur Verfügung stehen. Größere Abweichungen der notwendigen Schlepperstärken werden bei den jeweils gewünschten Flächenleistungen nicht deutlich. Dagegen sind deutlichere Differenzen bei der Betrachtung der Kosten der Arbeitserledigung zu verzeichnen. Bei geringen Arbeitsbreiten von 2 bzw. 3 m ergibt sich mit Erhöhung der Geschwindigkeiten auf 8 km/h eine kräftige Reduzierung der Kosten, wobei gleichzeitig eine deutliche Erhöhung der Flächenleistung auftritt. Dieser Trend ist auch noch bei einer

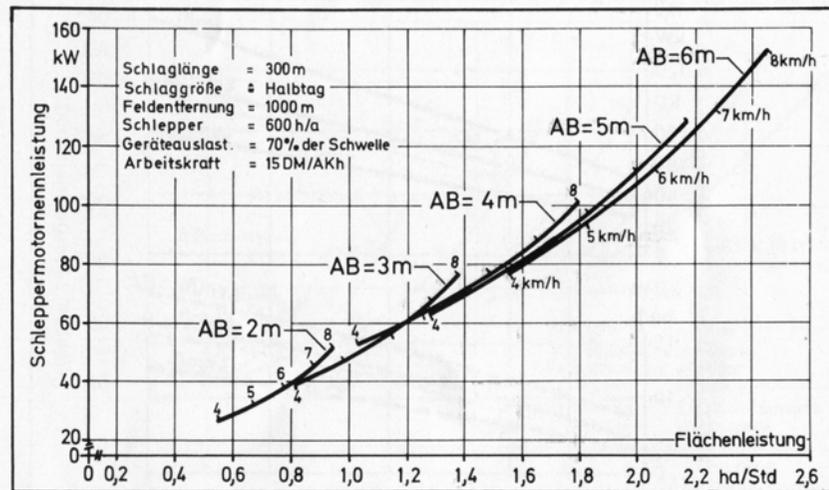


Abb. 25: Notwendige Schleppermotornennleistung für Bestellkombinationen (Kreiselegge mit Drillmaschine) in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

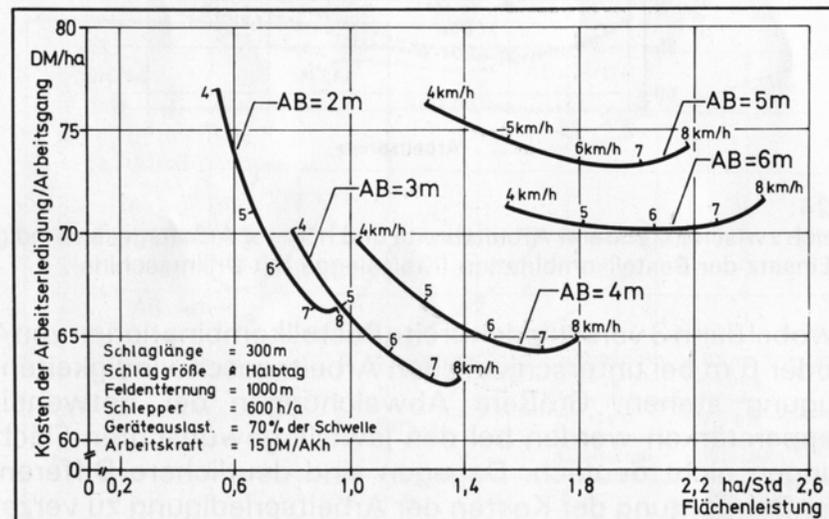


Abb. 26: Kosten der Arbeitserledigung je Arbeitsgang für die Bestellkombination (Kreiselegge mit Drillmaschine) in Abhängigkeit von Flächenleistung, Arbeitsbreite und -geschwindigkeit.

Arbeitsbreite von 4 m vorhanden. Demgegenüber setzen sich die Kostenkurven bei Arbeitsbreiten von 6 m und besonders bei 5 m deutlich ab, indem hierbei das Kostenniveau um rund 10 DM/ha höher liegt. Bei gewünschten Flächenleistungen von 1,4 oder auch 1,8 ha/h sind geringe Arbeitsbreiten der Bestellkombination bei hohen Vorfahrtgeschwindigkeiten deutlich kostengünstiger gegenüber größeren Arbeitsbreiten mit geringeren Geschwindigkeiten. Infolge des Zapfwellenantriebes der Kreiselegge bei der Bestellkombination wirkt sich auch hier die höhere Arbeitsgeschwindigkeit effektiver aus.

Gerätekombination - Einzelgeräte

Weiterhin soll nun der Frage nachgegangen werden, welche Auswirkung der Einsatz der **Gerätekombination** gegenüber mehreren Arbeitsgängen mit Einzelgeräten besitzt. Dazu wurde die alternative Lösung gewählt, die in der Praxis heute im Vordergrund steht, und zwar folgender Vergleich: Nur **ein Arbeitsgang** mit einer **Bestellsaatkombination** bestehend aus Kreiselegge mit angebauter Drillmaschine gegenüber zwei **Arbeitsgängen** mit zunächst einer Saatbettkombination und nachfolgend im gesonderten Arbeitsgang die Drillmaschine, sowie **drei Arbeitsgängen**, also einer notwendigen zweimaligen Bearbeitung des Schlages mit einer Saatbettkombination vor dem gesonderten Einsatz der Drillmaschine. Um bei diesem Vergleich eindeutige Aussagen machen zu können - denn es werden unterschiedliche Arbeitsbreiten und Arbeitsgeschwindigkeiten notwendig - wurde als Bezugsbasis die gleiche Flächenleistung gewählt (Abb. 27). Es wurden also für die gewünschten Flächenleistungen von 1 ha/h bzw. 1,5 ha/h die erforderlichen Schlepperstärken und auch die Kosten ermittelt. Dazu mußte allerdings der jährliche Auslastungsgrad der Geräte den praktischen Verhältnissen jeweils angepaßt werden. Bei einer notwendigen Flächenleistung von 1 ha/h erfordert die Bestellsaat eine Schleppermotornennleistung von 50 kW gegenüber etwa 70 kW bei zwei getrennten Arbeitsgängen sowie von etwa 80 kW bei drei Arbeitsgängen; das bedeutet eine Zunahme der erforderlichen Schlepperstärken von 40 % oder sogar von 70 %. Der Dieselölverbrauch in l ist durch ein uneinheitliches Bild gekennzeichnet; er liegt bei der Bearbeitung in zwei Arbeitsgängen am niedrigsten,

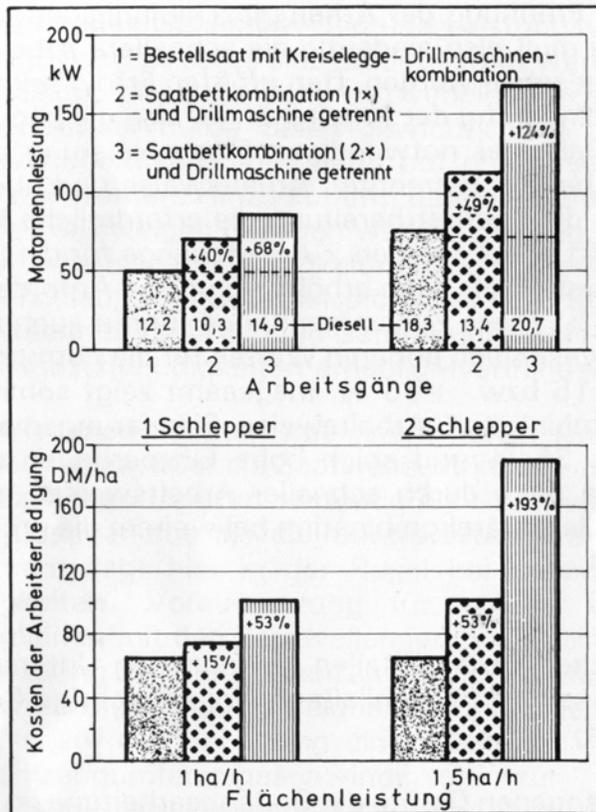


Abb. 27: Vergleich zwischen Bestellsaat mit einem Arbeitsgang und konventioneller Bestellung mit mehreren Arbeitsgängen.

übersteigt jedoch wesentlich bei drei Arbeitsgängen den Verbrauch gegenüber dem Einsatz der Bestellsaat mit Kreiselege-Drillmaschinenkombination. Bei dieser gleichen geforderten Flächenleistung von 1 ha/h steigen die Kosten (siehe unteren Teil der Säulendarstellung) nicht in gleichem Umfang wie die notwendigen Motornennleistungen, jedoch bei zwei Arbeitsgängen um 15 % und bei drei Arbeitsgängen um 53 %. Bei einer höheren erforderli-

		Schlepper- motornenn- leistung kW	Flächen- leistung ha/h	Kosten der Arbeitser- ledigung DM/ha
Pflug	breiter (4-8 Schare)	+100 %	+93 %	+ 6 %
	schneller (4,5-9 km/h)	+166 %	+80 %	+ 13 %
Saatbett- kombi- nation	breiter (5-10m)	+100 %	+96 %	+ 3 %
	schneller (6-12 km/h)	+228 %	+76 %	+10 %
Kreisel- egge	breiter (3-6m)	+100 %	+96 %	+3 %
	schneller (4-9 km/h)	+87 %	+79 %	-9 %
Bestell- kombi- nation (Kreiselege Drillmaschine)	breiter (3-6m)	+100 %	+84 %	+13 %
	schneller (4-8 km/h)	+96 %	+73 %	-8 %
Bestellkombi- nation oder konventionelle Bestellung	Arbeits- gänge			
	1:2	+40 %	1ha/h	+15 %
	1:3	+68 %	1ha/h	+53 %

Abb. 28: Auswirkung breiterer, schnellerer oder kombinierter Arbeitsweise beim Einsatz ausgewählter Geräte zur Bodenbearbeitung und Bestellung.

chen Flächenleistung von 1,5 ha/h ergeben sich jedoch sowohl bei den erforderlichen Schlepperstärken als auch bei den Kosten der Arbeitserledigung weit größere Differenzen, da bei zwei und drei Arbeitsgängen wesentlich größere Geräte und auch jeweils zwei Schlepper eingesetzt werden müssen. Aus diesem Vergleich ergibt sich die Folgerung, daß mit wachsenden Wünschen nach höherer Schlagkraft eindeutig die Gerätekombination von Vorteil ist, daß also insbesondere größere Betriebe für die Saatbettbereitung und Aussaat den beträchtlichen Nutzen beim Einsatz einer Bestellsaatkombination wahrnehmen sollten. Gegenüber den an-

deren Alternativen, die Arbeitsbreiten oder die Arbeitsgeschwindigkeiten von Einzelgeräten zu steigern, ist zweifellos die Gerätekombination wesentlich günstiger; sie bringt bei weitem den größten Effekt. Aus diesem Grunde sind alle Bemühungen sehr wirksam, überall dort, wo bestimmte Arbeitsgeschwindigkeiten der Einzelgeräte in etwa übereinstimmen und bestimmte Arbeitszeitspannen vorgegeben sind und eingehalten werden müssen, diese Lösung der Gerätekombination anzustreben. Gerätekombinationen werden also umso dringender notwendig, je mehr eine hohe Schlagkraft verlangt wird, und je mehr höhere Schlepperleistungsklassen eingesetzt werden sollen.

Vergleich breitere, schnellere oder kombinierte Arbeitsweise

Zur Erhärtung der Aussagen, welche der drei Alternativen - breitere, schnellere oder kombinierte Arbeitsweise - den besten Erfolg erbringt, sollen die vorausgegangenen Ergebnisse in einer Zahlengegenüberstellung zusammengefaßt werden (Abb. 28). Dabei wurde jeweils eine Verdoppelung der Arbeitsbreite bzw. der Vorfahrtgeschwindigkeit in den angegebenen Bereichen unterstellt. Die notwendige **Schlepperstärke** nimmt bei den bezogenen Geräten Pflug und Saatbettkombination bei Verdoppelung der Arbeitsgeschwindigkeit gegenüber Geräteverbreiterungen wesentlich stärker zu (+ 166 % bzw. + 228 %), während die **Flächenleistung** in nur geringem Umfange steigt; als Folge davon liegen die **Kosten der Arbeitserledigung** sowohl beim Pflug als auch bei der Saatbettkombination bei der breiteren Arbeitsweise günstiger. Bei den gezogenen Geräten der Bodenbearbeitung ist also eindeutig der Geräteverbreiterung der Vorzug zu geben. Andere Verhältnisse zeigen jedoch die zapfwellengetriebenen Bodenbearbeitungsgeräte wie Kreiselegge und Bestellkombination aus Kreiselegge mit Drillmaschine. Bei Ihnen führt die Verdoppelung der Arbeitsgeschwindigkeit im angegebenen Bereich nicht zu solch hohen Ansprüchen an die notwendige Schleppermotornennleistung, die Werte liegen sogar günstiger gegenüber der Geräteverbreiterung. Bei der erzielbaren Flächenleistung mit diesen Geräten ist wiederum die breitere Arbeitsweise effektiver. Jedoch fallen wesentlich geringere Kosten der Arbeitserledigung bei diesen Zapfwellenge-

räten mit der Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit an; für diese Gerätegruppe muß also eindeutig die schnellere Arbeitsweise als effektiver angesehen werden. Den größten Erfolg zeigt zweifellos aber die Verminderung der Arbeitsgänge, also die kombinierte Arbeitsweise. Bei einer notwendigen Flächenleistung von 1 ha/h steigt schon bei der getrennten Arbeitsweise und nur einem Arbeitsgang für die Saatbettbereitung die erforderliche Motornennleistung um 40 % an, werden 2 Arbeitsgänge für die Saatbettbereitung benötigt (1:3), dann erhöht sich diese Anforderung sogar auf etwa 70 %. Diese Zusammenhänge führen auch auf der Kostenseite zu wesentlich höheren Werten für die getrennte Arbeitsweise von + 15 bzw. + 53 %. Insgesamt zeigt somit der Übergang zur kombinierten Arbeitsweise Einsparungsmöglichkeiten von 13 bzw. 35 % und solch hohe Einsparungen sind weder durch breitere noch durch schneller Arbeitsweisen möglich, so daß letztlich die Gerätekombination bei weitem die größte Effektivität aufweist.

Folgerungen

Als wesentliches Fazit aus allen gewonnenen Untersuchungsergebnissen lassen sich abschließend einige wichtige Schlußfolgerungen ziehen:

1. Für die **gezogenen Geräte** der Bodenbearbeitung ist generell eine Vergrößerung der Arbeitsbreite am wirkungsvollsten. Zwar kann die Arbeitsgeschwindigkeit bei kleineren bis mittleren Arbeitsbreiten, beispielsweise bis zum 3-Schar-Pflug oder einer 4 m breiten Saatbettkombination, noch relativ hoch liegen; mit weiterer Zunahme der Arbeitsbreiten bis zu den größten Gerätebreiten sollte jedoch entgegen der bisherigen Meinung die Geschwindigkeit mehr und mehr reduziert werden, denn das Kostenminimum verlagert sich mit stark zunehmenden Gerätebreiten auf abnehmende Vorfahrtsgeschwindigkeiten. Inwieweit bei den dann notwendigen Schlepperstärken das Schlepbergewicht ausreicht, um sehr hohe Zugkräfte aufbringen zu können, erscheint jedoch problematisch. So fordert **Steinkampf** (16) bei Schlepperleistungsgewichten von 73 daN/kW (55 kp/PS) eine Fahrgeschwindigkeit von 9 km/h, um

nicht mit zu hohen Schlupfwerten und Leistungsverlusten arbeiten zu müssen. Es sollte also dafür gesorgt werden, daß bei großen Arbeitsbreiten die dann notwendigen sehr leistungsstarken Schlepper durch Ballastgewichte und zunehmende Gewichtsverlagerungen vom Gerät auf die Schleppertriebräder schwerer werden. Hinzu kommt, daß von Seiten der Geräteindustrie Folgerungen gezogen werden müßten, um bei verminderten Arbeitsgeschwindigkeiten gleich gute Arbeitsqualitäten zu erzielen; so müßte beispielsweise der Strichabstand der Feingrubber bei sehr großen Gerätebreiten und bei geringeren Arbeitsgeschwindigkeiten erheblich vermindert werden.

2. Bei **angetriebenen Geräten** mit einem hohen Anteil der Leistungsübertragung über die Zapfwelle wirkt sich im Gegensatz zu den gezogenen Geräten eindeutig die Geschwindigkeitserhöhung günstiger aus als die Geräteverbreiterung. Das Kostenminimum liegt hier in der Regel bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten. Voraussetzung für höhere Vorfahrtsgeschwindigkeiten mit den Zapfwellengeräten ist allerdings eine gute Anpassung der Gerätedrehzahl an die Vorfahrtsgeschwindigkeit, um eine gleiche Arbeitsqualität zu erzielen. Es kommt hierbei also auf die Einhaltung eines gleichen Verhältnisses von Werkzeugumfangsgeschwindigkeit zur Vorfahrtsgeschwindigkeit $\frac{U}{V}$ an. Dieser Zusammenhang wird im übrigen sinngemäß sicherlich auch für Zapfwellengeräte, die in der Ernte eingesetzt werden, Gültigkeit haben; so müßte z.B. beim Feldhäcksler mit einer Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeit auch die Einzugsgeschwindigkeit der Vorpreßwalzen und die Schnittfrequenz proportional zunehmen. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich hohe und höchste Schlepperstärken bei nur geringem Leistungsgewicht durch weitere Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeiten offenbar sehr effektiv nutzen.
3. **Gerätekombinationen** zur Einsparung von Arbeitsgängen erbringen zweifellos gegenüber Verbreiterungen und Geschwindigkeitserhöhung von Einzelgeräten den bei weitem besten Effekt in Bezug auf notwendige Schlepperstärken, Flächenleistungen und Kosten. Diese Maßnahme der Zusammenballung

mehrerer Arbeitsgänge - wie im übrigen bei Mähdreschern, Kartoffelrodern, Zuckerrübensvollernern sowie Ladewagen schon längst vollzogen - sollte überall dort, wo sich hierzu sinnvolle Möglichkeiten anbieten, ausgeschöpft werden. Voraussetzung dazu sind allerdings eine große Übereinstimmung der notwendigen Arbeitsgeschwindigkeiten der zu koppelnden Geräte, in etwa gleiche Arbeitstermine sowie ausreichende Hubkräfte der Schlepper-Dreipunktaufhängung und hohe Tragfähigkeiten der Bereifung, um die sehr hohen Gewichte der gekoppelten Geräte mit ihrer teils ungünstigen Schwerpunktlage ausheben und tragen zu können. Hierfür kommen folglich nur größere Schlepper in Frage.

Wenn auch für die Bodenbearbeitung und Bestellung die Frage nach der Effektivität von schnellerer, breiterer oder kombinierter Arbeitsweise einer gewissen, allerdings nur angenäherten Klärung mit manchen Einschränkungen zugeführt werden konnte, so erscheint es jedoch dringend notwendig, auf der einen Seite weitere wichtige Einflußfaktoren in die Berechnungen mit einzubeziehen, sowie auf der anderen Seite auch bei den Erntearbeiten und den Transporten ähnliche Überlegungen anzustellen. Insbesondere müßte derartigen Vergleichen eine konstante Arbeitsqualität als Grundbasis und Ausgangspunkt zugrunde gelegt werden, also z.B. bei Bodenbearbeitungsgeräten das gleiche Ausmaß an Bodenzerkleinerung. Leider fehlen über diese Beziehungen, insbesondere in Verbindung mit steigenden Arbeitsgeschwindigkeiten bis hin zu den möglichen Grenzwerten, eindeutige Versuchsergebnisse, die es baldmöglichst zu gewinnen gilt. Im übrigen würden derartige Ergebnisse auch für die heute so aktuellen Probleme der sinnvollen Energienutzung von Interesse sein, also beim Schleppereinsatz für die Minimierung des Brennstoffverbrauches. Letztlich geht es jedoch darum, die noch bestehenden Rationalisierungsreserven in der landwirtschaftlichen Produktionstechnik auszuschöpfen, also bei gleichbleibend optimaler Arbeitsqualität und bei hoher Schlagkraft mit möglichst niedrigen Kosten der Arbeitsleistung und mit geringem Energieaufwand zu produzieren.

Literatur

1. Bernacki, H.: Vergleich des Energieaufwandes für die Bodenbearbeitung mit verschiedenen Werkzeugen. Agrartechnik 23 (1973) H. 1, S. 5-8
2. Estler, M. und Zeltner, E.: Leistungsbedarf von Maschinen für die Minimal-Bestelltechnik. Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1973, S. 90-99
3. Feuerlein, W.: Meßmethoden und Kenngrößen zur Ermittlung des Arbeitserfolges beim Pflügen. Grundlagen d. Landtechnik 18 (1968) Nr. 2, S. 65-77
4. Feuerlein, W.: Geräte zur Bodenbearbeitung. Angewandte Landtechnik, Stuttgart: Verlag Ulmer 1971, H. 2
5. Gorjatschkin in Krutikow u.a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. VEB-Verlag Technik 1955, S. 290
6. Heege, H.J.: Gerätekombination für die Getreidebestellung. Landtechnik 28 (1973), H. 3, S. 65-72
7. Klügel, H.: Saatbettbearbeitung und Bestelltechnik. Landtechnik 31 (1976), H. 3, S. 94-96
8. Knittel, H.: Wirkung moderner Bodenbearbeitungsgeräte auf das Bodengefüge. Diss. Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1974
9. Rosegger, S. und Hell, K.W.: Einsatz von Anbaupflügen und Schleppern mit Regelhydraulik aus betriebstechnischer Sicht. Grundlagen Landtechnik 17 (1967), H. 4, S. 125-131
10. Rosegger, S. und Olfe, H.: Die Minimalbodenbearbeitung aus arbeitswirtschaftlicher Sicht. Landbauforschung Völkenrode H. 21 (1971), S. 25
11. Rosegger, S. und Sörgel, F.P.: Ermittlung von technischen und arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten für die Pflanzliche Produktion. Landbauforschung Völkenrode H. 32 (1976)
12. Rosegger, S. und Olfe, H., Sörgel, F., Steinkampf, H.: Voraussetzungen für die optimale Nutzung leistungsstarker Schlepper bei der Bodenbearbeitung. Landbauforschung Völkenrode H. 1 (1976), S. 40
13. Sieg, R.: Moderne Bodenbearbeitung in Verbindung mit der Getreideaussaat. ÖKL-Landtechn. Schriftenreihe (1976), H. 20
14. Söhne, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrtgeschwindigkeit. Grundlagen Landtechnik 11 (1959), S. 22-39
15. Söhne, W.: Anpassung der Pflugkörperform an höhere Fahrgeschwindigkeiten. Grundlagen der Landtechnik 12 (1960) S. 51-62
16. Steinkampf, H.: Wirtschaftlicher Einsatz leistungsstarker Schlepper aus energetischer Sicht. Landbauforschung Völkenrode H. 3 (1977) S. 159-164
17. Steinkampf, H.: Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen Landtechnik 24 (1974), H. 1, S. 14-20
18. Steinkampf, H. und Zach, M.: Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatbettbereitung. Landbauforschung Völkenrode H. 24 (1974), S. 55
19. Stroppel, A.: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grundlagen Landtechnik 27 (1977), H. 4, S. 108-114
20. Stroppel, A. und Bunk, A.: Ein Beitrag zum Leistungs- und Energiebedarf gezogener und angetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Grundlagen Landtechnik 28 (1978), H. 6, S. 214-218
21. Sturm, W.: Mathematisches Simulationsmodell zur Planung einer technisch-ökonomisch optimierten Getreidebestellung. Diplomarbeit TH Aachen: Institut für Kraftfahrwesen 1978
22. Zach, M. und Steinkampf, H., Sommer, C.: Arbeitseffekte und Leistungsbedarf eines Kreiselpfluges. Landbauforschung Völkenrode H. 1 (1972) S. 29
23. Zeltner, E.: Betriebstechnische und pflanzenbauliche Aspekte verschiedener Minimalbestellverfahren. Dissertation Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1975

EDV-Programme, Prüfberichte, Datensammlungen, Preislisten

24. Auernhammer, H.: ZEFA (Zeitbedarf für die Feldarbeit) Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan, Weihenstephan 1978
25. DLG: Verschiedene DLG-Prüfberichte für die Maschinen und Geräte der Bodenbearbeitung
26. DLZ: Traktordaten und -preise. Die landtechnische Zeitschrift 30 (1979), H. 9, s. 1192-1235
27. DLZ: DLZ-Typentabelle Pflüge: Die landtechnische Zeitschrift 29 (1978), H. 9, S. 1036-1065
28. DLZ: Drillmaschinen. Die landtechnische Zeitschrift 29 (1978), H. 8, S. 953-961
29. KTBL: KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft, 9. Auflage Hiltrup 1978.

Moderne Saattechnik bei Mais

von Ing. agr. Josef Schrödl, DLG-Prüfstelle für Landmaschinen, Groß-Umstadt

In der Bundesrepublik Deutschland hat sich einem langjährigen Trend folgend im Jahre 1979 die Maisanbaufläche wieder erhöht, um 55.000 ha; sie hat insgesamt mit rund 750.000 ha über 10 % der Ackerfläche erreicht. Mit rund 640.000 ha überwiegt der Silomais, rund 110.000 ha werden an Körnermais angebaut. Langfristig ist eine Gesamtfläche von 1 Mio ha durchaus möglich. Vor dem Hintergrund dieser Zahlen lohnt es, sich mit dem Maisanbau allgemein und speziell mit dem Thema Saattechnik auseinanderzusetzen.

I. Welche Anforderungen sind an die moderne Saattechnik zu stellen?

Um einen gleichmäßigen, schnellen Aufgang und die optimale Bestandsdichte zu erreichen ist es notwendig, daß die gewünschten Kornabstände in der Reihe und die Ablagetiefe möglichst genau eingehalten und die abgelegten Maiskörner gleichmäßig mit Boden bedeckt sowie ausreichend angedrückt werden. Außerdem müssen die Anteile doppelter und fehlender Belegung möglichst niedrig sein, um sowohl eng stehende Pflanzen als auch gerätebedingte Lücken zu vermeiden.

Für den künftigen Körner- und Silomaisanbau kommen daher nur Einzelkornsämaschinen und Einzelkornsaat in Frage. Dies ist eine der Grundlagen für hohe Erträge.

Die Einzelkornsaat setzt aus biologischen Gründen und zur besseren Aussaatfähigkeit entsprechend aufbereitetes Maisaatgut voraus. Der in der Bundesrepublik Deutschland erzeugte Saatmais wird zum großen Teil nach dem Krotzinger Kalibrierungsvorschlag aufbereitet, hier sind maximal 7 Sortierungen, auch Kaliber genannt, vorgesehen. Der aus dem Ausland stammende Saatmais weist andere, zum Teil ähnliche Kaliber auf. Hinzu kommt, daß jährlich aufwuchsbedingt das Tausendkorngewicht schwankt.

II. Wie sieht die moderne Saattechnik aus

Das Angebot an Einzelkornsämaschinen für die Maisaussaat auf dem bundesdeutschen Markt ergibt nach einer Umfrage folgendes Bild:

9 Maschinentypen oder rund 40 % sind der Gruppe mit pneumatisch arbeitendem Säsystem und

13 Maschinentypen oder rund 60 % sind der Gruppe mit mechanisch arbeitendem Säsystem zuzuordnen.

Diese Zahlen lassen keinen Schluß auf die Verkaufsanteile zu und erst recht nicht auf die anteilig ausgesäte Fläche. Darüber gibt es leider keine Statistik. Mit Sicherheit läßt sich lediglich sagen, daß heute bei Neuanschaffungen die pneumatisch arbeitenden Systeme für die Maisaussaat überwiegen.

Dieses sehr umfangreiche Maschinenangebot möchte ich zum besseren Verständnis noch näher beschreiben.

1. Die Einzelkornsämaschinen mit pneumatischem Säsystem lassen sich einteilen in solche, bei denen die Korneinzelung mit Saugluft erfolgt - das ist die Mehrzahl - und solche, die mit Druckluft arbeiten.

Beide Systeme sind kalibrierungsunempfindlich, d.h. alle Partien der bei uns angebotenen unterschiedlichen Maissorten und Kaliber können ohne Wechsel der Lochscheibe bzw. des Zellenrades - bei befriedigender Aussaatqualität - ausgesät werden, wenn diese Maschinen richtig eingesetzt und betrieben werden. Aus sätechnischer Sicht bringt dabei die Kalibrierung des Maises keine erheblichen Vorteile.

Diese Maschinen sind mit den typischen Merkmalen für die Maisaussaat konstruiert, bzw. dafür ausrüstbar, z.B. hohes Einzelgewicht, große Saatgutbehälter, Säbelschar, großvolumige Druckrolle, und können als Spezialmaschinen für Mais angesehen werden. Reihenfolge und Auswahl stellen keine Wertung dar.

Beispiele von Maschinen mit Saugluftsystem sind die MULI-MAT Super 550 (Eberhardt), MONOAIR (Fähse), MONOSEM (Monosem GmbH), PNEUMASEM II (Schweitzer), VAKUDRILL (Schmotzer) und MULTISEM (Tröster).

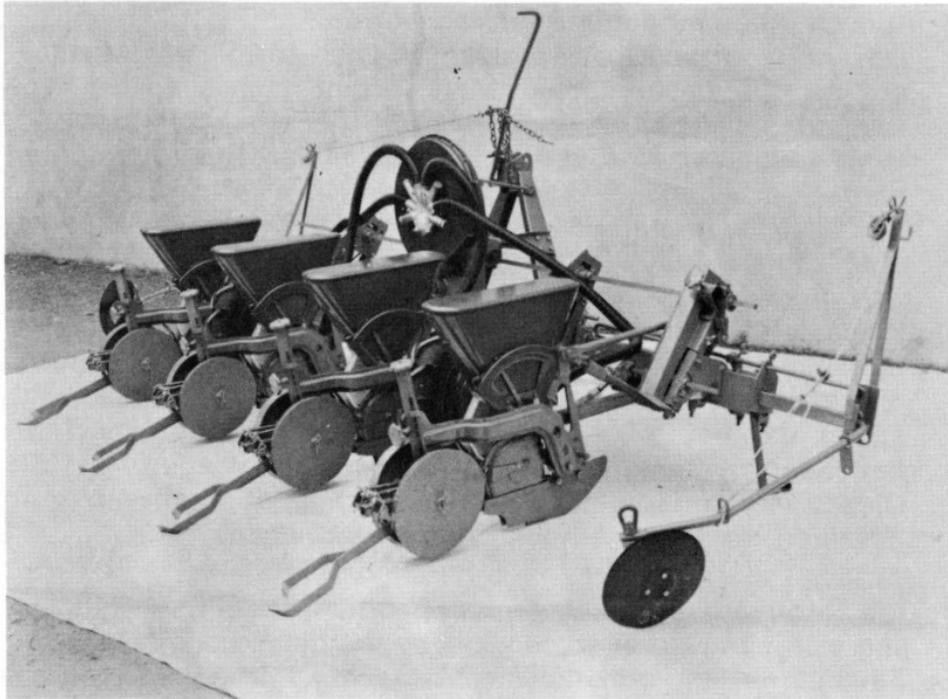


Bild 1:
PNEUMASEM II, pneumatisch arbeitende Säeinrichtung mit Saugluft, Lochscheibe und einstellbarem Abstreifer

Beispiele von Maschinen mit Druckluftsystem sind die AEROMAT S und M sowie AEROMAT II (Becker).

2. **Die heutigen Einzelkornsämaschinen mit mechanischem Säsystem** sind mehr oder weniger kalibrierungs-empfindlich, und es muß eine entsprechende Übereinstimmung von Zellen-, Loch- oder Löffelgröße einerseits und von Korngröße und -form andererseits vom Benutzer hergestellt werden, um eine möglichst gute Einzelbelegung der Verteileinrichtung zu erreichen. Mit anderen Worten: Zellenrad bzw. Loch- oder Löffelscheibe müssen beim Wechsel des Saatgutes gewechselt werden. Beim mechanischen Säsystem sind die Kalibrierung des Saatmaises und ihre Berücksichtigung unbedingt notwendig.

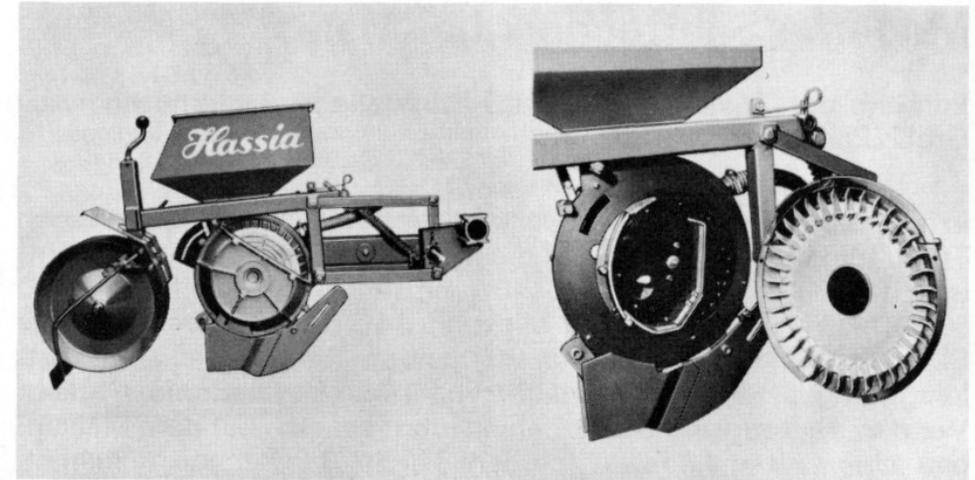


Bild 2 u. 3:
MULTISEM, pneumatisch arbeitende Säeinrichtung mit Saugluft, Lochscheibe und einstellbarem Abstreifer für die Korneinzelung sowie Kammerrad zur mechanischen Kornablage

Bei diesen Maschinen gibt es allerdings Unterschiede, die nicht unerwähnt bleiben sollen. Am günstigsten schneidet das verbesserte Löffelradssystem ab. Hier muß die Anpassung nicht so genau sein wie beim Zellenrad oder Lochscheibensystem. Obwohl mit einem Standardlöffel die mittleren Saatgutkaliber ausgesät werden können, sind noch zwei weitere Größen für kleine und große Saatgutkaliber erforderlich.

Bei Zellenrad- bzw. Lochscheiben-Maschinen mit rundum geschlossener Zelle sind mindestens vier bis fünf Zellen- bzw. Lochgrößen notwendig, um alle gängigen Saatgutkaliber aussäen zu können.

Bei allen mechanischen Systemen muß durch Abdreihprobe kontrolliert werden, ob die eingebaute Größe des Löffel- oder



Bild 4:
AEROMAT-S, pneumatisch arbeitende Säeinrichtung mit Druckluft und Zellenrad; aufgebauter Reihendüngerstreuer

Zellenrades bzw. der Lochscheibe paßt.

Auch ein Teil dieser Maschinen ist mit den bereits vorhin genannten typischen Merkmalen für die Maisaussaat versehen, vor allem dann, wenn es sich um Spezialmaschinen für Mais handelt. Beispiele hierfür sind die MAXICORN (Kleine), die FENDT-MAXICORN (Fendt) und die MAISDRILL (Schmotzer). Beispiele von mechanisch arbeitenden Maschinen mit typischen Konstruktionsmerkmalen für die Rübenaussaat, jedoch umgerüstet zur Maisaussaat, sind die UNADRILL - S (Schmotzer) und EXAKTA-S (Rau).

Diese zuletzt angeführten Kombinationsmaschinen können für die Maisaussaat heute nur unter bestimmten Einsatzverhältnissen empfohlen werden.

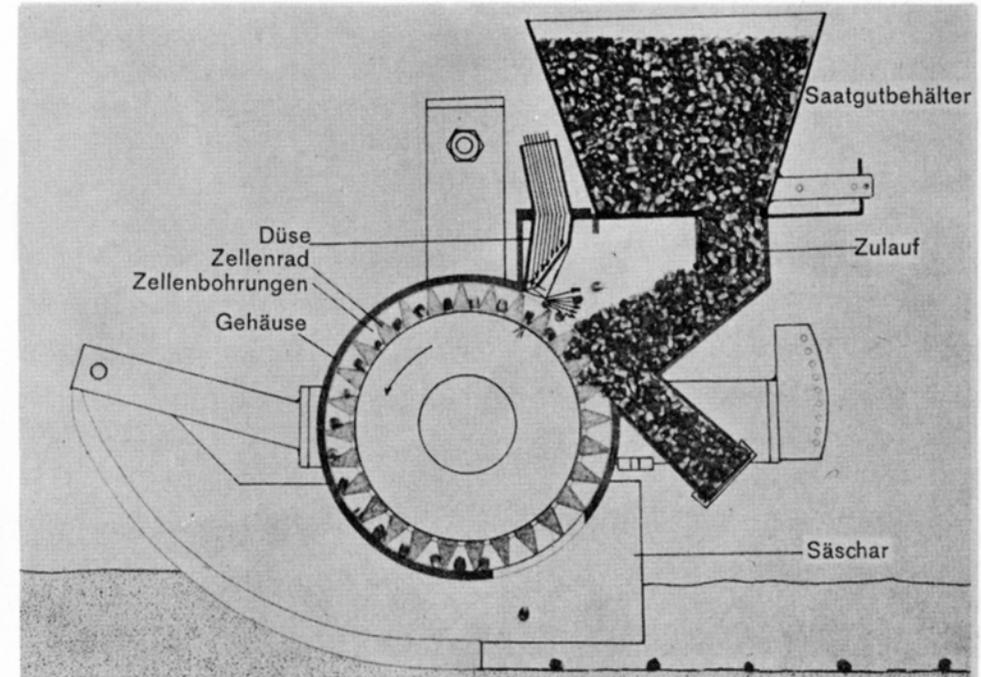


Bild 5:
AEROMAT-S, Funktionsprinzip der Säeinrichtung

Noch kurz zu den Aufbaugeräten und zu den Kombinationen von Sämaschinen und Bodenbearbeitungsgeräten:

1. Als Aufbaugeräte auf die Einzelkornsämaschinen kommen Reihendüngerstreuer für die Ausbringung von Stickstoff-Phosphor-Düngern zur Unterfußdüngung und Granulatstreuer zur Ausbringung von Insektizidgranulaten in Frage. Die Unterfußdüngung wird bei Körner- und Silomais vor allem in klimatisch weniger günstigen Anbaugeländen schon weitgehend und mit Erfolg angewendet. Die im Ausland z.T. stark verbreiteten Granulatstreuer fanden bei uns bisher keinen nennenswerten Eingang.
2. Einzelkornsämaschinen für Maisaussaat lassen sich mit vorlaufenden Bodenbearbeitungsgeräten z.B. Fräsen kombinieren. Diese Vorlaufgeräte können ganzflächig oder streifenweise arbeiten; eine stärkere Verbreitung hat diese Minimal-Bestelltechnik bisher bei uns allerdings nicht erlangt.

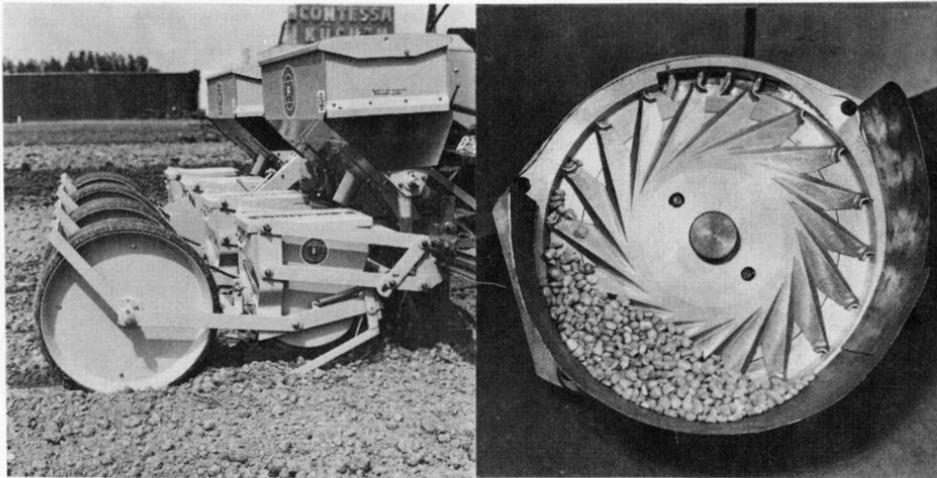


Bild 6 u. 7:
MAXICORN, mechanisch arbeitende Säeinrichtung mit Löffelscheibe zur Korneinzelung und synchron mitlaufendem Kammerrad zur Kornablage (Foto 7); aufgebauter Reihendüngerstreuer (Foto 6)

III. Was ist beim Einsatz der modernen Saattechnik zu beachten?

Mit allen heute angebotenen Einzelkornsämaschinen, vor allem mit den pneumatisch arbeitenden und mit den mechanisch arbeitenden Spezialmaschinen läßt sich von der technischen Ausrüstung her eine gute Aussaatqualität erreichen. Wenn dennoch in der Praxis verschiedentlich Schwierigkeiten auftreten, liegen diese häufig daran, daß die notwendigen Voraussetzungen nicht gegeben waren oder Fehler bei der Maschinenhandhabung gemacht wurden.

1. **Zu den wichtigsten Einsatzvoraussetzungen** gehört die Saatbettvorbereitung. Die Oberschicht der Krume sollte gleichmäßig und nur 4-6 cm, je nach Saattiefe, gelockert werden, damit die kapillare Wirkung des abgesetzten Saatunterbettes sowie eine für die Tiefenführung des Sägerätes mittragende Bodenschicht erhalten bleibt. Bei gleichzeitiger Unterfußdüngung kann es zweckmäßig sein, 1 bis 2 cm tiefer zu lockern. Nach der Bearbeitung sollte das Saatbett im allgemeinen grobkrümelig und möglichst eben

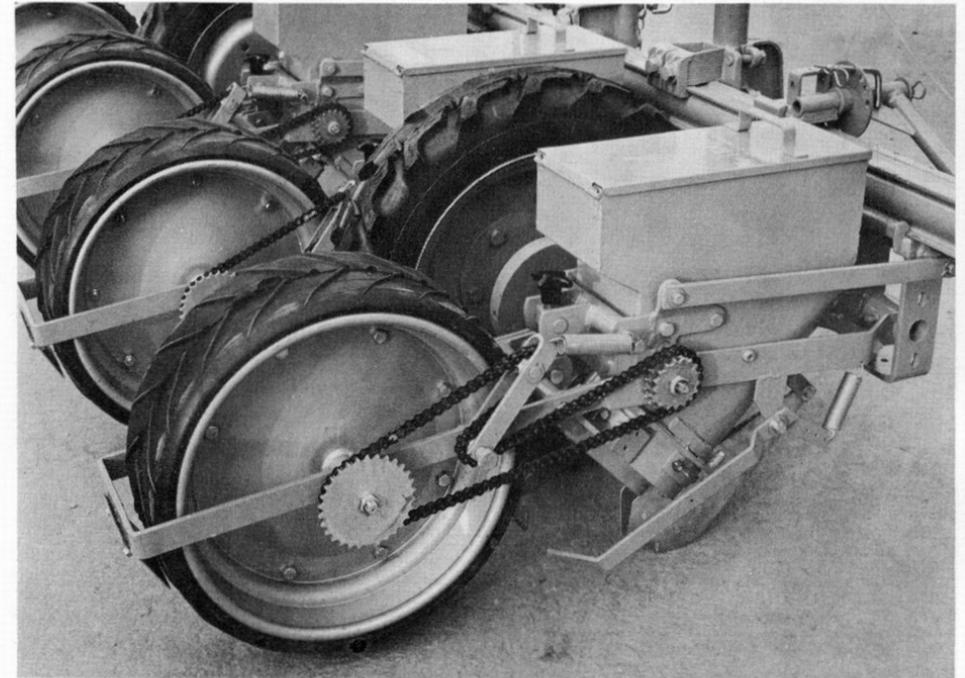


Bild 8:
MAISDRILL, mechanisch arbeitende Säeinrichtung mit Lochscheibe und feststehendem Abstreifer zur Korneinzelung und synchron mitlaufendem Kammerad zur Kornablage

sein. Freilich können dies nur Anhaltspunkte sein; im übrigen sind die örtlichen Erfahrungen zu beachten. Eine weitere Voraussetzung ist das entsprechende Maissaatgut, das bereits angeführt wurde. Da der Benutzer einer bestimmten Einzelkornsämaschine nicht davon ausgehen kann, Jahr für Jahr genau dieselben Kaliber und Tausendkorngewichte zu bekommen, müssen bei Maschinen mit mechanischem Säsystem die notwendigen Löffel-, Loch- oder Zellengrößen vorhanden sein. Nur dann ist eine entsprechende Aussaatqualität zu erreichen.

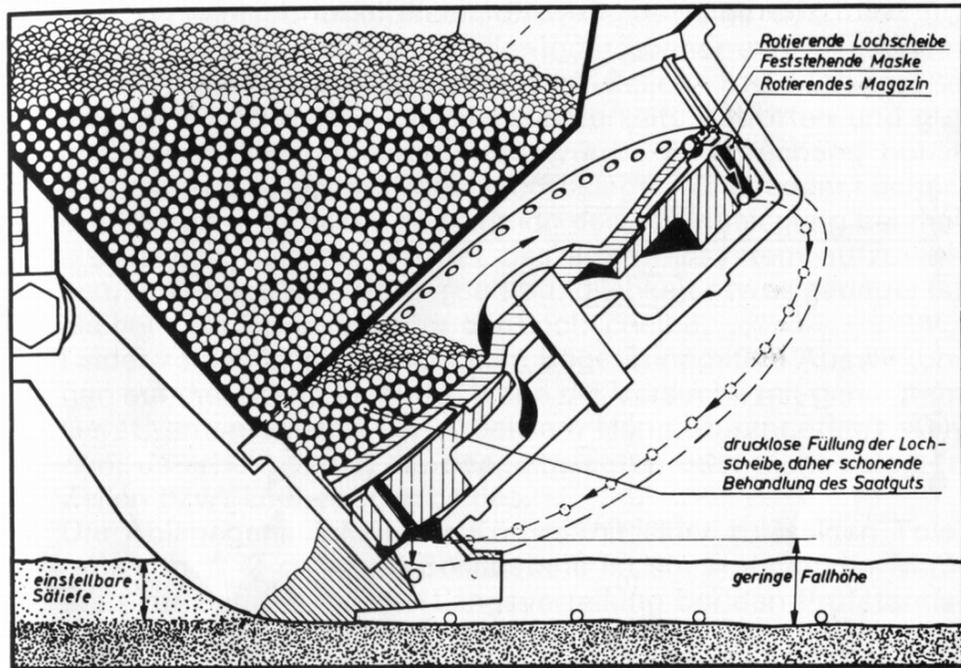


Bild 9:
MAISDRILL, Funktionsprinzip der Säeinrichtung

Bei den pneumatisch arbeitenden Systemen wäre noch die Entbeizung des Saatgutes durch die Saug- oder Druckluft anzusprechen, die ohne Zweifel in gewissem Umfang auftritt. Nach Untersuchungen des Pflanzenschutzamtes in Bad-Godesberg kann jedoch der Entbeizung, insbesondere bei der Inkrustierung mit zusätzlichen Schutzmitteln z.B. gegen Vogelfraß, durch die Anwendung von Dextrin befriedigend entgegengewirkt werden. Da diese Zusatzbehandlung immer größere Bedeutung erlangt und leider Fehler bei der Inkrustierung in der Praxis vorkommen, wird seitens der Saatgutaufbereiter z.T. bereits Dextrin bei der Beizung verwendet, z.T. wird zunächst versuchsmäßig das Korn mit einem festhaftenden dünnen Schutzfilm überzogen.

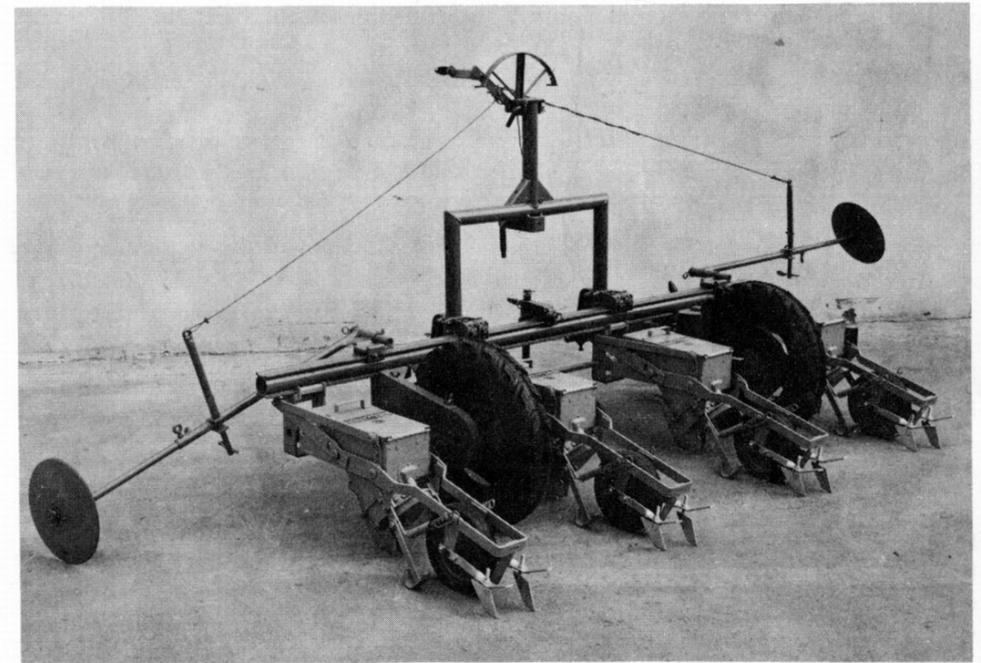


Bild 10:
UNADRILL-S, Kombinationsmaschine, umgerüstet für Maisaussaat, mechanisch arbeitende Säeinrichtung mit Lochscheibe und feststehendem Abstreifer zur Korneinzelnung und synchron mitlaufendem Kammerrad zur Kornablage

2. Zur Maschinenhandhabung

Trotz der fortgeschrittenen Technik bei Einzelkornsämaschinen ist es zur Vermeidung von größeren Pannen notwendig, sich bereits vor dem Einsatz mit der Maschine ausreichend vertraut zu machen. Dazu muß man schon die Betriebsanleitung und - soweit vorhanden - den DLG-Prüfbericht zur Hand nehmen und anhand der Maschine genau studieren. Besonders wichtig sind dabei die Arbeitsweise, die verschiedenen Einstellmöglichkeiten und die notwendigen und zulässigen Drehzahlen und Geschwindigkeiten. Mit mechanisch arbeitenden Säegeräten kann etwa 4-6 km/h, mit pneumatischen etwa 5-7km/h bei guter Arbeitsqualität gefahren werden. Als Faust-

Fahrgeschwindigkeit und Standgenauigkeit der Pflanzen

(DLG-Prüfberichte)

Sägerät	Fahrgeschwindigkeit	Anteil Pflanzen 0,5 bis 1,5-facher Sollabstand	Anteil standgenauer Pflanzen (± 3,5 cm z. Sollabstand)
	km/h		
I	3,9	86,2	72
	5,5	71,5	53
II	3,8	79,6	63
	5,8	76,4	51
	7,6	71,3	44
III	5,8	82,9	81
	6,8	81,6	72
IV	5,3	81,1	73
	7,0	76,1	62

Abb. 1: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Gleichmäßigkeit der Pflanzenabstände in der Reihe

regel für die Arbeitsgeschwindigkeit gilt etwa der halbe Korn-sollabstand in km/h. Eine Überforderung der Säeinrichtung durch ein schnelleres Fahren könnte je nach System überhöhte Doppelbelegungen oder Fehlstellen oder beides zur Folge haben; hinzu kommt die größere Streuung bei der Kornablage. Entsprechend sieht dann der Pflanzenbestand aus (siehe Abb. 1).

Rechtzeitig vor dem Einsatz sollten die neuen und erst recht die schon früher verwendeten Maschinen überprüft werden, mit einer Abdreh- und Funktionsprobe als Abschluß. Wiederholte Kontrollen sind auch auf dem Feld angebracht, z.B. ob der Saatgutverbrauch der einzelnen Aggregate gleichmäßig ist, Ablagetiefe und -abstand stimmen usw. Trösten Sie sich nicht mit dem Gedanken: Es wird schon stimmen!

Toleranzbereich um den Korn-sollabstand

Rüben: $a=2,5$ cm
 $b=1,5$ cm

Mais: $a=3,5$ cm
 $b=2$ cm

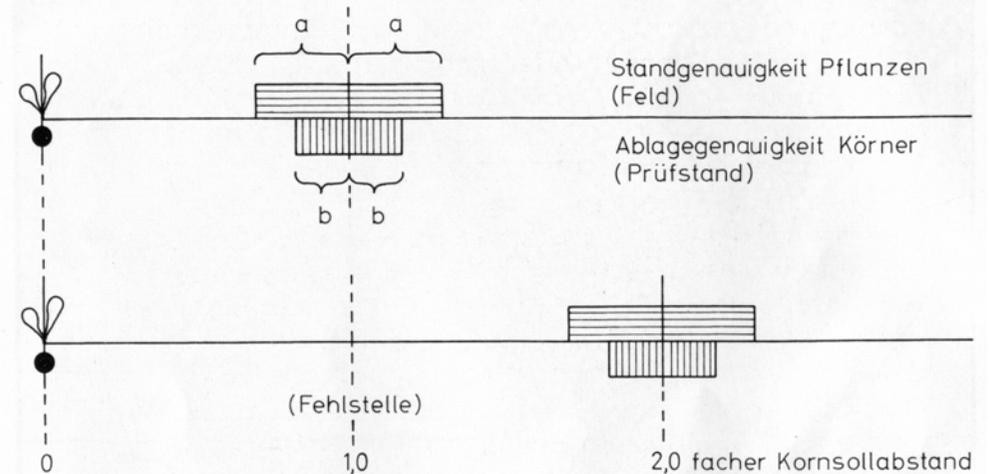


Abb. 2: Ablagegenauigkeit der Körner bzw. Standgenauigkeit der Pflanzen

IV. Welche Ergebnisse und Leistungen sind heute möglich?

Aufgrund der Ergebnisse und Erfahrungen von über 25 DLG-Gebrauchswertprüfungen von verschiedenen Systemen von Mais-Einzelkornsämaschinen läßt sich zusammengefaßt folgendes sagen:

1. Zunächst Ergebnisse und Erfahrungen von Prüfstandsversuchen zu den Stichwörtern

Zellenbelegung (auch Korneinzelung genannt) und Ablagegenauigkeit der Körner.

Mit pneumatisch arbeitenden Säsystemen sind heute um oder über 95 % einfachbelegter Zellen oder Löcher bei allen Saatgutkalibern möglich, auch wenn das Saatgut weniger gut kalibriert ist, d.h. die Anteile doppelbelegter oder nicht belegter Zellen liegen dann unter 5 %.

Mit mechanisch arbeitenden Säsystemen sind durchaus 90 bis 95 % einfachbelegter Zellen oder Löcher erzielbar, wenn die richtige Abstimmung zwischen Zellen- bzw. Lochgröße einerseits und der Korngröße andererseits getroffen und gut kalibriertes Saatgut verwendet wurde. Entsprechend höher sind die Anteile doppelt- oder nichtbelegter Zellen oder Löcher. Die besten Ergebnisse hinsichtlich der Zellenbelegung bei mechanischen Säsystemen hat das Löffelradsystem aufzuweisen, weil seine Kalibrierungsempfindlichkeit etwas geringer ist als bei dem Zellenrad oder der Lochscheibe.

Leider zeigen sich bei manchem Sägerät negative Auswirkungen auf die Zellenbelegung, wenn die Versuche mit geneigtem Gerät, entsprechend der Arbeit am Hang, durchgeführt werden; es erhöhen sich die doppelbelegten oder nicht belegten Zellen bzw. Löcher oder beides.

Die Ablagegenauigkeit der Körner mit einer zulässigen Toleranz von ± 2 cm zum Sollabstand ist ein brauchbarer Maßstab zur Beurteilung der Längsverteilung bei den Prüfstandsversuchen (s. Abb. 2). Gute Maschinen können einen Anteil von etwa 80 bis 90 % erreichen.

2. Ergebnisse und Erfahrungen von den Feldversuchen, hier zu den Stichwörtern
 Kornablage im Boden,
 Feldaufgang und
 Standgenauigkeit der Pflanzen.

Speziell für die Maisausaat bestimmte Einzelkornsämaschinen sind durch das höhere Gerätegewicht (etwa 60 bis 80 kg je Aggregat), ein entsprechend geformtes Sächar und großvolumige Druckrollen im allgemeinen in der Lage, den Saatmais in der gewünschten Tiefe und im vorbestimmten Abstand in der Reihe abzulegen und anzudrücken, richtige Saattbettvorbereitung und Fahrgeschwindigkeit vorausgesetzt.

Die ordnungsgemäße Einbettung des Saatkornes ist gleichzeitig eine wichtige Voraussetzung für einen hohen und gleichmäßigen Feldaufgang, von dem die Pflanzenzahl je Hektar ab-

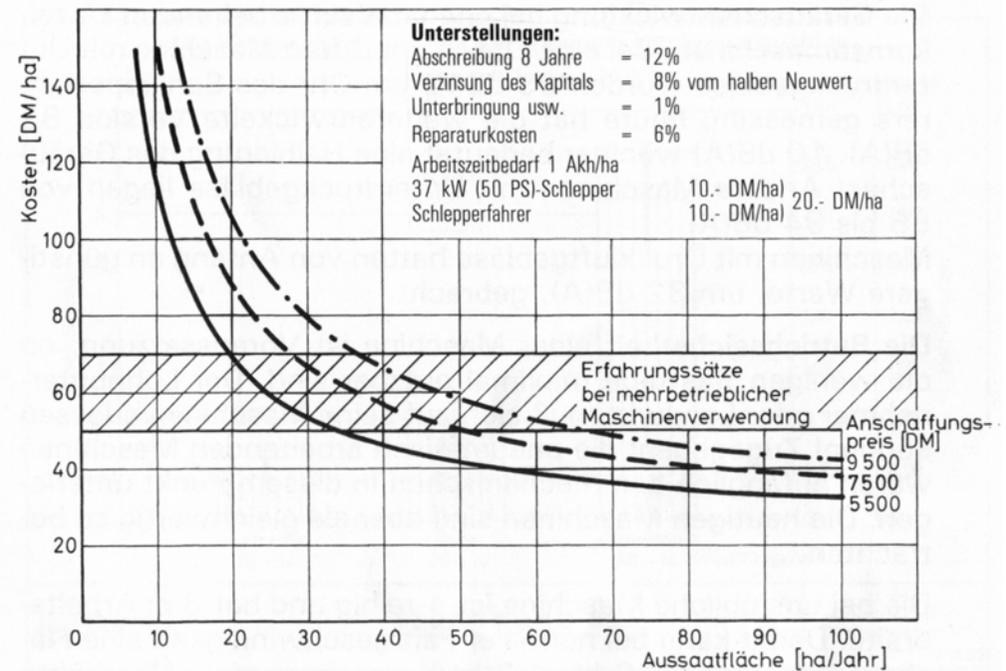


Abb. 3: Kosten der Arbeitserledigung bei der Maisausaat (vierreihige Mais-Einzelkornsämaschine)

hängt. Unter normalen Verhältnissen ist ein Feldaufgang von etwa 80 bis 90 % möglich.

Der Ablagegenauigkeit der Körner auf dem Prüfstand steht die Standgenauigkeit der Pflanzen auf dem Feld gegenüber; hier beträgt die zulässige Toleranz um den Sollabstand + 3,5 cm (s. Abb. 2). Durch diese relativ enge Toleranz zeigt sich sehr genau, wie groß die Abstandsverschiebungen in der Reihe sind. Anteile von 60 bis 80 % Pflanzen in diesem Toleranzband, also standgenaue Pflanzen, sind heute erzielbar.

Einige weitere wichtige Ergebnisse und Erfahrungen bei den DLG-Gebrauchswertprüfungen sind:

- **Die Geräusentwicklung bei pneumatisch arbeitenden Einzelkornsämaschinen.** Bei einer 1974 geprüften Maschine mit Unterdruckgebläse wurden 93 dB(A) am Ohr des Schlepperfahrers gemessen, heute hat die weiterentwickelte Version 83 dB(A). 10 dB(A) weniger bedeutet eine Halbierung des Geräusches! Andere Maschinen mit Unterdruckgebläse liegen von 85 bis 94 dB(A).
Maschinen mit Druckluftgebläse hatten von Anfang an günstigere Werte, um 82 dB(A), gebracht.
- **Die Betriebssicherheit** einer Maschine ist Voraussetzung, ob die wenigen Saattage maximal nutzbar sind. Der Lohnunternehmer oder Landwirt muß sich auf seine Maschine verlassen können! Zugegeben: die pneumatisch arbeitenden Maschinen waren anfänglich den mechanischen in diesem Punkt unterlegen. Die heutigen Maschinen sind aber als gleichwertig zu betrachten.
- Die bei uns übliche Maschine ist 4-reihig und hat 3 m Arbeitsbreite. Damit kann bei normaler Fahrgeschwindigkeit eine **Flächenleistung** von 0,9 bis 1,3 ha/h erzielt werden. Überhöhte Fahrgeschwindigkeiten sind zur Leistungssteigerung ungeeignet, weil die Arbeitsqualität erheblich nachläßt und der Zeitgewinn sehr klein ist. 6- und 8-reihige Maschinen sind nur für den Lohnunternehmer oder Großbetrieb interessant und erfordern auf öffentlichen Straßen eine Langfahreinrichtung.

V. **Wie ist der Entwicklungsstand von Einzelkornsämaschinen für die Maisaussaat?**

Aus der Prüfungserfahrung dieser Maschinengruppe muß man den einschlägigen Herstellern stetige Entwicklungsarbeit und im allgemeinen ein hohes technisches Niveau der Maschinen bescheinigen. Trotzdem blieben z. Teil einige Wünsche der Praxis offen.

Dazu einige Stichworte:

- Einfaches Ein- und Umstellen der Kornsohlabstände und der Ablagetiefe

- Dauerhaft funktionierende und gut ablesbare Manometer bei pneumatischen Maschinen
- Optisch oder akkustisch wahrnehmbare Kontrolleinrichtungen beim Versagen eines Säaggregates
- Verminderung von Verschleiß im Hinblick auf die steigende Aussaatfläche je Jahr.

VI. **Wie hoch sind der Kapitalbedarf und die Kosten?**

Vor der Anschaffung einer Einzelkornsämaschine für die Maisaussaat sollten auch der notwendige Kapitalbedarf und die Kosten für den laufenden Betrieb in die Überlegungen einbezogen werden. Als Kapital sind heute etwa 1500.- bis 2400.-DM (einschl. MWSt.) je Reihe notwendig. Erst bei über 20 ha jährlicher Aussaatfläche ist eine Eigenmaschine rentabel einzusetzen, verglichen mit üblichen Arbeitspreisen eines Lohnunternehmers oder Maschinenringes (s. Abb. 3). Bei kleinerer Fläche ist also die Vergabe der Maisaussaat billiger.

Chancen zur Energiekosteneinsparung bei der Körnertrocknung

von AOR Dr. Arno Strehler, Bayerische Landesanstalt für Landtechnik, Technische Universität München, Freising-Weihenstephan

Durch die unerfreulichen Preissteigerungen bei Energieträgern wird auch die Trocknung von Agrarprodukten belastet. Der Energiebedarf zur Körnertrocknung hängt in erster Linie vom notwendigen Wasserentzug ab, der sich aus dem Feuchtegehaltsbereich ergibt. Zur Anwärmung der Trocknungsluft wird die meiste Energie benötigt, wozu bisher Heizöl verwendet wurde. Getreide, Raps und Körnermais weisen einen sehr unterschiedlichen durchschnittlichen Heizölbedarf auf, er erstreckt sich von 1 l/dt bei Ge-

Tabelle 1:

Maßnahmen zur Energiekosteneinsparung bei der Körnertrocknung

Möglichkeit zur Einsparung	Maßnahmen
1. Senkung des Erntegutfeuchtegehaltes	Sortenwahl, Druschzeitpunkt
2. Lagerungsfeuchtegehalt 16 %, Vermeidung von Untertrocknung	belüftbare Silos, Abschaltautomat Endfeuchteregler
3. Erhöhung des Trocknerwirkungsgrades, optimale Temperatur- u. Luftmengenführung, Umluftbetrieb bei Durchlaufrocknern	richtige Auslegung u. Einstellung Luftkanäle für Rückführung trocknungsfähiger Abluft
4. Verwendung von billigen Alternativbrennstoffen wie z. B. Holz und Stroh; bei kleineren Einheiten Solarenergie	Anschluß an Heizsystem mit Billigbrennstoff; Luftkollektor mit Kiesspeicher im Rahmen der Belüftungstrocknung

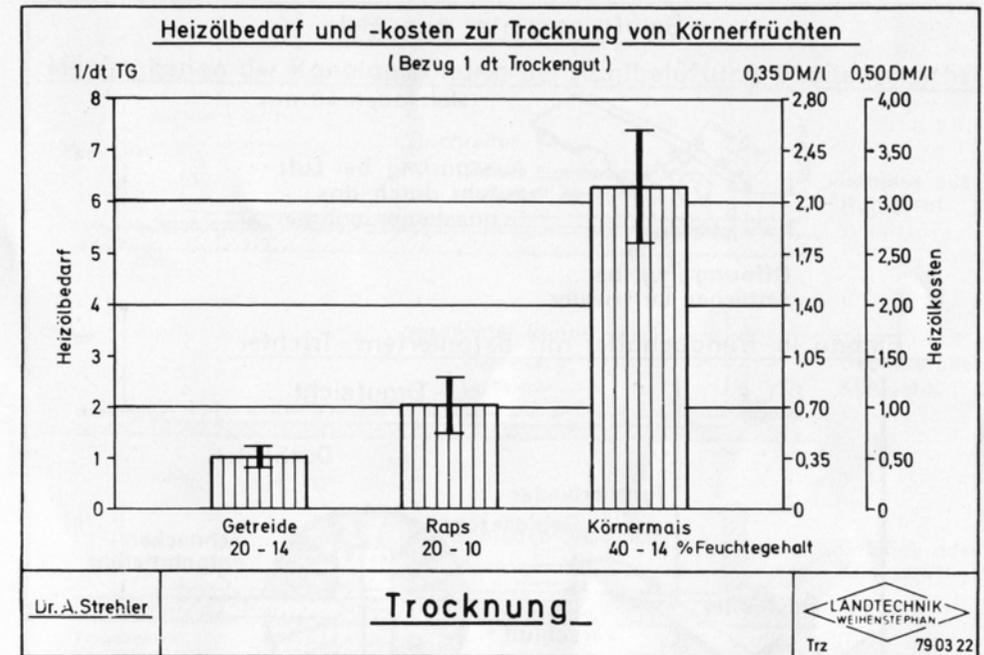


Bild 1

treide bis 6 l/dt bei Körnermais. Bild 1 zeigt den Heizölbedarf sowie die Heizölkosten bei unterschiedlichen Heizölpreisen für die drei wichtigsten Körnerfrüchte.

Der Bedarf an elektrischem Strom, der hauptsächlich zum Gebläseantrieb benötigt wird, ist gering, demzufolge sind die Kosten hierfür von untergeordneter Bedeutung. Bei Getreide wird mit max. 0,10 DM/dt gerechnet, bei Körnermais ergeben sich ca. 0,25 DM/dt an Stromkosten.

Wesentliche Einsparungsmöglichkeiten sind also nur bei der Luftanwärmung möglich, insbesondere bei dem sehr feuchten Körnermais. Die wichtigsten Einsparungsmöglichkeiten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

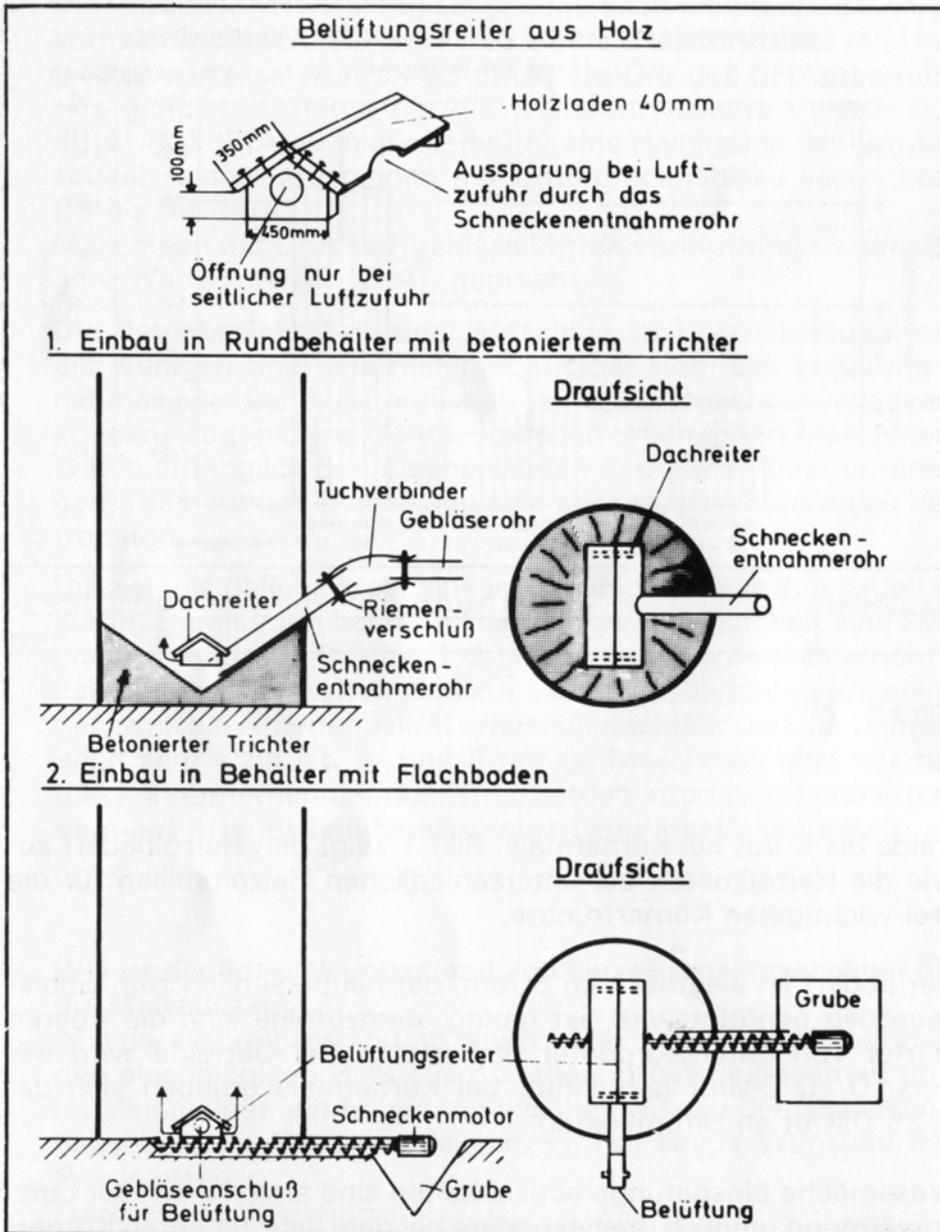


Bild 2 Bau- und Einbauanleitung, Belüftungsreiter zur Getreidekühlung (- Kaltbelüftung)

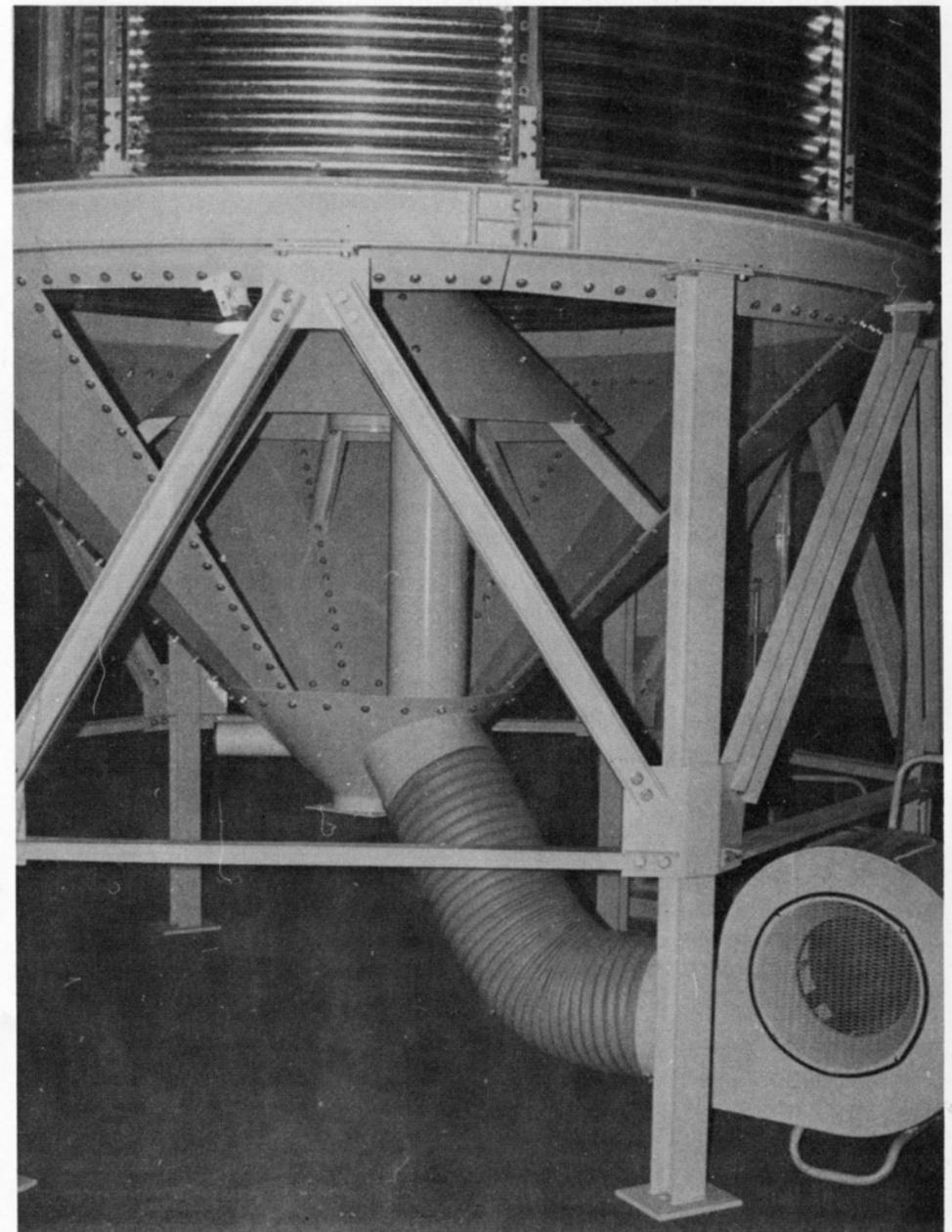


Bild 3

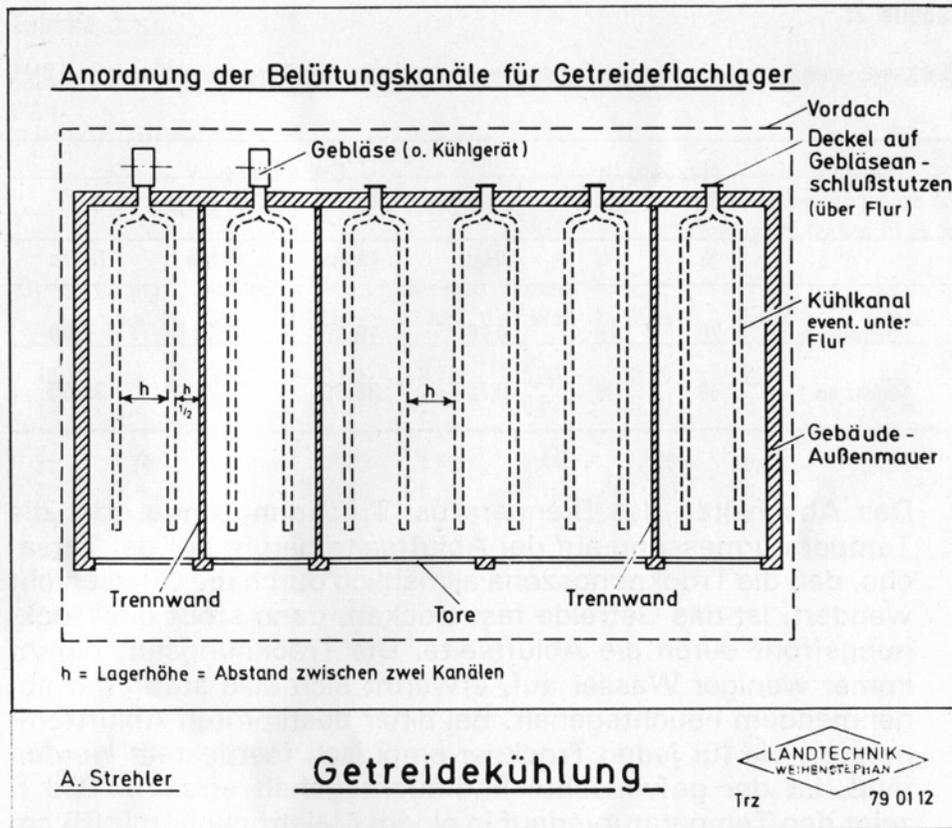


Bild 4

Zu den Einsparungsmöglichkeiten im einzelnen:

1. Senkung des Erntefeuchtegehaltes:

Bei Körnermais läßt sich durch die Wahl früher abreifender Sorten der Erntefeuchtegehalt absenken. Wird beispielsweise eine Verringerung von 40 % auf 35 % Feuchtegehalt erreicht, so lassen sich damit 1,4 l Heizöl je dt Trockengut einsparen. Diese Einsparung entspricht einer Kostensenkung von 35,- DM/ha. Frühreife Sorten sind leider durch ein geringeres Er-

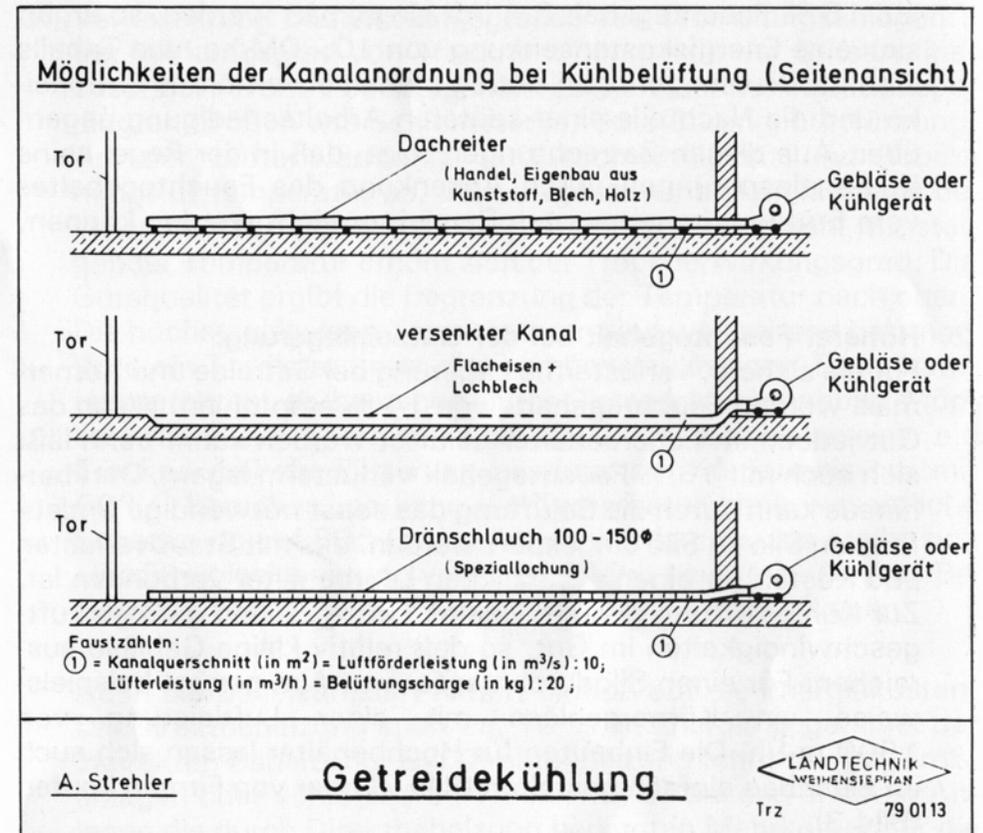


Bild 5

tragsniveau gekennzeichnet. Ein sicher zu gering angesetzter Minderertrag von 1 dt/ha macht bereits die oben genannte Einsparung an Energiekosten zunichte.

Bei Getreide besteht zur Feuchtegehaltssenkung des Gutes bei der Ernte die Möglichkeit, den Mähdrusch soweit hinauszuzögern, bis Feuchtegehalte erreicht sind, die nur noch eine geringfügige oder keine Trocknung mehr erfordern. Wenn durch eine durchschnittliche Absenkung von 20 % Feuchtegehalt

auf 18 % Feuchtegehalt 0,4 l/dt eingespart werden, so ergibt sich eine Energiekostensenkung von 10,- DM/ha, wie Tabelle 2 zeigt. Diesem geringen Betrag stehen ein erhöhtes Ernterisiko und die Nachteile einer späteren Arbeitserledigung gegenüber. Aus diesen Betrachtungen folgt, daß in der Regel keine Kosteneinsparungen durch Absenkung des Feuchtegehaltes vom Erntegut im genannten Bereich erreicht werden können.

2. Höherer Feuchtegehalt bei der Gutseinlagerung:

Für die sichere, verlustarme Lagerung bei Getreide und Körnermais werden Feuchtegehalte von 14 % empfohlen. Wenn das Gut jedoch im Lagerbehälter belüftet werden kann, dann läßt sich auch mit 16 % Feuchtegehalt verlustarm lagern. Darüberhinaus kann durch die Belüftung das sonst notwendige Umlaufen von Silo zu Silo eingespart werden, das mit Staubverlusten und Kosten für einen zusätzlichen Leerbehälter verbunden ist. Zur Kühlbelüftung genügen kleine Luftraten und geringe Luftgeschwindigkeiten im Gut, so daß relativ kleine Gebläse ausreichen. Für einen Silodurchmesser von 4 m genügt beispielsweise ein Körnergebläse mit einer Luftleistung von 1500 m³/h. Die Einbauten für Hochbehälter lassen sich auch im Eigenbau einfach gestalten (Bild 2) oder von Firmen kaufen (Bild 3).

Zur Flachlagerung ist die Kühlbelüftung auch deshalb nötig, weil das Umlagern sehr arbeitsaufwendig und damit teuer wäre. Die Anordnung der Luftkanäle zeigt Bild 4, einige Bauarten einschließlich Anordnung werden in Bild 5 gezeigt.

Um eine Untertrocknung unter 16 % Feuchtegehalt zu vermeiden, empfehlen sich Abschaltautomaten für Satzrockner und Endfeuchteregler für gut ausgelastete Durchlaufrockner. Während die Abschaltautomaten in Form von Temperaturbegrenzern, die hinter den Sicherheitsthermostaten des Warmluftzeugers geschaltet werden, sehr billig sind, müssen für Endfeuchteregler an Durchlaufrocknern 2.000,- bis 6.000,- DM ausgegeben werden.

Tabelle 2:

Ölkosteneinsparung durch Verringerung des Erntefeuchtegehaltes (Sortenwahl, Druschtermin) (Ölpreis 0,50 DM/l)

Gutsart	Absenkung U ₁ bis U ₂		Einsparung bei			
	von	U ₁ bis U ₂	U ₂ = 16 %	DM/ha	U ₂ = 14 %	DM/ha
	%	%	DM/dt	DM/ha	DM/dt	DM/ha
Getreide	20	18	0,20	10,00	0,18	9,00
Körnermais	40	35	0,70	35,00	0,71	35,50

Das Abschalten des Brenners bei Trocknungsende über die Temperaturmessung auf der Abluftseite beruht auf der Tatsache, daß die Trocknungszone allmählich durch die Gutsschicht wandert. Ist das Getreide fast trocken, dann stößt die Trocknungsfront durch die Abluftseite. Die Trocknungsluft nimmt immer weniger Wasser auf, erwärmt sich also stetig mit abnehmendem Feuchtegehalt. Bei einer bestimmten Ablufttemperatur, die für jeden Trockner empirisch festgestellt werden muß, ist der gewünschte Endfeuchtegehalt erreicht. Bild 6 zeigt den Temperaturverlauf in einem Maistrockner mit 35 cm Schichtstärke. Für dieses Beispiel wäre das Trocknungsende bei einer Ablufttemperatur von 58 °C erreicht. Auf diesem Wert wäre der an der Abluftseite angebrachte Abschalttemperaturbegrenzer einzustellen.

Zum wirtschaftlichen Aspekt der Einsparungsmöglichkeiten durch Einhaltung des Einlagerungsfeuchtegehaltes von 16 % gegenüber 14 %:

Wie Tabelle 3 zeigt, werden bei Getreide ca. 9,- DM/ha, bei Körnermais 17,50 DM/ha für die Heizenergie an Einsparung erzielt. Dazu kommt noch der Effekt, daß bei 14 % Feuchtegehalt auftretende Gewichtsverluste (der Verkauf läuft üblicherweise auf der Basis 16%) zu Lasten des Verkäufers gehen. Bei

Tabelle 3:

Ölkosten bei der Körner Trocknung bei verschiedenen Anfangs- (U_1) und Entfeuchtegehalten (U_2) (Ölpreis 0,50 DM/l)

U_1 %	für $U_2 = 16$ %			für $U_2 = 14$ %			Ölkosteneinsparung durch Anhebung von U_2 von 14 % auf 16 %	
	Ölmenge l/dt	Ölkosten DM/dt	DM/ha	Ölmenge l/dt	Ölkosten DM/dt	DM/ha	DM/dt	DM/ha
18	0,4	0,20	10,00	0,78	0,39	19,50	0,19	9,50
20	0,8	0,40	20,00	1,14	0,57	28,50	0,17	8,50
35	4,24	2,12	106,00	4,88	2,44	122,00	0,32	16,00
40	5,6	2,80	140,00	6,30	3,15	157,50	0,35	17,50
45	7,04	3,52	176,00	7,90	3,95	197,50	0,43	21,50

einem Getreideertrag von 50 dt/ha und einem Verkaufswert des Getreides von 50,- DM/dt würden durch Abtrocknen auf 14 % zusätzlich 58,- DM/ha zu Verlust gehen, was durch eine Belüftungseinrichtung vermieden werden könnte. Ferner sinkt das Lagerungsrisiko, wenn ein Behälter mit Belüftungseinrichtungen ausgestattet ist. Die Kosten für eine Belüftungseinrichtung sind gering, sie belasten 1 dt Trockengut mit max. 0,05 DM.

Die Maßnahmen zur Vermeidung der Untertrocknung bzw. zur Lagerung mit 16 % Feuchtegehalt sind im allgemeinen wirtschaftlich und daher empfehlenswert, insbesondere bei Verkaufsgetreide.

3. Verbesserung des Wirkungsgrades von Trocknungsanlagen:

Der Wirkungsgrad von Trocknern hängt von der Gutsart, insbesondere vom Feuchtegehalt sowie von konstruktionsbedingten Größen wie Schichtstärke, Gutsführung, Luftführung, Art der Luftanwärmung, Luftgeschwindigkeit und Trocknungslufttemperatur ab. Die Luftgeschwindigkeit läßt sich bei vielen, die Temperatur bei allen Trocknern verstellen. Mit steigender Temperatur erhöht sich der Trocknerwirkungsgrad. Die Gutsqualität ergibt die Begrenzung der Temperatur nach oben. Die höchstzulässigen Temperaturen sind weitgehend bekannt. Wird ein Trockner unter diesen höchstzulässigen Temperaturen gefahren, so bestehen durch Temperaturanhebung Möglichkeiten zur Energieeinsparung. Wird beispielsweise ein Trockner bei zur Fütterung bestimmtem Körnermais nur mit 60° C betrieben, so kann die Temperatur ohne wesentliche Schädigung auf 80° C angehoben werden; daraus ergibt sich eine Energieeinsparung von 0,20 DM/dt bzw. 10,- DM/ha. Bei Getreide würde die Einsparung nur bei 2,- DM/ha liegen.

Auch die Beheizungsart nimmt Einfluß auf die Energiekosten. Die Direktbeheizung spart ca. 10 % an Energie gegenüber der indirekten Beheizung. Die Direktbeheizung lohnt nur bei Großanlagen oder versetzbaren Trocknern, da bei den anderen Anlagen die durch Direktbeheizung bedingten Mehrkosten für die feuersichere Ausführung des Trocknerraumes zu sehr zu Buche schlagen.

Die Anpassung der Luftmengen an die Feuchtegehalte des Gutes bringt ebenfalls die Möglichkeit einer gewissen Energieeinsparung, da damit durchschnittlich eine höhere Abluftsättigung erreicht wird. Im Bereich des sehr feuchten Gutes werden höhere Luftmengen durchgesetzt als im Bereich des Trockengutes. Gerade bei Körnermais können Einsparungen bis zu 10 % erzielt werden.

Beim Schubwendetrockner werden durch Klappenverstellung verschiedene Luftmengen in einzelne Sektoren der Warmluftzuführung ermöglicht, wie Bild 7 zeigt.

Temperaturverlauf der Trocknungsluft in verschiedenen Maisschichthöhen über der Trocknungszeit

Parameter: Anfangsschichthöhen h ; Konstante: $\omega = 0,64 \text{ m/s}$; $\vartheta_K = 10^\circ\text{C}$; $\varphi_K = 80\%$; $\vartheta_W = 82,5^\circ\text{C}$; $\varphi_W = 1,7\%$; $P_K = 730 \text{ mm Hg}$
 Gesamtanfangsschichthöhe: $h_1 = 35 \text{ cm}$; Feuchtegehalte: $U_1 = 47\%$; $U_2 = 17,1\%$
 Endschichthöhe: $h_2 = 26 \text{ cm}$

Versuchstrockner
 23.11.68 1343h - 1757h
 Kühlen

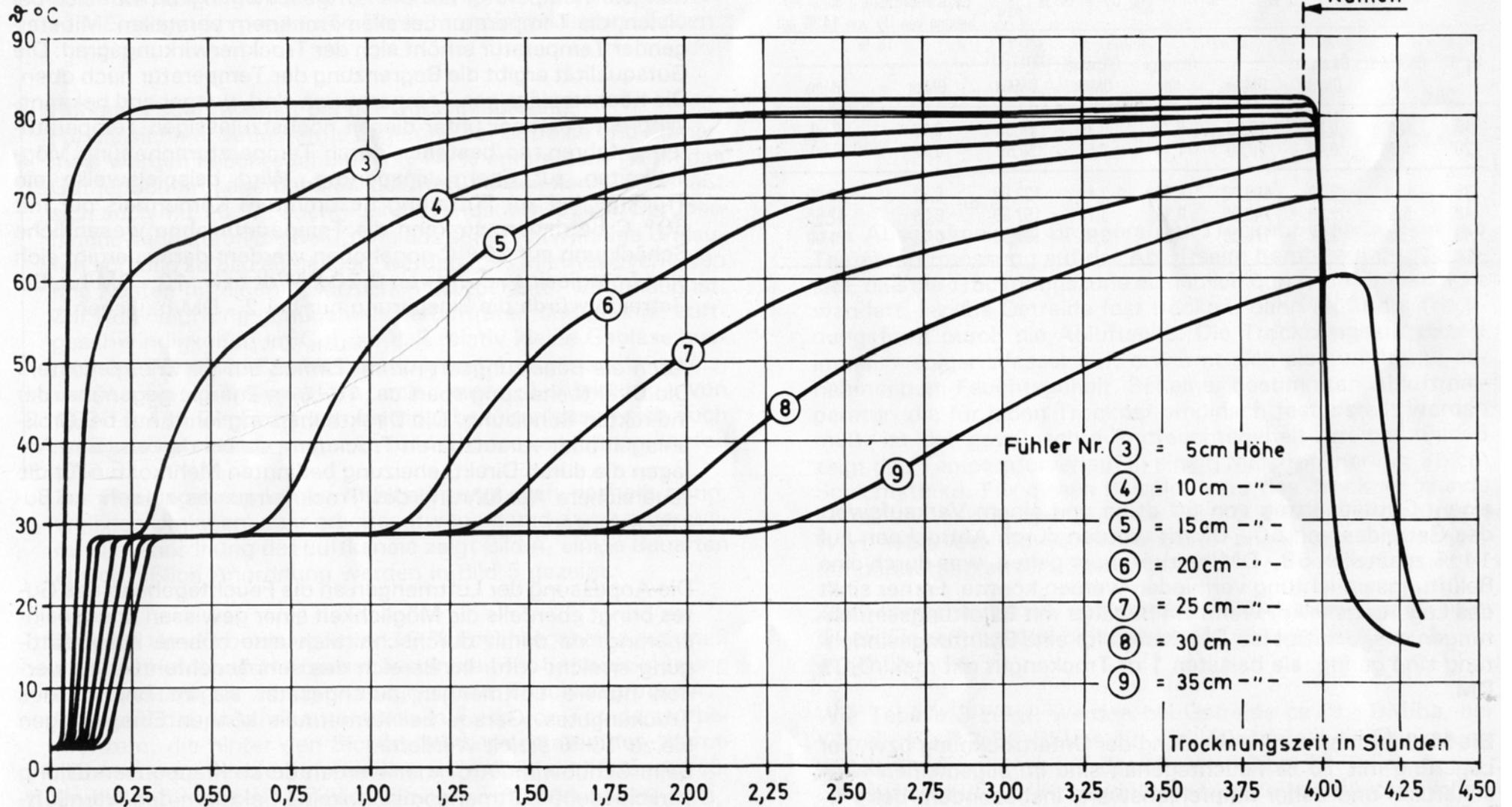


Bild 6

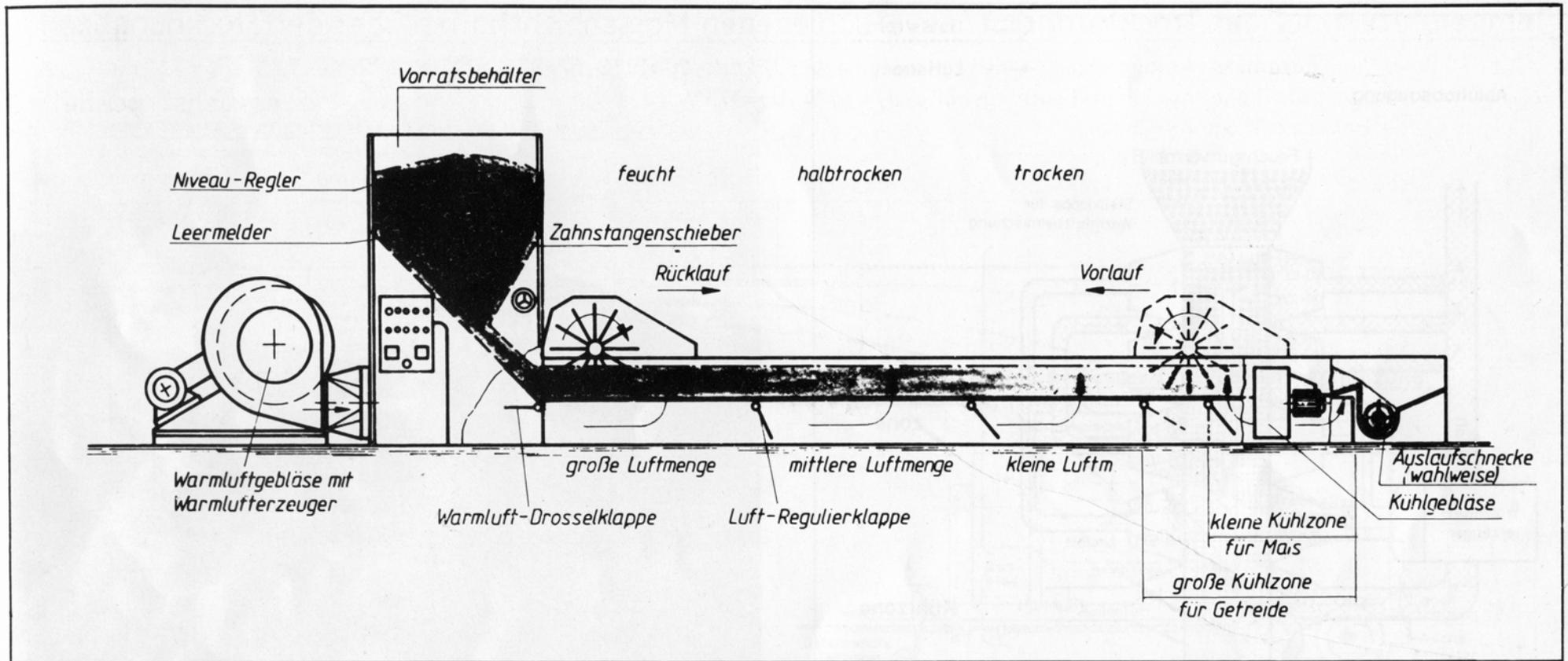


Bild 7

Eine weitere Möglichkeit zur Energiekostensenkung besteht darin, die schlecht gesättigte Abluft sowie die Kühlluft nochmals dem Trockner zuzuleiten (Umluftbetrieb). Hiermit sind Energieeinsparungen bis zu 15 % möglich, nur bei Anlagen mit schlechter Abluftsättigung (kleine Schichtstärken, hohe Luftgeschwindigkeiten) ergeben sich noch höhere Einsparungsmöglichkeiten. Der Umluftbetrieb ist nur bei Durchlauftrocknern möglich. Bei Körnermais ergeben sich Energieeinsparungen mit ca. 15 %. Zieht man den technischen Aufwand für den

Umluftbetrieb von der Energieeinsparung ab, dann ergeben sich 0,25 DM/dt bzw. 12,50 DM/ha bei Körnermais und lediglich 2,00 DM/ha bei Getreide. Bild 8 veranschaulicht die Art der Luftführung bei einem Schachttrockner mit Umlufteinrichtung.

4. Verwendung billiger Alternativenergiequellen:

Die Landwirtschaft ist in der Lage, große Teile der von ihr benötigten Energie durch Eigenerzeugung zu decken. Allein 25% der bundesdeutschen Stroherzeugung weisen das gleiche

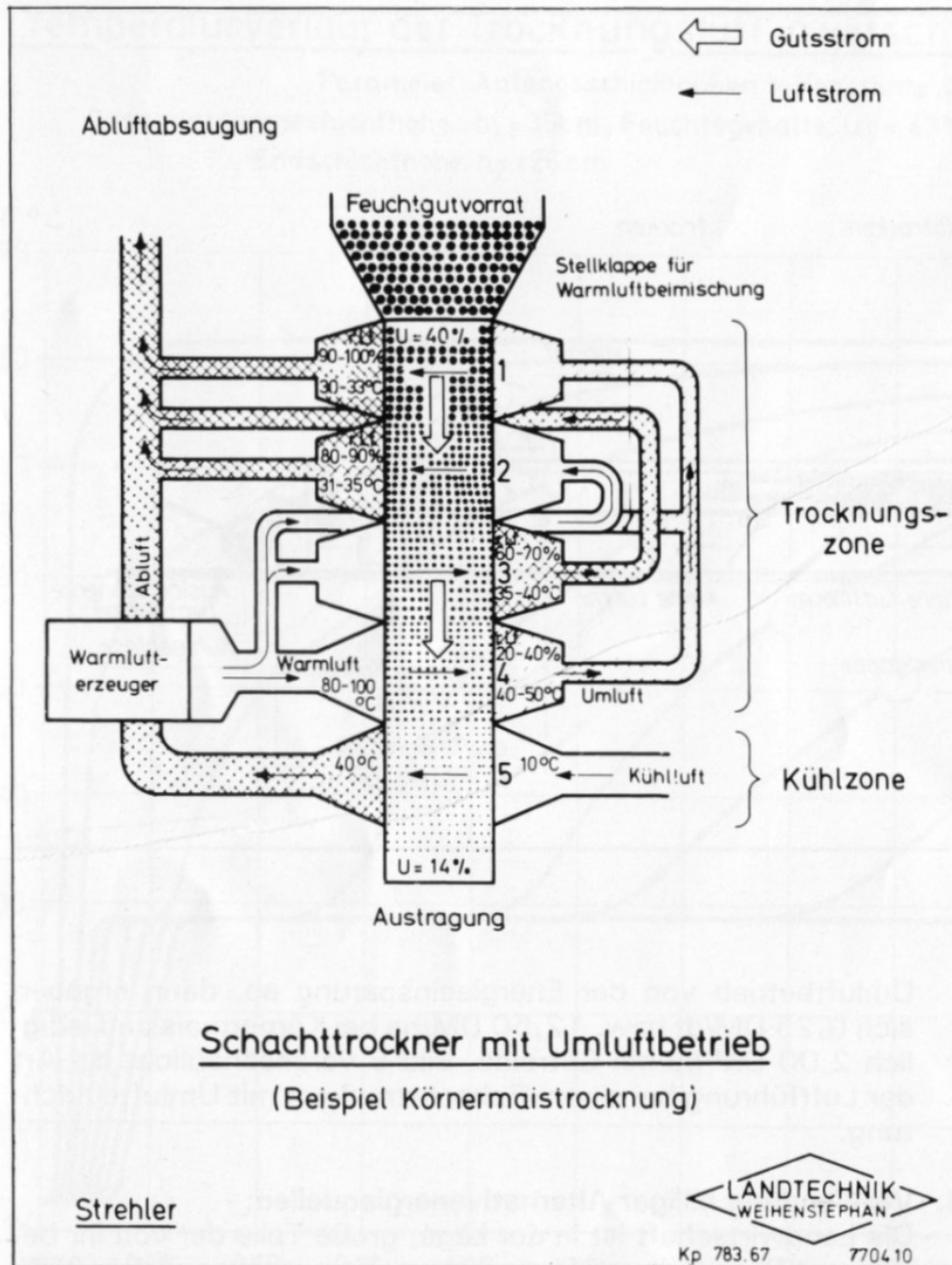


Bild 8

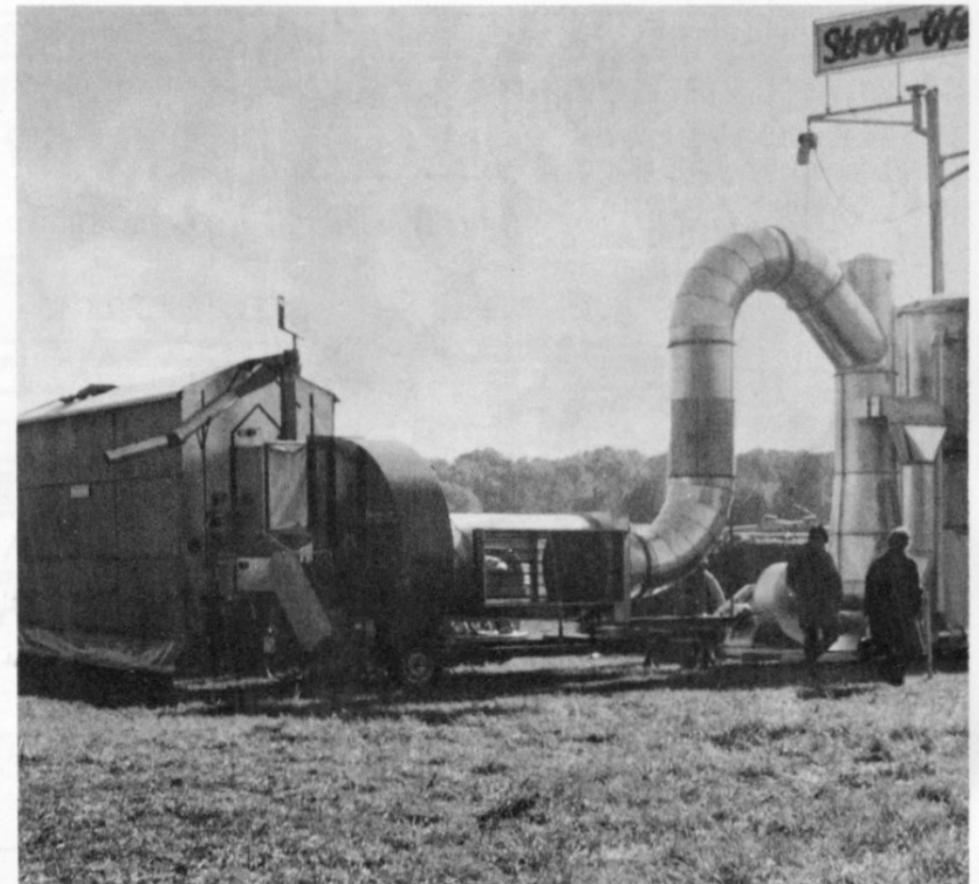
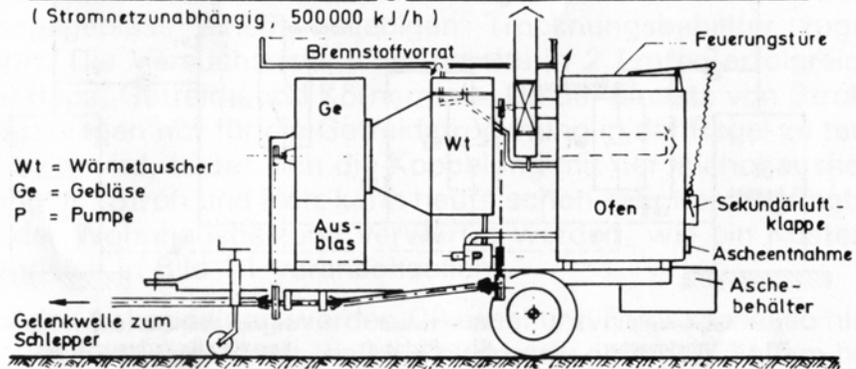


Bild 9

Versetzbarer Warmluftfeger mit Wasserwärmetauscher

(Stromnetzunabhängig, 500 000 kJ/h)

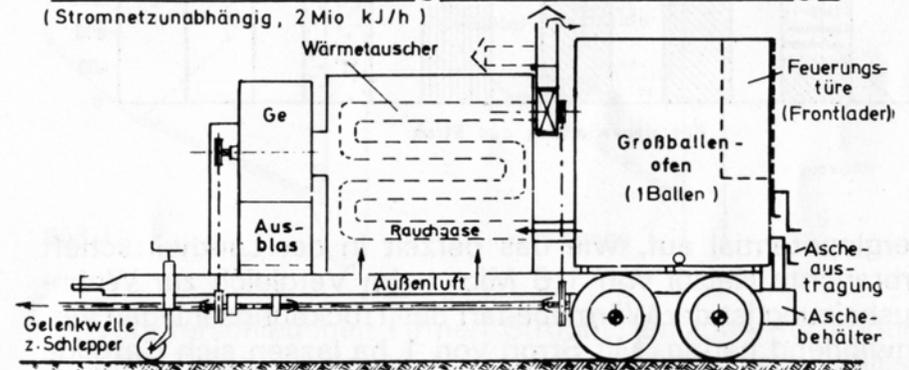


Wt = Wärmetauscher
Ge = Gebläse
P = Pumpe

Bild 10

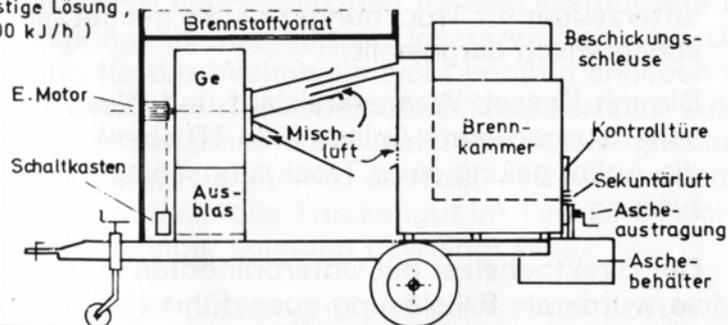
Versetzbarer Warmluftfeger für Großballenverheizung

(Stromnetzunabhängig, 2 Mio kJ/h)



Versetzbarer Warmluftfeger mit Direktbeheizung

(Kostengünstige Lösung, 800 000 kJ/h)



Strehler

Versetzbare Warmluftfeger
(Stroh u. Brennholz)
(Prototypen d. LT Weihenstephan)

LANDTECHNIK
WEIHENSTEPHAN

PI 77 10 29

Vergleich verschiedener Brennstoffe

Jahreskosten für Wohnhausheizung (Brennstoff+Kapitalkosten für Anlage mit Lagerraum+Arbeit)
(50 Mio kcal/Jahr netto (200 Mio kJ) ≈ 7260l Heizöl brutto)

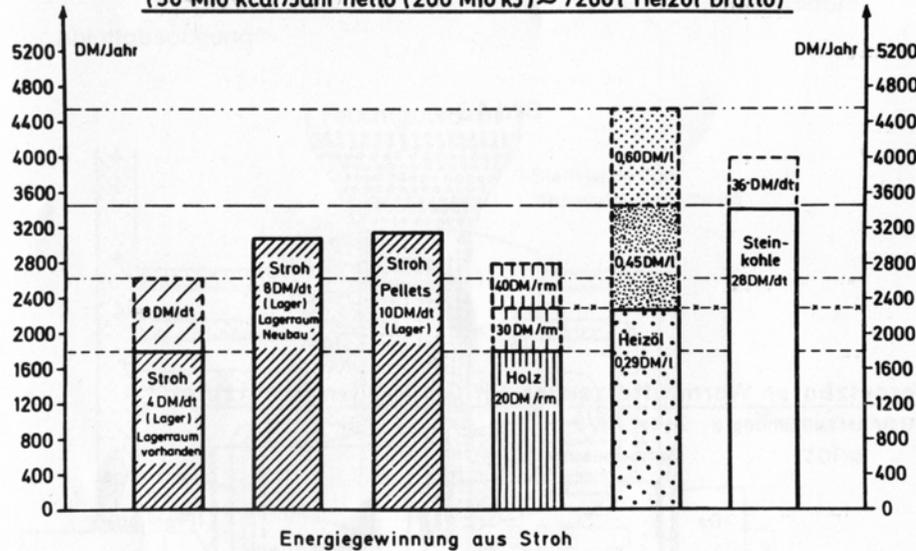


Bild 11

Energiepotential auf, wie das derzeit in der Landwirtschaft verbrauchte Heizöl von 1,8 Mio. t. Im Vergleich zur Wohnhausheizung ist der Wärmebedarf der Trocknungsanlagen verschwindend gering. Mit Stroh von 1 ha lassen sich Getreide von 17 ha, Raps von 13 ha oder Körnermais von 4 ha trocknen. Für die Heizung eines Wohnhauses werden je nach Größe 5 bis 10 ha Stroh verbraucht. Das Stroh von 1 ha hat das Energiepotential von ca. 1.500 l Heizöl.

Ein Vergleich der spezifischen Brennstoffpreise zeigt, daß die Energie aus Holz und Stroh je nach örtlicher Gegebenheit nur 20 bis 50 % der in Heizöl steckenden Energie kostet. Anlagen zur Wärmeerzeugung aus Stroh werden in Leistungsklassen von 20 - 2000 kW gebaut, allerdings zu einem um 50 - 100 % höheren Preis gegenüber vergleichbaren Ölheizanlagen. Bei ausschließlich zur Trocknung verwendeten Anlagen gibt es durch die geringen Auslastungsmöglichkeiten wirtschaftliche Probleme. Bild 9 zeigt einen für die Trocknung von Mais be-

Beispiel für Zuordnung eines Strohkessels an eine Ölzentralheizung bei großem Abstand zwischen Ölkessel u. Strohkessel (Serienschaltung)

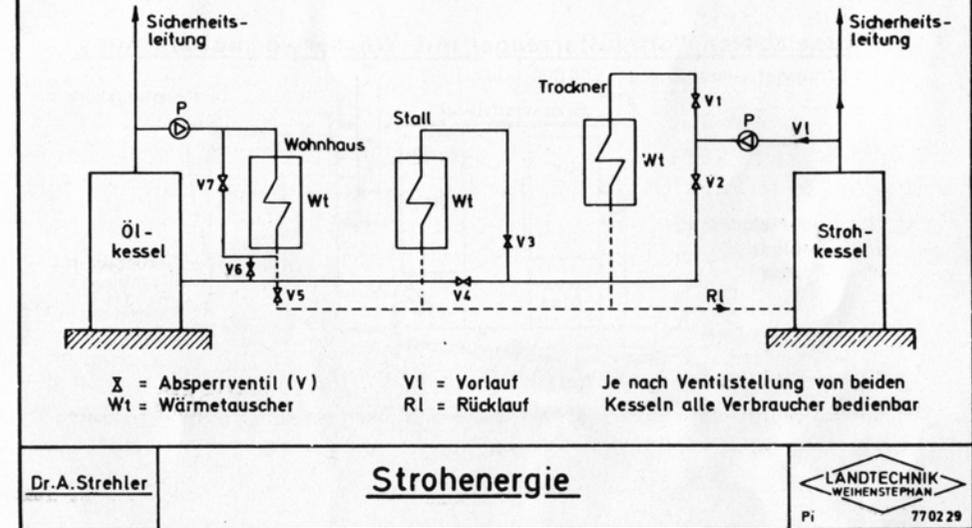


Bild 12

reits auf der vorletzten Schlüter-Tagung gezeigten Ofen der Firma PSW mit Umlufttrockner.

An der Landtechnik Weihenstephan wurden mehrere Wärmeluftherzeuger für Trocknungszwecke gebaut, sie sind in Bild 10 schematisch dargestellt.

Die mit Kessel, Wasserkreislauf und Wasser-Luft-Wärmetauscher ausgerüstete Anlage (Bild 10 oben) dient als Beispiel für die Ankoppelung einer Trocknungsanlage an eine Wohnhausheizung.

Der Direktbeheizter mit Unterbrandofen und Trocknungsgebläse wurde als Billiglösung ausgeführt (Bild 10 unten). Für die Trocknung von Verkaufsgetreide kommt diese Art nicht infrage, da die Gefahr der Gutsverrußung bei unsachgemäßer Anlagenbedienung besteht. Für eine Heizleistung von 500.000 kcal/h (ca. 580 kW), die bei Getreide eine Durchsatzleistung von 5 t/h, bei Mais von 1 t/h ergibt, wurde der in Bild 10 rechts

dargestellte Großballenofen gebaut. Durch die Frontladerbeschickung ist die Anlage relativ billig herzustellen, der Arbeitsaufwand zum Nachheizen ist gering, da mit jedem Ballen ein Energiepotential von 1 Mio kcal nachgelegt wird. Über einen Wärmetauscher wird Außenluft angewärmt und vom Trocknungsgebläse einem beliebigen Trocknungsbehälter zugeführt. Die Versuchsanlage lief bereits in 2 Ernten erfolgreich bei Raps, Getreide und Körnermais. Da der Einsatz von Strohheizanlagen nur für die Getreidetrocknung in der Regel zu teuer sein wird, bietet sich die Koppelung mit der Wohnhausheizung an. Stroh und Holz kann heute schon sehr kostengünstig in der Wohnhausheizung verwertet werden, wie ein Kostenvergleich in Bild 11 veranschaulicht.

Bei der Ankoppelung werden Ölkessel und Strohkessel so hintereinander geschaltet, daß sie alternativ oder gemeinsam betrieben werden können. Verschiedene Verbraucher werden in den Heizungskreislauf einbezogen, wie Wohnhaus, Aufzuchtstall und Trocknung.

Bild 12 zeigt eine stark vereinfachte schematische Darstellung für die Anordnung der Kessel und Verbraucher.

Da für die Wohnhausheizung nur 30 - 50 kW Heizleistung benötigt werden, reicht die Heizleistung für eine leistungsstarke Warmlufttrocknung mit einer kurzen Einsatzzeit nicht aus. Um die Heizleistung für das Wohnhaus nicht unnötig anheben zu müssen, wird entweder der vorhandene Trockner zum automatischen Betrieb zwischen Naß- und Trockenzelle geschaltet, wie Bild 13 zeigt. Damit wird erreicht, daß ohne arbeitswirtschaftliche Nachteile das Trockengut im Tag- und Nachtbetrieb auch bei geringer Leistung bewältigt wird.

Auch die Belüftungstrocknung mit vorgewärmter Luft wäre ein Ausweg, um mit einer geringen Heizleistung auszukommen.

In der landwirtschaftlichen Praxis laufen bereits mehrere Pilotanlagen mit der Koppelung von Wohnhausheizung und Trocknung. Um den Bedienungsaufwand zu senken, werden bereits

Flußdiagramm und Regelsystem für Getreidedurchlauftrockner

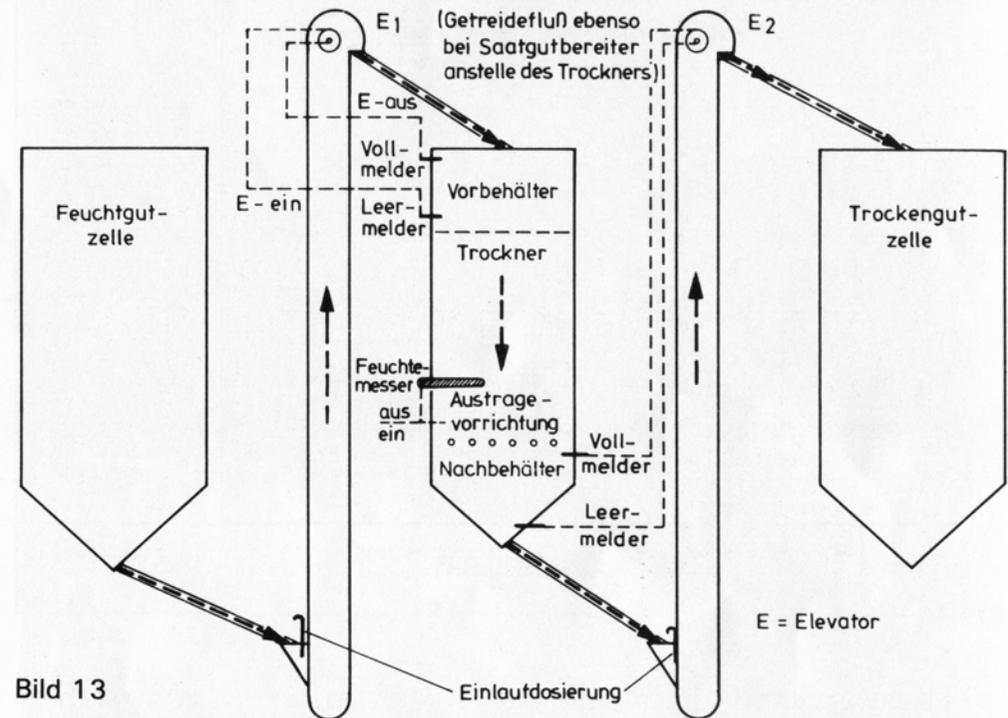


Bild 13

von verschiedenen Firmen Strohheizanlagen mit kontinuierlicher Brennstoffnachführung gebaut. Neben der Eilblasefeuerung (Bild 14) gibt es die Unterschubfeuerung (Bild 15). Die mögliche Energiekosteneinsparung liegt bei 0,60 bis 1,50 DM/dt bzw. 30,- bis 75,- DM/ha im Fall der Körnermaistrocknung und bei 0,10 bis 0,25 DM/dt bzw. 5,00 - 12,50 DM/ha bei der Getreidetrocknung. Für den höheren Wert der Einsparungen sind geringe Strohpreise und eine hohe Anlagenauslastung unterstellt.

Eine weitere Energieeinsparungsmöglichkeit liegt in der Verwertung von Luftsolarkollektoren in Kombination mit der Belüftungstrocknung. Unter Dr. Schulz wurden an der Landtechnik Weihenstephan und auf Praxisbetrieben verschiedene Kollektorbauarten entwickelt und eingebaut. Bild 16 zeigt verschiedene Bauformen.

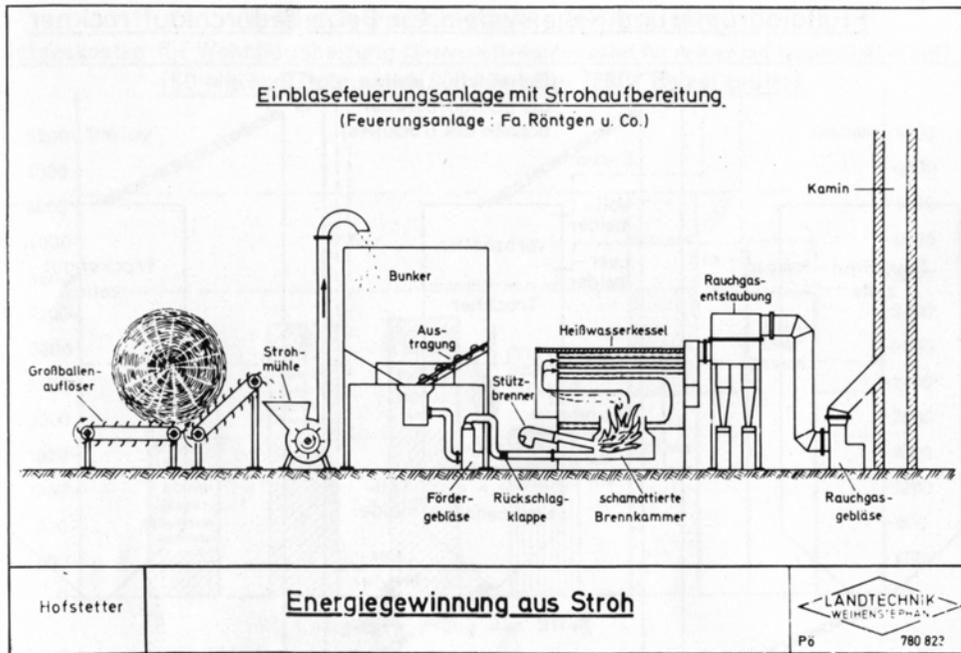


Bild 14

Die Wirtschaftlichkeit von Luftsolkollektoren hängt sehr wesentlich vom Kollektorpreis, Wirkungsgrad (im Niedertemperaturbereich, also bei der Belüftungstrocknung) und von der Auslastung ab. Für verschiedene Heizölpreise werden in Bild 17 die Kosten und der Wert der Nutzenergie von Kollektoren in Abhängigkeit ihrer Auslastung gezeigt.

Ein Luftkollektor mit einem Anschaffungspreis von 30,- DM/m² muß bei einem Heizölpreis von 0,50 DM/l beispielsweise 250 Sonnenstunden in Betrieb sein, um kostengleich mit einer vorhandenen Ölheizanlage arbeiten zu können.

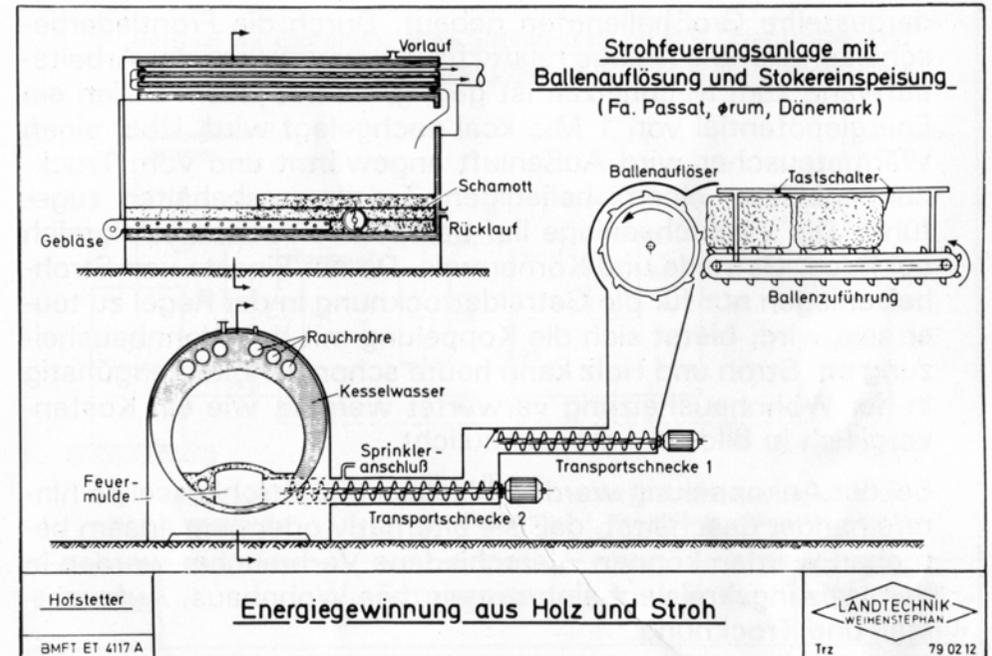


Bild 15

5. Vergleich der Möglichkeiten zur Energiekosteneinsparung

Wenn auch beim derzeitigen Stand der Technik und beim heutigen Energiepreinsniveau für die Masse der Anwendungsfälle durch die Einzelmaßnahmen nur geringe Einsparungsmöglichkeiten bestehen, so ergibt doch die Summe der Maßnahmen heute und erst recht in Zukunft eine große Chance zur bedeutenden Energiekosteneinsparung. Wie Tabelle 4 zeigt, sind bei Mais über 1,00 DM/dt, bei Getreide ca. 0,30 DM/dt einzusparen. Nur bei besonderen Situationen sind noch höhere Einsparungsmöglichkeiten gegeben.

Tabelle 4

Möglichkeiten zur Energiekosteneinsparung bei der Körnertrocknung (Beispiel Mais und Getreide)

Maßnahme	Einsparung bei Körnermais		Einsparung bei Getreide		Nebenwirkung
	DM/dt	DM/ha	DM/dt	DM/ha	
1. Senkung der Erntegutsfeuchte (KM 40 auf 35 %; Getr. 20 auf 18 %)	(0,70)	(35,00)	(0,25)	(12,50)	Ernterisiko, Minderertrag bei Körnermais übersteigen Einsparung
2. Anhebung des Endfeuchtegehaltes von 14 auf 16 %; abzüglich Aufwand für Belüftung	(0,35)	(17,50)	(0,18)	(9,00)	Zusätzlich höherer Verkaufserlös mit ca. 58,50 DM/ha
	0,30	15,00	0,13	6,50	
3. Verbesserung des Wirkungsgrades 3.1 durch opt. Temp. (Beisp. Anhebung um 20°C) 3.2 Umluftbetrieb 15 % Einsparung abzügl. Aufwand	0,20	10,00	0,05	2,50	ohne Zusatzaufwand
	0,25	12,50	0,04	2,00	Mehrpreis für Trockner
4. Verwendung eines billigeren Brennstoffes vergleichbare Preissenkung von Heizöl					erzielbar nur unter günstigen Voraussetzungen
	um 0,25 DM/l	(1,50)	(75,00)	(0,25)	
um 0,10 DM/l	0,60	30,00	0,10	5,00	häufig
5. Addition der Einzelmaßnahmen nutzbare Summe der Einzelmaßnahmen	1,35	67,50	0,32	16,00	
	1,04	52,00	0,29	14,50	
6. Bisher übliche Kosten für Luftanwärmung	3,00	150,00	0,50	25,00	



Bild 16

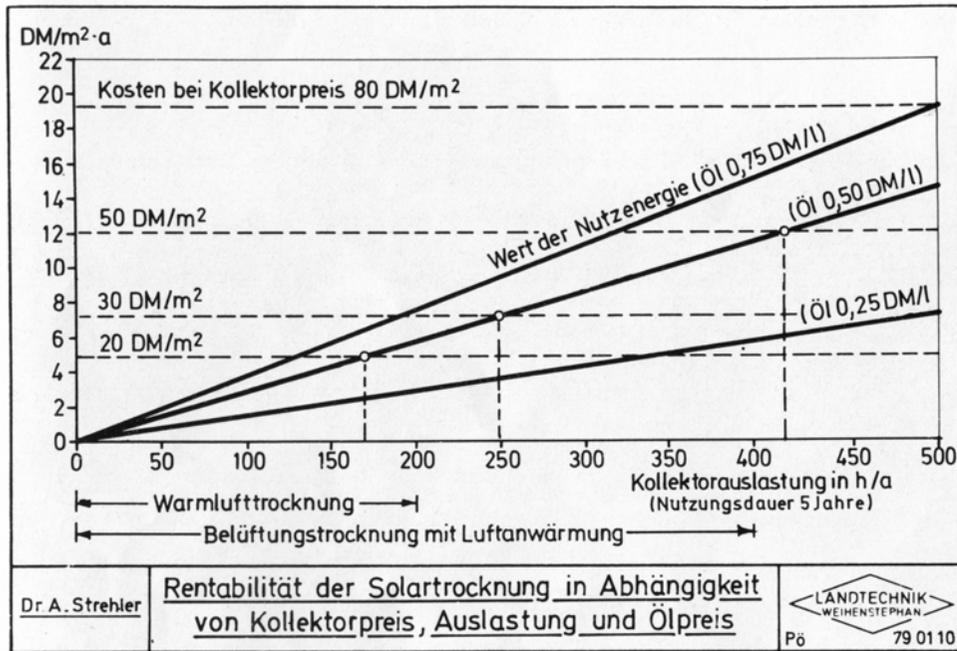


Bild 17

Im Rahmen der Einzelmaßnahmen kommt eine besondere Beachtung der Belüftung von Lagersilos zu, um mit einem Endfeuchtegehalt von 16 % lagern zu können. Für viele Betriebe ergibt die Kombination der Trocknungsanlage mit der Wohnhausheizung die Möglichkeit, billig mit Holz und Stroh zu trocknen und damit erheblich Energiekosten einzusparen. Bei gut ausgelasteten Anlagen sollte man versuchen, durch Kombination aller genannten Einsparungsmaßnahmen einen höchstmöglichen Effekt zu erzielen.

Literatur

- Bernacki, H.: Vergleich des Energieaufwandes für die Bodenbearbeitung mit verschiedenen Werkzeugen. Agrartechnik 23 (1973) H. 1, S. 5-8
- Estler, M., und Zeltner, E.: Leistungsbedarf von Maschinen für die Minimal-Bestelltechnik. Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1973, S. 90-99
- Feuerlein, W.: Meßmethoden und Kenngrößen zur Ermittlung des Arbeitserfolges beim Pflügen. Grundlagen d. Landtechnik 18 (1968) Nr. 2, S. 65-77
- Feuerlein, W.: Geräte zur Bodenbearbeitung. Angewandte Landtechnik, Stuttgart: Verlag Ulmer 1971, H. 2
- Gorjatschkin in Krutikow u.a.: Theorie, Berechnung und Konstruktion der Landmaschinen. VEB-Verlag Technik 1955, S. 290
- Heege, H.J.: Gerätekombination für die Getreidebestellung. Landtechnik 28 (1973), H. 3, S. 65-72
- Klügel, H.: Saatbettbearbeitung und Bestelltechnik. Landtechnik 31 (1976), H. 3, S. 94-96
- Knittel, H.: Wirkung moderner Bodenbearbeitungsgeräte auf das Bodengefüge. Diss. Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1974
- Rosegger, S. und Hell, K.W.: Einsatz von Anbaupflügen und Schleppern mit Regelhydraulik aus betriebstechnischer Sicht. Grundlagen Landtechnik 17 (1967), H. 4, S. 125-131
- Rosegger, S. und Olfe, H.: Die Minimalbodenbearbeitung aus arbeitswirtschaftlicher Sicht. Landbauforschung Völknerode H. 21 (1971), S. 25
- Rosegger, S. und Sörgel, F.P.: Ermittlung von technischen und arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten für die Pflanzliche Produktion. Landbauforschung Völknerode H. 32 (1976)
- Rosegger, S. und Olfe, H., Sörgel, F., Steinkampf, H.: Voraussetzungen für die optimale Nutzung leistungsstarker Schlepper bei der Bodenbearbeitung. Landbauforschung Völknerode H. 1 (1976), S. 40
- Sieg, R.: Moderne Bodenbearbeitung in Verbindung mit der Getreideaussaat. ÖKL-Landtechn. Schriftenreihe (1976), H. 20
- Söhne, W.: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. Grundlagen Landtechnik 11 (1959), S. 22-39
- Söhne, W.: Anpassung der Pflugkörperform an höhere Fahrgeschwindigkeiten. Grundlagen der Landtechnik 12 (1960) S. 51-62
- Steinkampf, H.: Wirtschaftlicher Einsatz leistungsstarker Schlepper aus energetischer Sicht. Landbauforschung Völknerode H. 3 (1977) S. 159-164
- Steinkampf, H.: Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern. Grundlagen Landtechnik 24 (1974), H. 1, S. 14-20
- Steinkampf, H. und Zach, M.: Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatbettbereitung. Landbauforschung Völknerode H. 24 (1974), S. 55

19. Stoppel, A.: Eine Methode zur Beurteilung von Bodenbearbeitungsverfahren im Hinblick auf die Schlagkraft. Grundlagen Landtechnik 27 (1977), H. 4, S. 108-114
20. Stoppel, A. und Bunk, A.: Ein Beitrag zum Leistungs- und Energiebedarf gezogener und angetriebener Bodenbearbeitungsgeräte. Grundlagen Landtechnik 28 (1978), H. 6, S. 214-218
21. Sturm, W.: Mathematisches Simulationsmodell zur Planung einer technisch-ökonomisch optimierten Getreidebestellung. Diplomarbeit TH Aachen: Institut für Kraftfahrwesen 1978
22. Zach, M. und Steinkampf, H., Sommer, C.: Arbeitseffekte und Leistungsbedarf eines Kreiselpfluges. Landbauforschung Völkenrode H. 1 (1972) S. 29
23. Zeltner, E.: Betriebstechnische und pflanzenbauliche Aspekte verschiedener Minimalstellverfahren. Dissertation Weihenstephan: Institut für Landtechnik 1975

EDV-Programme, Prüfberichte, Datensammlungen, Preislisten

24. Auernhammer, H.: ZEFA (Zeitbedarf für die Feldarbeit) Programmbibliothek der Landtechnik Weihenstephan, Weihenstephan 1978
25. DLG: Verschiedene DLG-Prüfberichte für die Maschinen und Geräte der Bodenbearbeitung
26. DLZ: Traktordaten und -preise. Die landtechnische Zeitschrift 30 (1979), H. 9, S. 1192-1235
27. DLZ: DLZ-Typentabelle Pflüge: Die landtechnische Zeitschrift 29 (1978), H. 9, S. 1036-1065
28. DLZ: Drillmaschinen. Die landtechnische Zeitschrift 29 (1978), H. 8, S. 953-961
29. KTBL: KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft, 9. Auflage Hiltrup 1978.

