

Gebrauchswerteigenschaften von warmgewalzten Kettenradverzahnungen für Landmaschinen

Dipl.-Ing. K. Weber, Institut für Landmaschinentechnik Leipzig des VEB Weimar-Kombinat

1. Einleitung

Zur Deckung des ständig steigenden Kettenradbedarfs im Landmaschinenbau ist die Anwendung progressiver technologischer Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen der Abtrenn- und Umformtechnik für die Fertigung von Kettenradverzahnungen notwendig.

Aus sowjetischen Informationen und aus der Literatur [1] [2] ist bekannt, daß bei der serienmäßigen Herstellung von Kettenrädern in der UdSSR die Warmwalztechnik angewendet wird. Im Landmaschinenwerk „Rostselmas“ Rostow am Don werden z. B. der Mährescher SK-4 und die Nachfolgetypen ausschließlich mit warmgewalzten Kettenrädern ausgerüstet.

Vom Institut für Landmaschinentechnik Leipzig wurden Verschleißuntersuchungen zur Ermittlung des Gebrauchswerts von warmgewalzten Kettenradverzahnungen vor Einführung in die Serienfertigung durchgeführt, da bisher keine ausreichenden Angaben zum Verschleißverhalten der Paarung „warmgewalzte Kettenradverzahnung-Rollenkette“ bekannt sind, sich die Zahnprofile der warmgewalzten Kettenräder verfahrensbedingt von den gefrästen unterscheiden und andere Toleranzen wirksam werden.

Einige grundlegende Einzelheiten zur Warm-

walztechnik (Verfahren, Maschinen und Werkzeug) hat Weber [3] dargestellt.

2. Verschleißuntersuchungen

2.1. Versuchsteile

Für die Verschleißuntersuchungen standen vom Wissenschaftlichen Forschungsinstitut der Technologie des Maschinenbaus (NIITM) Rostow am Don warmgewalzte unvergütete Kettenradscheiben der Teilung $t = 19,05$ mm mit den Zähnezahlen $z = 16$ und $z = 25$ zur Verfügung. Die Verzahnung der Versuchsteile wurde oberflächengehärtet (HRC 58) und seitlich auf die Sollprofilbreite nachgearbeitet (Kettenradverzahnungen nach GOST 591-69 der Teilung $t = 19,05$ mm sind gegenüber denen nach TGL 33-17401 um 1,0 mm breiter). Die Oberflächenhärte der gefrästen Prüflinge (Verzahnung) lag im zulässigen Bereich von $HRC 48 \pm 3$ nach TGL 33-17402.

Zur Beschreibung des Funktionszustands der einzelnen Versuchsteile wurden Messungen u. a. der Teilungswinkel und Zahnflankenrauheit sowie Profiluntersuchungen durchgeführt.

2.1.1. Messung der Teilungswinkel

Die Teilungswinkel wurden mit einem optischen Teilkopf P 3 und Feinzeigeranschlag gemessen. Die Teilungswinkelfehler f_{ψ} der warmgewalzten Kettenradverzahnungen sind gegenüber den gefrästen verfahrensbedingt größer. Vergleiche der Profilprojektionen einzelner Zähne eines Kettenrades bestätigen ebenfalls das Ergebnis.

Die nach Gl. (1) aus f_{ψ} berechneten Teilkreisteilungsfehler

$$\Delta t = \sin \frac{f_{\psi}}{2} d_0 \quad (1)$$

lagen in der nach OST 23.2.44.-70 für warmgewalzte Kettenräder zulässigen Toleranz: $d_0 = 0 \dots 120$ mm ($z = 16$): $\Delta t = 0,16$ mm $d_0 = 120 \dots 260$ mm ($z = 25$): $\Delta t = 0,20$ mm.

Vergleiche mit den Standards für Kettenräder TGL 33-17401, TGL 33-17402 und TGL 27897/01 bis 05 (für Neu- und Weiterentwicklungen verbindlich ab 1. Jan. 1977) sind nicht möglich, da diese keine Toleranzangaben zur Teilkreisteilung enthalten.

Mit der Anwendung neuer Arbeitstechniken für die Fertigung von Kettenradverzahnungen, die nicht ohne weiteres die Teilungsgenauigkeit der herkömmlichen Verzahnungsverfahren erreichen, sind zulässige Toleranzen für die Teilkreisteilung festzulegen und diese in die genannten Standards aufzunehmen.

2.1.2. Messung der Zahnflankenrauheit

Die mit einem Präzisionsoberflächenmeßgerät TALYSURF 4 im Bereich des Teilkreisdurchmessers an den Zahnflanken der Prüflinge ermittelten Rauheitswerte (Mittenrauheit R_a , Rauhtiefe R_t) zeigen, daß die warmgewalzten Zahnflanken gegenüber den gefrästen eine um etwa 60% geringere Oberflächenrauheit besitzen (Bild 1). Die Messungen wurden in Richtung des Stirnprofils über Meßstrecken von 2 mm Länge durchgeführt.

2.1.3. Profiluntersuchungen

Die mit Hilfe eines Profilprojektors (Vergrößerung 10:1) durchgeführten Profiluntersuchungen zeigten, daß die Stirnprofile der gefrästen und warmgewalzten Verzahnungen besonders im Zahnkopfbereich voneinander abweichen. Bei den warmgewalzten Kettenradverzahnungen waren Fehler in der Zahnflankensymmetrie und Flankenform vorhanden.

Die Beurteilung der unterschiedlichen Stirnprofile beider Ausführungsvarianten ist nicht möglich, da über eine optimale Ausbildung der Zahnform keine gesicherten Aussagen bekannt sind.

Die gefundenen Verzahnungsfehler sind verfahrensbedingt. Sie entstehen durch die unterschiedlichen Bewegungsverhältnisse des plastifizierten Werkstoffs beim Zahnbildungsvorgang. Der radial aufsteigende Werkstofffluß wird an der einlaufenden Flanke durch den Werkzeugzahn gehemmt, während er an der auslaufenden Flanke durch diesen unterstützt wird.

Durch Korrekturen am Werkzeugprofil bzw. durch Drehrichtungsreversierung in der Kalibrierphase des Walzprozesses lassen sich diese Verzahnungsfehler einschränken.

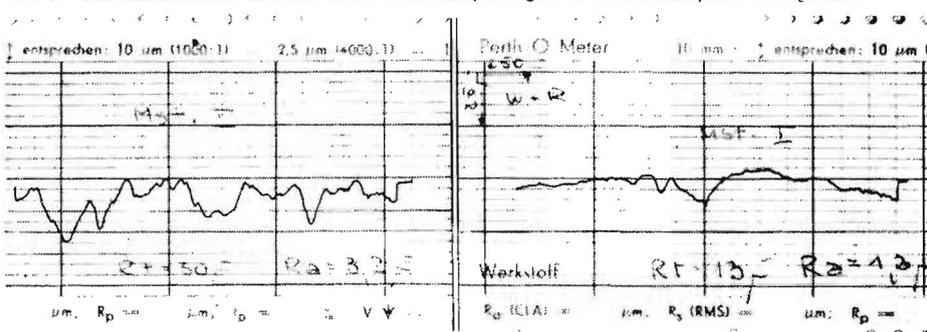
2.2. Prüfeinrichtung/Prüfbedingungen

Für die Verschleißuntersuchungen der Paarung Kettenrad-Kette wurde der im Bild 2 prinzipiell dargestellte Kettenradprüfstand verwendet. Er besteht in seinem Grundaufbau aus einer Antriebseinheit a und einer Bremsseinheit c (Kraftdurchfluß!). Zwischen beiden Baueinheiten ist der zu prüfende Kettentrieb in einem zum treibenden Kettenrad hin geneigten Blechgehäuse b untergebracht. Dieses sowie ein am treibenden Kettenrad angebrachter Zerteilflügel ermöglichen eine Bestäubung des Kettentriebs während des Laufes. Die vorgeschaltete Getriebeeinheit a dient zur Erreichung der Solldrehzahl; die nachgeschaltete Getriebeeinheit c ist notwendig, um die vorgesehene Bremsleistung entsprechend der Leistungscharakteristik der Pendelmaschine d zu erreichen. Diese arbeitet im Prinzip als elektrodynamische Leistungswaage. Ihr Aufbau entspricht elektrisch einer Gleichstrommaschine im Generatorbetrieb.

Verwendete Formelzeichen

d_0 mm	Teilkreisdurchmesser
f_{ψ} °	Teilungswinkelfehler
l_0 mm	Anfangslänge der Rollenkette unter Prüflast
l_i mm	Länge der Kette nach t_L
m	Anzahl der Prüflinge
n	Anzahl der ausgemessenen Zähne je Kettenrad
R_a μ m	Mittenrauheit
R_t μ m	Rauhtiefe
$s_{\Delta l}$ mm	Standardabweichung der Kettenlänge
t mm	Teilung
t_L h	Laufzeit
$\bar{x}_{\Delta l}$ mm	mittlere Kettenlänge
z	Zähnezahl des Kettenrades
ΔA mm ²	Verschleißfläche
Δb mm	Zahndickenabnahme
Δl mm	Kettenlänge
Δt mm	Teilkreisteilungsfehler
η mm ² /h	laufzeitbezogener Gesamtverschleiß

Bild 1. Oberflächenrauheit (Meßschriebe): links Zahnprofil gefräst, rechts Zahnprofil warmgewalzt



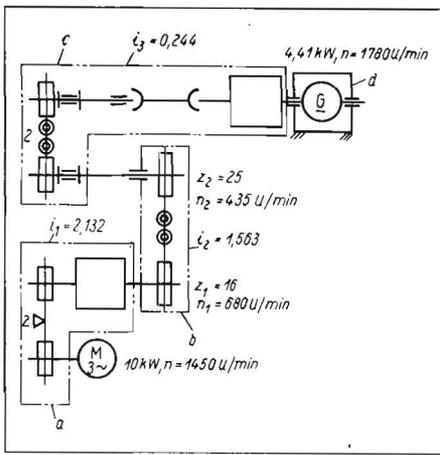


Bild 2. Prinzipdarstellung des Kettenradprüfstands; Erläuterung im Text

Bild 4. Verschleißfläche ΔA der beanspruchten Zahnflanken nach der Erstprüfung;
a) Zahnprofil gefräst ($t_L = 259$ h)
b) Zahnprofil warmgewalzt ($t_L = 240$ h)

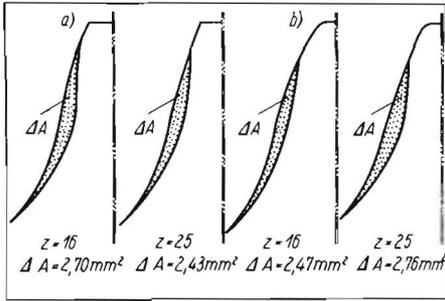


Bild 3. Zahndickenabnahme $\bar{\Delta}b = f(t_L)$;
a) Zahnprofil gefräst,
b) Zahnprofil warmgewalzt

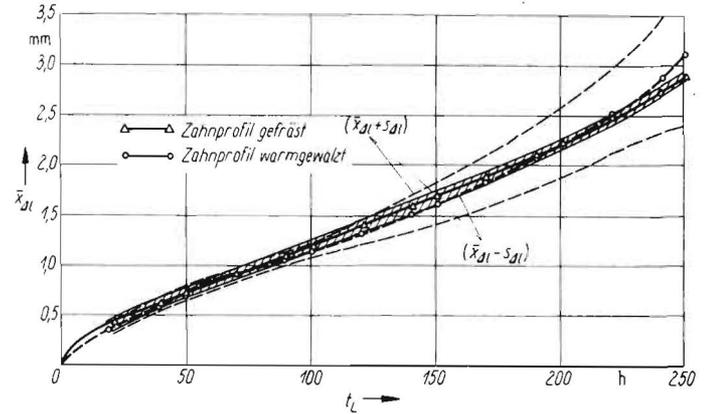
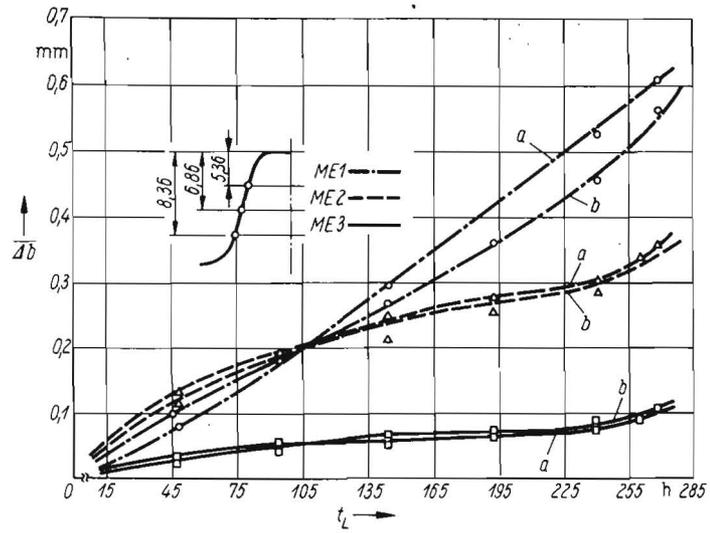


Bild 5. Mittlere Kettenlänge $\bar{x}_{\Delta l} = f(t_L)$

Die Untersuchungen wurden ohne Kettenspanner in stoßfreier Belastung durchgeführt. Die Kettentriebe wurden vor den Untersuchungen geschmiert und während des Laufes mit Sand bestäubt.

Der Achsabstand der Kettenräder betrug $40 \times t$. Als Verschleißgrenze wurde eine Kettenlänge von 3% der Anfangslänge festgelegt, die nach [4] der Grenznutzungsdauer der Rollenketten entspricht. Weitere Prüfbedingungen sind im Bild 2 ersichtlich.

2.3. Verschleißmessungen

Zur Beurteilung des Verschleißverhaltens des Kettentriebs sind nähere Kenntnisse sowohl über den Verschleiß der Kettenradverzahnung als auch über den der Rollenketten erforderlich. Als Verschleißkriterien gewählt wurden bei den Kettenradverzahnungen die Zahndickenabnahme $\Delta b = f(t_L)$ in drei festgelegten Meßebenen (ME 1 bis ME 3) innerhalb der Verschleißzone und der laufzeitbezogene Gesamtverschleiß der beanspruchten Zahnflanke $\eta = \Delta A / t_L$ der Kettenräder und bei den Rollenketten die Kettenlänge $\Delta l = f(t_L)$.

2.3.1. Zahndickenverschleiß

Der ermittelte Zahndickenverschleiß für die getriebenen Kettenräder ($z = 25$) beider Ausführungsvarianten ist durch Verschleißkennlinien $\bar{\Delta}b = f(t_L)$ im Bild 3 dargestellt. Den einzelnen Funktionswerten $\bar{\Delta}b$ liegt eine doppelte Mittelwertbildung nach Gl. (2) zugrunde.

$$\bar{b} = \frac{1}{nm} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}; \quad (2)$$

$n = 5, m = 7$.

Als Meßmittel wurde ein optisches Zahndicken-

meßgerät des VEB Carl Zeiß Jena verwendet. Die Verschleißkennlinien zeigen, daß zwischen den gefrästen und warmgewalzten Kettenradverzahnungen kein nennenswerter Verschleißunterschied vorliegt.

2.3.2. Laufzeitbezogener Gesamtverschleiß

Zur Ermittlung des Verschleißes der gesamten beanspruchten Zahnflanke wurden von jeweils drei Zähnen der Prüflinge mit Hilfe eines Profilprojektors (Vergrößerung 10:1) die Zahnprofile vor und nach der Verschleißprüfung auf Meßblätter projiziert und aufgezeichnet. Aus beiden Projektionen wurde die Verschleißfläche ΔA mit einem Kompensations-Polarplanimeter ermittelt.

Die Mittelwerte der Messungen zeigen bei Berücksichtigung einer möglichen relativen Meßunsicherheit von 10%, daß der mittlere Gesamtverschleiß an den beanspruchten Zahnflanken $\eta = \Delta A / t_L$ zwischen beiden Ausführungsvarianten gleich ist:

— Warmgewalzte Verzahnungen

$$z = 16: \eta = 9,75 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{h}$$

$$z = 25: \eta = 9,32 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{h}$$

— gefräste Verzahnungen

$$z = 16: \eta = 9,40 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{h}$$

$$z = 25: \eta = 10,50 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{h}$$

Sie bestätigen damit das im Abschnitt 2.3.1. ermittelte Ergebnis.

Im Bild 4 sind die Lage und Größe der Verschleißzone von jeweils einem Kettenradpaar beider Varianten dargestellt.

2.3.3. Kettenlänge

Die wahre Kettenlänge als Maß für die Verschleißgröße wurde unter Berücksichtigung der Anfangslänge ermittelt:

$$\Delta l = l_i - l_0. \quad (3)$$

Die Mittelwerte der Kettenlänge $\bar{x}_{\Delta l}$, die für jede Ausführungsvariante aus den Meßergebnissen von sieben Rollenketten mit jeweils fünf Meßstrecken gebildet wurden, sowie die Streubreite dieser Mittelwerte sind im Bild 5 dargestellt. Darin ist zu erkennen, daß die Kettenlänge im Laufzeitintervall $0 \text{ h} < t_L < 250 \text{ h}$ zwischen beiden Varianten mit wechselnder Wertigkeit unwesentlich voneinander abweicht. Im Laufzeitintervall $220 \text{ h} < t_L < 250 \text{ h}$ sind die dargestellten Ergebnisse nicht als gesichert zu betrachten, da in diesem Bereich bei beiden Varianten die Grenznutzungsdauer zu unterschiedlichen Laufzeiten erreicht wurde.

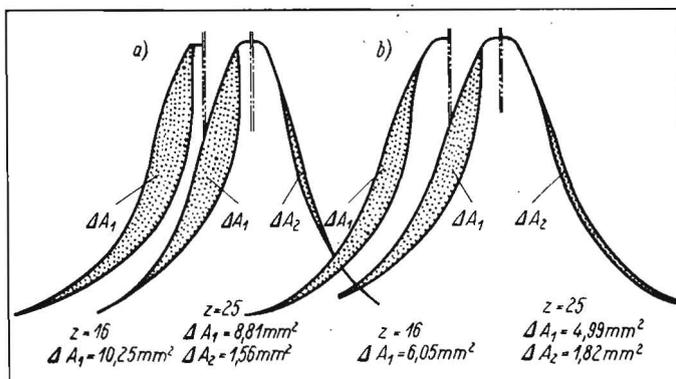
Die bei der statistischen Auswertung auffallende starke Streuung der Meßwerte bei den Rollenketten, die mit warmgewalzten Kettenradverzahnungen gelaufen sind, ist wahrscheinlich auf die nachgewiesenen Teilungs- und Profilfeiler zurückzuführen.

Die Meßwerte der Kettenlänge von den Rollenketten, die mit gefrästen Kettenradverzahnungen im Einsatz waren, genügen einer strengen Normalverteilung, was nach Enrick [5] und Köhler [6] für Verschleißprobleme bestätigt wird. Diese Aussage trifft nicht für die warmgewalzten Kettenradverzahnungen zu.

Aus den Abweichungen von der Normalverteilung kann abgeleitet werden, daß neben dem reinen Verschleiß der Rollenketten noch Ermüdungserscheinungen auftreten, u.a. Längung der Kettenglieder und Durchbiegung der Kettenlaschenbolzen, wofür die Teilungs- und Profilfeiler in den Kettenradverzahnungen mögliche Ursache sein können.

2.3.4. Erweiterte Verschleißuntersuchungen

Das Verschleißverhalten von warmgewalzten



Kettenradverzahnungen bei höheren Laufzeiten und deren Auswirkung auf die Lebensdauer der Rollenkette war zu untersuchen. Hierzu wurde je ein Kettentrieb mit warmgewalzten und gefrästen Kettenradscheiben, die bereits auf dem Prüfstand waren, einer Zweit- und Drittprüfung unterzogen.

Von Schulze [7] wurde nachgewiesen, daß Kettenräder meist ihre Betriebsgrenze erreichen, nachdem bereits drei Rollenketten verschlissen sind.

Bei jeder Prüfung wurden neue Rollenketten verwendet. Die Prüfbedingungen entsprachen denen der Erstprüfung.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse der beiden Kettentriebe ergab einen um 10% geringeren Verschleiß

$$\eta = \Delta A / \sum_{i=1}^3 t_{Li} \quad (4)$$

der warmgewalzten Verzahnungen (Bild 6). Die Verschleißzone hatte sich bei beiden Varianten über die gesamte beanspruchte Zahnflanke ausgebildet. Damit wurden die kinematischen Verhältnisse zwischen Verzahnung und Rollenkette so verändert, daß in der Drittprüfung die Rollenkette zu schwingen begann, was zum Verschleiß am Zahnrücken bei den Kettenradscheiben mit $z=25$ führte. Der etwas geringere Verschleiß der warmgewalzten Verzahnungen kann auf das feinkörnige Walzgefüge, auf den nachgewiesenen höheren Mangengehalt des Grundwerkstoffs bzw. auf Unterschiede der Härtetiefe zurückzuführen sein.

Die ermittelten Kettenlängen (Bild 7) bzw. die bei einer vorgegebenen Grenznutzungs-

Bild 6. Verschleißfläche ΔA der beanspruchten Zahnflanken nach der Drittprüfung;

a) Zahnprofil gefräst

$$\left(\sum_{i=1}^3 t_{Li} = 837 \text{ h} \right)$$

b) Zahnprofil warmgewalzt

$$\left(\sum_{i=1}^3 t_{Li} = 777 \text{ h} \right)$$

Bild 7. Kettenlänge $\Delta l = f(t_L)$ nach Zweit- und Drittprüfung;

a) Zahnprofil gefräst ($t_{L2} = 290 \text{ h}$, $t_{L3} = 231 \text{ h}$),

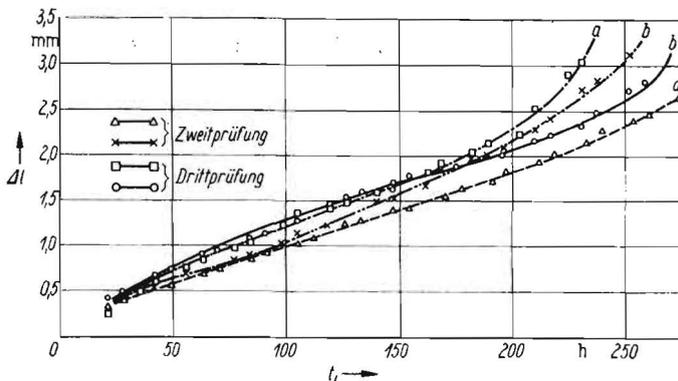
b) Zahnprofil warmgewalzt ($t_{L2} = 247 \text{ h}$, $t_{L3} = 267 \text{ h}$)

dauer der Rollenketten (3% der Anfangslänge) erzielten Laufzeitmittelwerte zwischen beiden Ausführungsvarianten weichen unwesentlich voneinander ab.

Die Untersuchungsergebnisse weisen begründet darauf hin, daß mit zunehmendem Verschleiß der Kettenradverzahnung vorhandene Profil- und Teilungsfehler abgebaut werden. Der Einfluß dieser Fehler ist nur während der Einlaufphase vorhanden.

3. Zusammenfassung

Für die Bedingungen des Landmaschinenbaus der DDR wurden Untersuchungen zum Ge-



brauchswert von warmgewalzten Kettenradverzahnungen im Vergleich zu gefrästen durchgeführt. Dabei diente der Verschleiß der trockenlaufenden Kettentriebe als Kriterium. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen kann für den Einsatz von warmgewalzten Kettenradverzahnungen der Teilung $t = 19,05 \text{ mm}$ im Trockenlauf abgeleitet werden, daß der Gebrauchswert dieser Kettenradverzahnungen dem der gefrästen entspricht. Für die Kettenradverzahnungen der Teilung $t = 25,4 \text{ mm}$ werden die Ergebnisse der Gebrauchswertuntersuchungen zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Literatur

- [1] Walzwerke für das Walzen von zylindrischen Zahn- und Kettenrädern. Informationsschrift von V/O „Maschineexport“ Moskau.
- [2] Technologischer Prozeß und Ausrüstung für das Warmwalzen des Zahnkranzes für Kettenräder von Kettentrieben. Informationsschrift von V/O „Lizencintorg“ Moskau.
- [3] Weber, K.: Warmwalzen von Kettenradverzahnungen für Rollenkettentriebe. Fertigungstechnik und Betrieb 26 (1976) H. 9, S. 551—556.
- [4] Gieske, J.: Untersuchungen zur Verbesserung des Verschleißverhaltens von Landmaschinen. ILT-Abschlußbericht Nr. 68—233 (unveröffentlicht).
- [5] Enrick, P.: Einfache statistische Verfahren der Zuverlässigkeitssicherung. In: Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellung. München: Oldenburg-Verlag 1966.
- [6] Köhler, W.: Zu den Grundlagen der Zuverlässigkeit. Dt. Agrartechnik 19 (1969) H. 4, S. 176—179.
- [7] Schulze, J.: Untersuchungen über Verschleißgrenzen bei Rollenketten und Kettenrädern. Teilbericht Nr. 4 zu ILT-Abschlußbericht Nr. 70-238/8 (unveröffentlicht). A 1563

Landtechnische Dissertationen

Am 19. Mai 1976 verteidigte Dipl.-Ing. J. Reich an der Sektion Pflanzenproduktionsforschung der AdL der DDR erfolgreich seine Dissertation

„Mechanisierungsmittel und Arbeitsverfahren der Sickerschlitzdränung mit schütffähigem Sickermaterial“

Gutachter:

Prof. Dr. sc. K. Mührel, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Potsdam-Bornim, Bereich Meißen
Prof. Dr. sc. K. Schwarz, Forschungszentrum

für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Jena

Prof. Dr. sc. K. Illner, Humboldt-Universität Berlin, Sektion Pflanzenproduktion.

Ein mechanisiertes Verfahren für die Sickermaterialeinbringung war zu entwickeln, das an die Saugerverlegung mit dem Meliomat-Universal gekoppelt ist und einen großflächigen Einsatz ermöglicht.

Die Erarbeitung der effektivsten Lösung für die Mechanisierungsmittel erfolgte unter strenger Beachtung der technologischen Zusammenhänge auf der Grundlage systematisch abgelei-

teter Lösungsvarianten in Zusammenarbeit mit dem VEB Meliorationsmechanisierung Dannenwalde. Parallel dazu durchgeführte technologisch-ökonomische Untersuchungen zur Verfahrensgestaltung konzentrierten sich auf die Ermittlung der technologischen Bestvariante. Abgeleitet wurden Aussagen zur Funktionssicherheit der Mechanisierungsmittel sowie zur rationellen Verfahrensgestaltung (Komplexgröße, Feld- und Straßentransportentfernung, Arbeitsqualität u. a.) und zur Weiterentwicklung des Verfahrens.

AK 1597