

Überlegungen zu künftigen Hydrauliksystemen in Ackerschleppern

Von Hermann Garbers und Hans-Heinrich Harms, Braunschweig*)

DK 631.372:621.8.032

Die Hydraulikanlage im Ackerschlepper zählt heute zu den nicht mehr zu vernachlässigenden Leistungsabnehmern des Dieselmotors. Das wird bewirkt durch einen deutlichen Anstieg der installierten hydraulischen Leistung. Im ersten Teil dieses Beitrages werden dem Hersteller von Landmaschinen die heute gültigen hydraulischen Kenndaten der Ackerschlepper angegeben. Danach werden — aufbauend auf den Forderungen der Landmaschinenindustrie — mögliche Schaltungsvarianten der Ackerschlepperhydraulikanlage diskutiert. Dabei werden neben funktionellen Anforderungen auch energetische Gesichtspunkte angesprochen.

1. Einleitung

Der moderne Ackerschlepper stellt bekanntlich eine zentrale Antriebseinheit für angebaute, aufgesattelte und gezogene Landmaschinen dar. Die Hauptleistungsübertragung erfolgt nach wie vor über die Schlepperräder und die Zapfwelle. Wegen großer Freizügigkeit bei der Anordnung der Elemente und wegen guter Steuer- und Regelbarkeit wird ein immer größerer Teil der Motorleistung auch über hydraulische Steckdosen übertragen. Als Versorgungseinheit dient dann die heute auf allen Schleppern ohnehin vorhandene Hydraulikanlage. Diese Anlage wird vom Schlepperhersteller in erster Linie für die schlepperinternen Verbraucher — wie beispielsweise Kraftheber und hydraulische Lenkung — ausgelegt und reicht bei weitem nicht zur Versorgung aller mit dem Schlepper verbundenen Landmaschinen aus. Dadurch werden vielfach auf Landmaschinen mit hydraulischen Antrieben eigene Hydraulikanlagen notwendig, was mit höheren Anschaffungs- und Betriebskosten für den Landwirt verbunden ist.

2. Stand und Entwicklungstendenzen der Arbeitshydraulikkenngrößen in Ackerschleppern

Die Hydraulikanlage läßt sich durch drei meßbare Größen beschreiben:

1. Volumenstrom der Pumpe
2. Betriebsdruck in der Anlage und
3. verfügbares Ölvolumen.

Die installierte hydraulische Leistung, bekanntlich das Produkt aus Volumenstrom- und Druckmaximalwerten, ist in Bild 1 als prozentualer Anteil der Motorleistung des Schleppers (Mittelwerte) über der jeweiligen Schlepperleistungsklasse aufgetragen. Dabei sind die neuesten, für 1980 berechneten Daten denen von 1976 gegenübergestellt, um eine Aussage über die Entwicklungstendenzen zu ermöglichen. Es liegt natürlich nahe, daß in dieser Zusammenstellung einige Schleppertypen sowohl 1976 als auch 1980 erfaßt sind, da sie im allgemeinen über einen längeren Zeitraum gebaut werden. Es ist umso erstaunlicher, daß die

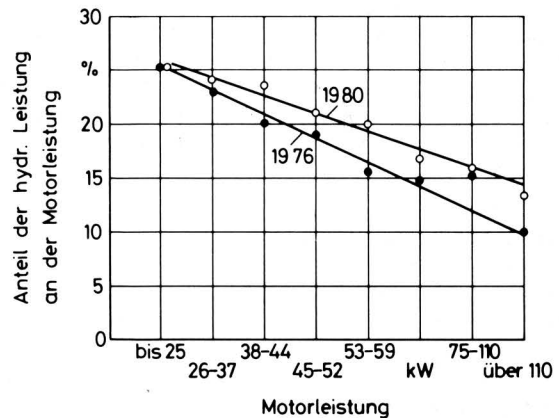


Bild 1. Mittelwerte der auf die Motorleistung bezogenen installierten hydraulischen Leistung in Abhängigkeit von der Motorleistung (berechnet nach [1, 2]).

Vergrößerung der hydraulischen Leistung dennoch so deutlich erkennbar ist. Die stärksten Veränderungen sind in der Schlepperklasse mit 53–59 kW zu erkennen. Hier ist der Anteil der hydraulischen Leistung von 15 % im Jahre 1976 auf 20 % 1980 angestiegen. Diese Schlepper werden sehr universell — von Frontladerarbeiten bis zur schweren Bodenbearbeitung — eingesetzt, also mit einem breiten Anwendungsgebiet auch für die Hydraulik. Der Vergleich mit 1976 zeigt, daß auch bei den größeren Schleppern heute ein höherer Anteil der Motorleistung für die Hydraulikanlage bereitgestellt wird.

Der maximale Betriebsdruck ist bei Schleppern über 38 kW Motorleistung, wie im Bild 2 zu erkennen ist, auf 170 bis 180 bar angehoben worden. Im Mittel kann man heute einen maximalen Betriebsdruck von 175 bar erwarten. Lediglich bei Großschleppern über 110 kW Motorleistung liegt das Druckniveau der Arbeitshydraulikanlagen niedriger, was durch einen hohen Anteil amerikanischer Hersteller verursacht wird. Auch hier ist ein Anstieg auf 175 bar zu erwarten [3].

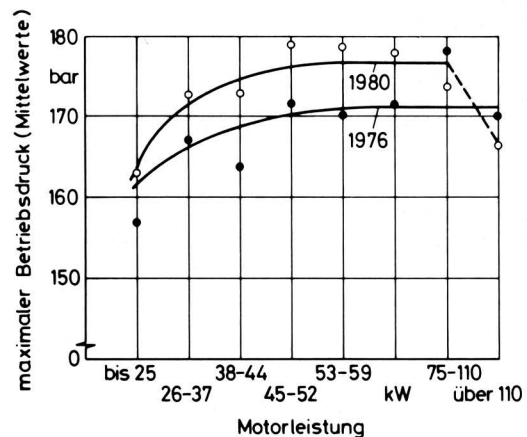


Bild 2. Maximaler Betriebsdruck (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Motorleistung (berechnet nach [1, 2]).

*) Dipl.-Ing. H. Garbers und Dipl.-Ing. H.-H. Harms sind wissenschaftliche Assistenten am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der Technischen Universität Braunschweig.

Einige Hersteller in Europa haben in jüngster Zeit den Systemdruck weiter angehoben. Es bleibt abzuwarten, wie sich die übrigen Hersteller verhalten. Sinnvoll wäre es jedoch, ein möglichst einheitliches Druckniveau anzubieten. Dessen Höhe ist zwar für die Verbraucher auf dem Schlepper gleichgültig, ist aber für die darauf abzustimmenden Landmaschinen, die in der Regel von unterschiedlichen Anbietern stammen, äußerst wichtig. Hier bietet sich aus mehrfach genannten Gründen [2] eine Abstimmung auf 175 bar an.

In Bild 3 ist der Volumenstrom, der von den Hydraulikpumpen bei Nenndrehzahl geliefert werden kann, für verschiedene Schleppergrößen aufgetragen. Die Mittelwerte der Volumenströme reichen von 20 l/min bei kleinen Schleppern, die in den letzten Jahren unverändert geblieben sind, heute bis zu mehr als 75 l/min bei den Schleppern mit mehr als 110 kW. Der hohe Wert für die letzteren ist darauf zurückzuführen, daß bei niedrigerem Druckniveau für eine ausreichende verfügbare hydraulische Leistung ein großer Volumenstrom notwendig ist. In den Leistungsklassen zwischen 38 und 74 kW beträgt der Volumenstrom etwa 35 l/min, während 1976 in diesen Klassen etwa 30 l/min zur Verfügung standen. Die seinerzeit getroffenen Voraussagen zu den Entwicklungstendenzen [2] scheinen sich also wenigstens für die mittleren und großen Schlepper (über 25 kW) weitgehend zu bestätigen.

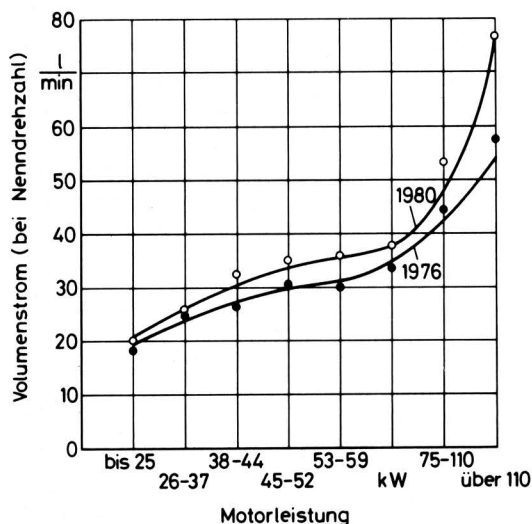


Bild 3. Mittlerer Volumenstrom der Hydraulikpumpen in Abhängigkeit von der Motorleistung (berechnet nach [1, 2]).

Das im Bild 4 gezeigte verfügbare Ölvolumen, das über die Steckdosen an einen externen Verbraucher abgegeben werden kann, ist bei den kleinen und mittleren Schleppern nahezu unverändert geblieben. Eine deutliche Zunahme hat es hier nur bei den großen Schleppern (über 45 kW) gegeben. Hierzu ist folgendes zu bemerken:

- Wird das Hydrauliköl dem Getriebegehäuse entnommen, steht im Stand etwa 50 % mehr Öl als während der Fahrt zur Verfügung.
- Die Entnahmemenge läßt sich in gewissem Umfang durch zusätzliches Auffüllen des Getriebegehäuses vergrößern.
- Viele Hersteller bieten für erhöhte Anforderungen Zusatzbehälter in der Größenordnung von 20 l an.

Somit sind im Einzelfall Zusatzmaßnahmen möglich, um mit Hilfe einer höheren Ölabbgabemenge die Einsatzmöglichkeiten der Schlepperhydraulik (z.B. für den Aushub von Hochhubkippern) zu verbessern.

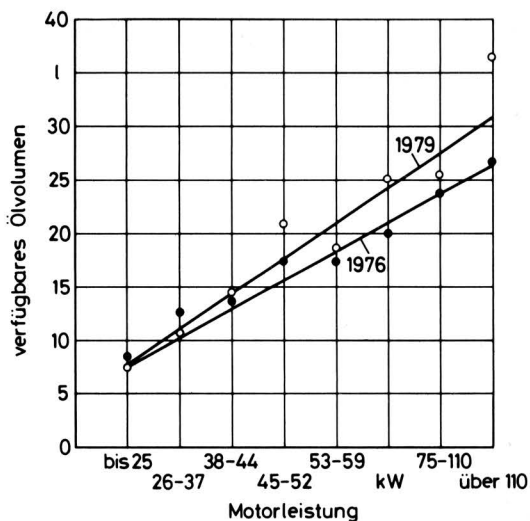


Bild 4. An der hydraulischen Steckdose verfügbares Ölvolumen (Mittelwerte, berechnet nach [1, 2]).

Für eine Versorgung der schlepperexternen Verbraucher durch die Schlepperhydraulikanlage ist natürlich eine ausreichende Anzahl hydraulischer Steckdosen erforderlich. Nach einer Umfrage bei verschiedenen Schlepperhändlern sowie nach Angaben in Schlepperprospekten und Schlepper-Testberichten sind bei allen Neuschleppern grundsätzlich mehrere (auf Wunsch bis zu vier) einfach- oder doppeltwirkende Steuerventile mit den entsprechenden Steckdosen vorhanden. Der Landwirt kann beim Schlepperkauf die Anzahl der Steuerventile entsprechend seinen Anforderungen wählen [4]. Dabei bietet sich eine Steckdose mit direktem Tankrücklauf als kostengünstige Lösung an. So kann mit einem einfachwirkenden Steuerventil beispielsweise auch ein Hydromotor betätigt werden.

3. Anforderungen an die Schlepperhydraulik

3.1 Abgrenzung der Betrachtungen

Die Entwicklung der Marktanteile der einzelnen Schlepperleistungsklassen von 1976 bis 1979 ist in Bild 5 dargestellt. Es ist eine deutliche Abnahme der Schlepper bis 44 kW sowie eine Zunahme der Schlepper ab 45 kW zu verzeichnen. Eine Ausnahme bilden die Schlepper bis 25 kW, für die ein gleichbleibender Markt vorhanden ist. Schlepper oberhalb 110 kW sind mit nur 0,3 % verzeichnet, allerdings mit steigender Tendenz. Die Steigerungsrate ist in den Klassen zwischen 45 kW und 75 kW am ausgeprägtesten. Diese Leistungsklassen werden in den Betrieben mit einem oder zwei Schleppern universell für nahezu alle anfallenden Arbeiten eingesetzt [5, 6]. Da, wie in Bild 1 erläutert, bei diesen Schleppern weiterhin ein besonderer Anstieg der installierten hydraulischen Leistung zu verzeichnen ist, werden den folgenden Überlegungen die Schlepper mit einer Leistung über 45 kW zugrunde gelegt. Für Schlepper dieser Größe sind folgende Verbraucher zu berücksichtigen:

- die Arbeitshydraulik, zu der der Regelkraftheber sowie die hydraulischen Steckdosen einschließlich des Frontladers und des Frontkrafthebers gehören,
 - die Bedienungs- und Komforthydraulik mit der hydrostatischen Lenkung sowie den Nebenverbrauchern wie Lastschaltgetriebe, Differentialsperre, Zapfwellenkupplung, Getriebebeschleunigung und -kühlung usw.
- Weiterhin soll, obwohl bislang nur vereinzelt eingesetzt, sowohl die hydraulische Hilfskraftbremsanlage für den Schlepper als auch die hydraulische Fremdkraftbremsanlage für Anhänger und sonstige Geräte mit in die Überlegungen einbezogen werden.

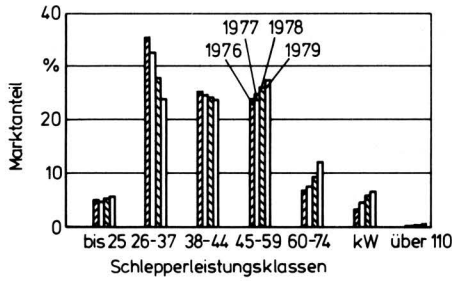


Bild 5. Entwicklung der Marktanteile in den verschiedenen Schlepperleistungsklassen.

Will man sämtliche internen und externen hydraulischen Verbraucher von einer zentralen hydraulischen Antriebseinheit des Schleppers versorgen, so sind zunächst die leistungsmäßigen, die funktionalen sowie ggf. die gesetzlichen Anforderungen zu klären und zusammenzustellen.

3.2 Erforderlicher Druck und Volumenstrom

3.2.1 Interne Verbraucher

Durch einen Vergleich der Angaben verschiedener Schlepperhersteller lassen sich die Daten für den erforderlichen Druck und Volumenstrom der internen Verbraucher zusammenstellen, wie sie in **Tafel 1** aufgeführt sind. Der Heckkraftheber hat die Anwendung der Hydraulik im Schlepper eingeleitet und ist als integrierter Bestandteil der Schlepperkonstruktion anzusehen. Er muß ein der Schleppergröße angepaßtes Arbeitsvermögen besitzen. Die Hubkraft, bezogen auf die Motorleistung, beträgt im Mittel etwa 480 N/kW [7]. Zusammen mit den Anforderungen an die Hubzeiten werden hierdurch Druck und Volumenstrom bestimmt. In der betrachteten Leistungsklasse ist von einem Volumenstrom von 30–40 l/min und einem erforderlichen Druck von 175 bar auszugehen.

Eine hydrostatische Lenkung wird heute im überwiegenden Teil der großen Schlepper eingebaut. Diese Anlagen arbeiten mit einem Betriebsdruck von 100–150 bar bei einem Volumenstrom von 10–20 l/min. Die allradgelenkten Schlepper benötigen eine etwa doppelt so große Fördermenge.

Um bei den großen Schleppern besonders im Zuge der Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit die Fahrsicherheit und den Komfort zu steigern, wird man zunehmend auf Scheibenbremsen mit servohydraulischer Unterstützung der Bremskraft übergehen. Weiterhin hat in der letzten Zeit eine Intensivierung der Diskussion über die hydraulische Fremdkraftbremsanlage für Anhänger stattgefunden. Eine Kombination mit der Hilfskraftbremse des Schleppers bietet sich an. Die als Konstantdrucksystem mit Speicher ausgeführten Anlagen benötigen kurzzeitig einen Speicherladestrom von 5–15 l/min. Die Hersteller gehen dabei von einem Maximaldruck von 150 bar aus.

Verbraucher	Volumenstrom Q	Druck p
Regelkraftheber	30–40 l/min	175 bar
Lenkung	10–20 l/min	100–150 bar
Bremse	5–15 l/min (kurzzeitig)	150 bar
ND-Verbraucher	10–20 l/min	10–20 bar
Hydr.Steckdose	40–60 l/min	175 bar

Tafel 1. Druck- und Volumenstrombedarf der hydraulischen Verbraucher.

Die bereits kurz erläuterten weiteren Bestandteile der Bedienungs- und Komforthydraulik werden als Niederdruckfunktionen bei 10–20 bar ausgeführt. Um die Aufgabe der Schmierung und Kühlung von Getriebe und Bremsen zu erfüllen, ist ein Volumenstrom von 10–20 l/min erforderlich. Die Niederdruckfunktionen sind parallel geschaltet und in einem Konstantdrucksystem zusammengefaßt.

3.2.2 Externe Verbraucher

Zu den externen Verbrauchern gehören alle Funktionen, die über eine einfach- oder doppelwirkende hydraulische Steckdose versorgt werden. Die entsprechenden angebauten, aufgesattelten oder gezogenen Geräte werden in [8] ausführlich erläutert. Um die erforderlichen Antriebs- und Steuerungsfunktionen der Geräte mit der Schlepperhydraulik erfüllen zu können, muß bei einem Maximaldruck von 175 bar der Volumenstrom für bestimmte Einzelverbraucher 30–40 l/min bzw. bei Simultanbetrieb mehrerer Verbraucher 60 l/min betragen, wie es beispielsweise beim Ladewagen der Fall ist. Auch für den Frontlader, der vornehmlich in den Schlepperklassen bis ca. 60 kW zur Standardausrüstung gehört, wäre bei gleichem Systemdruck ein Volumenstrom von 40–60 l/min nötig.



Aus **Tafel 1** darf man nicht ableiten, daß alle Volumenströme gleichzeitig in vollem Umfang benötigt werden. Die installierte hydraulische Leistung kann also wesentlich niedriger sein als die Summe der jeweiligen Eckleistungen.

Die Unterscheidung nach dem Druckbedarf (**Tafel 1**) führt zu einer Aufteilung der verschiedenen Verbraucher in drei Gruppen, wobei die Arbeitshydraulik mit einer Eckleistung von ca. 18 kW den größten Leistungsanteil benötigt. Weiterhin läßt sich durch diese Aufteilung beim Entwurf der Hydraulikanlage bereits eine Zuordnung der Verbraucher zu verschiedenen Kreisläufen treffen.

3.3 Gesetzliche und funktionelle Anforderungen

Gesetzliche Bestimmungen sind für die hydrostatische Lenkung und die Bremse zu berücksichtigen. Der § 38 der StVZO fordert für die Hilfs- oder Fremdkraftlenkanlage eine bevorzugte Belieferung, die auch bei Störungen in Nebenverbrauchern erhalten bleibt. Weiterhin ist die Dauer des Lenkeinschlages bei Leerlauf- und Vollastdrehzahl des Motors festgelegt, woraus folgt, daß für die Lenkung ein konstanter Volumenstrom erforderlich ist, um immer gleiche Lenkgeschwindigkeiten zu erreichen.

Während hydraulische Hilfskraftbremsanlagen durch den § 41 StVZO sowie durch die EG-Richtlinien abgedeckt sind, existieren für hydraulische Fremdkraftbremsanlagen für land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen und Anhänger bis 25 km/h zunächst vorläufige ergänzende Abnahmerichtlinien. Da bei Ausfall der Energiequelle im Gegensatz zur Hilfskraftbremsanlage eine Bremsung mit erhöhter Pedalkraft nicht möglich ist, muß der Bremskreis mit einem entsprechenden Speicher ausgerüstet sein, der von der Energiequelle vorrangig geladen wird. Ein Einfluß von Nebenverbrauchern auf den Bremskreis ist auszuschließen. Ein unzulässiges Absinken des Speicherdruckes ist durch eine optische oder akustische Warneinrichtung anzuzeigen.

Damit liegen bereits zwei wesentliche funktionelle Anforderungen fest. Die weiteren einsatztechnischen Anforderungen sollen für verschiedene Anwendungsfälle der Hydraulikanlage, wie sie etwa für westeuropäische Verhältnisse üblich sind, anhand der **Tafel 2** erläutert werden. Dabei wird unterschieden zwischen Verbrauchern im Dauerbetrieb (Hydromotor ) und intermittierenden Betrieb (Hydrozylinder ) . Ebenso ist der Simultanbetrieb einzelner Verbraucher durch gleichartige Markierungen in den Ecken der Felder gekennzeichnet.

	Kraftheber	Steckdose I	Steckdose II	Steckdose III	Lenkung	Bremse	ND-Funktionen
Pflug	☐	☐			☐	☐	☐
Siloblockschn.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Düngerstreuer		☐	☐		☐	☐	☐
Frontlader		☐	☐		☐	☐	☐
Mähwerk		☐			☐	☐	☐
Ladewagen		☐	☐	☐	☐	☐	☐
Ballenwerfer		☐			☐	☐	☐
Vollernter		☐	☐	☐	☐	☐	☐
Kippanhänger		☐			☐	☐	☐

Tafel 2. Angetriebene Verbraucher der Hydraulikanlage in verschiedenen Anwendungsfällen (gleichzeitiger Betrieb ist durch Schwärzung der gleichen Ecken in den Feldern gekennzeichnet).

Hydromotor ☐

Hydrozylinder ☐

Beim Pflügen wird beispielsweise der Regelkraftheber eingesetzt. Ein gleichzeitiger Betrieb der Steckdose, etwa zum Drehen des Pfluges, ist hier nicht erforderlich, da am Furchenende zuerst der Pflug angehoben wird, um dann beim Wenden gedreht zu werden. Gleichzeitig mit jeder der beiden Funktionen werden die Lenkung, die Bremse sowie die Niederdruckfunktionen eingesetzt. Greift man als weiteres Beispiel den Rübenvollernter heraus (8. Zeile der Tafel), so werden hier die Verbraucher, wie etwa die Putzwalzen und die Seitensterne, an zwei Steckdosen gleichzeitig betrieben. Die Drehzahl der Putzwalzen muß den Betriebsbedingungen entsprechend einstellbar sein. Als weitere Verbraucher kämen noch Stellantriebe, wie z.B. zum Kippen des Bunkers hinzu. Am Beispiel des Ballenwerfers ergibt sich schließlich die Forderung, den Hydromotor unabhängig mit einem konstanten Ölstrom zu versorgen, um in jedem Betriebszustand eine gleiche Wurfgeschwindigkeit zu erreichen.

Zusammengefaßt ergeben sich aus der Tafel folgende funktionelle Anforderungen an die Schlepperhydraulik:

Neben dem unabhängigen simultanen Betrieb von Lenkung, Bremse und Niederdruckfunktionen, der praktisch immer gewährleistet sein muß, ist der simultane Betrieb von mindestens zwei Verbrauchern der Arbeitshydraulik erforderlich. Eine Anpassung des Förderstromes an den unterschiedlichen Bedarf der verschiedenen Verbraucher muß möglich sein. Schließlich ist für mindestens einen externen Verbraucher eine völlig unabhängige Regelung des Förderstromes erforderlich.

3.4 Energetische Anforderungen

Bei dem Betrieb eines derartigen zentralen hydraulischen Antriebssystems auf dem Schlepper ist zu berücksichtigen, daß insbesondere beim Dauerbetrieb von Hydromotoren die Wärmebelastung des Schleppers infolge der Leistungsverluste in Pumpe und Motor und der Übertragungsverluste in den langen Hydraulikleitungen sehr groß werden kann. Es ist somit besonderes Gewicht auf eine ausgeglichene Wärmebilanz zu legen.

Weiterhin ist festzustellen, daß trotz der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, die Hydraulikanlage sich zum größten Teil in Neutralstellung befindet. Diese Tatsache beinhaltet die Forderung nach einem niedrigen Umlaufdruck, was sich durch eine entsprechende konstruktive Gestaltung der Aggregate und durch kurze Umlaufwege erreichen läßt. Zum anderen sind Leerlaufverluste durch eine möglichst kleine umlaufende Ölmenge reduzierbar.

Anhand der bisher aufgestellten Anforderungsliste werden im folgenden mögliche Schaltungsvarianten einer Zentralhydraulikanlage auf dem Schlepper vorgestellt und diskutiert.

4. Schaltungsvarianten

4.1 Hydraulikanlagen mit Konstantpumpen

Die Konstantstromanlagen sind in der Schlepperhydraulik am weitesten verbreitet. Ihre Vorteile, wie die einfache und billige Konstruktion, die geringe Störanfälligkeit und der geringe Wartungsaufwand, sind bekannt und brauchen nicht näher erläutert zu werden. Die zuvor dargestellten Anforderungen lassen sich am einfachsten erfüllen, wenn jedem Hydraulikkreislauf eine ihm angepaßte separate Pumpe zugeordnet wird. Anlagen dieser Art werden in der Praxis ausgeführt; die Lösung ist schematisch in Bild 6 dargestellt. Der Vorteil einer solchen Anlage liegt in der völligen Unabhängigkeit der Verbraucher. Die Bremse ist hier in den Kraftheberkreislauf geschaltet. Da das Speicherladeventil nur kurzzeitig einen Teilstrom abzweigt, ist die Volumenstromschwankung am Kraftheber vertretbar. Eine unabhängige Regelbarkeit des Ölstromes zur Lenkung bzw. zur Steckdose II erfolgt über hier nicht dargestellte Dreiweg-Stromregelventile. Da insbesondere die Lenkung bei Nenndrehzahl nur einen Teil des gelieferten Ölstromes benötigt, wird der unregelte Reststrom verlustbehaftet zum Tank abgeleitet. Ein weiterer Nachteil dieser Anlage ist, daß sie bei Nenndrehzahl einen installierten Volumenstrom von ca. 120 l/min besitzt, der auch in Neutralstellung durch die Anlage fließt.

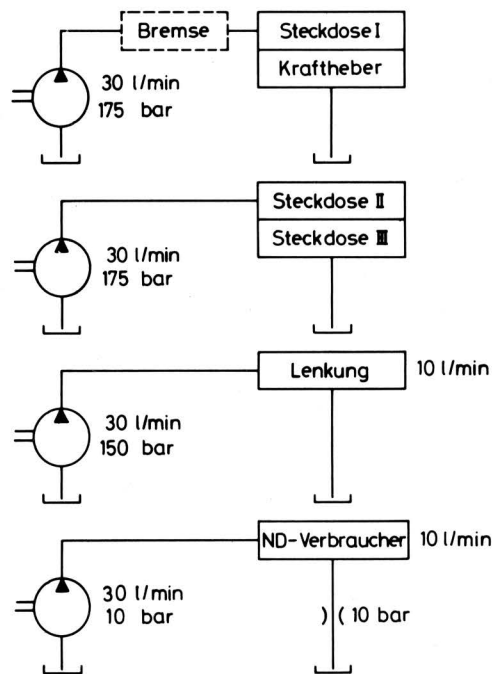


Bild 6. Konstantstromanlage mit vier Pumpen.

Um diesen Verlustanteil zu mindern und weiterhin den Installationsaufwand von vier Pumpen zu umgehen, läßt sich eine derartige Anlage auch mit zwei Pumpen ausführen. Diese Möglichkeit ist in Bild 7 dargestellt. Die Pumpe A versorgt mit 30 l/min die unabhängige Steckdose I sowie den Regelkraftheber, wobei die Versorgung der Bremsanlage diesen Verbrauchern vorgeschaltet werden kann. Die Pumpe B bedient primär über ein Stromteilventil die Lenkung. Der geregelte Lenkungsstrom wird im Rücklauf zur Betätigung der Niederdruckverbraucher herangezogen. Es wird hierzu ein Arbeitsdruck von ca. 10 bar zugrunde gelegt. Der unregelte Ölstrom der Pumpe B (ca. 30 l/min) geht auf die Steckdosen II und III, so daß der simultane Betrieb von zwei Arbeitsfunktionen

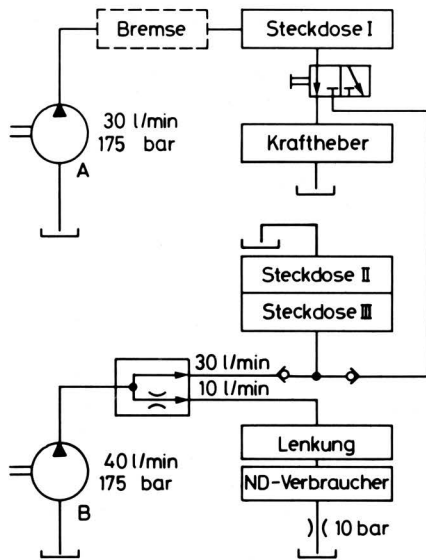


Bild 7. Konstantstromanlage mit Dreikreisystem und handbetätigter Summenschaltung.

möglich ist. Zusätzlich ist bei diesem System die Möglichkeit gegeben, den Ölstrom der Pumpe A mit dem unregelmäßigen Ölstrom der Pumpe B über ein Ventil zusammenzufassen, so daß dann mit der Steckdose II oder III ein Verbraucher, beispielsweise der Frontlader, mit 60 l/min betätigt werden kann. Der Kraftheber ist dann allerdings ausgeschaltet. Er wird beim Frontladerbetrieb ohnehin nicht benötigt.

In dieser Anlage wird der bei Nenndrehzahl umlaufende Ölstrom gegenüber dem vorherigen System auf ca. 70 l/min reduziert. Verluste werden wiederum durch die Stromteilung verursacht, allerdings mit dem Vorteil, daß der unregelmäßige Teilstrom nicht in den Tank geführt wird, sondern zur Betätigung von Arbeitsfunktionen herangezogen werden kann.

Eine weitere Verfeinerung der Konstantstromanlage stellt das System nach Bild 8 dar. Der unregelmäßige Teilstrom der Pumpe B von ca. 30 l/min geht über die Steckdose III zum Kraftheberregelventil, da beim Pflügen diese Menge zur Pflugregelung ausreicht. Der Ölstrom der Pumpe A von 30 l/min wird zum Tank kurzgeschlossen. Beim Betätigen der Steckdose I oder II bzw. des Kraftheberaushubventils schließt das Kurzschlußventil. Die Steckdose I kann dann unabhängig mit 30 l/min versorgt werden. Weiterhin ist hier eine automatische Summenschaltung der beiden Ölströme möglich, so daß beim Geräteaushub oder beim Frontladerbetrieb über die Steckdose II höhere Arbeitsgeschwindigkeiten durch einen maximalen Ölstrom von 60 l/min möglich sind. Man hat also die Möglichkeit, unterschiedliche Ölströme zum Betrieb der externen Verbraucher an den Steckdosen abzugreifen. Dabei können die Verbraucher an Steckdose III und an Steckdose I unabhängig voneinander simultan betrieben werden.

Diese Anlage bietet weiterhin den Vorteil, daß in Neutralstellung nur 40 l/min umlaufen, wenn man von dem kurzzeitigen Lade- strom der Bremse absieht. Somit stellt dieses System bezüglich der funktionellen Anforderungen und auch aus energetischer Sicht als Konstantstromanlage für die betrachtete Schlepperleistungsklasse eine recht gute Lösung dar [9].

Allen Konstantstromsystemen gemeinsam sind allerdings ihre ungünstigen Feinsteuerereigenschaften und ihre Verluste im Feinsteuerbereich, da der nicht benötigte Ölstrom verlustbehaftet zum Tank weggedrosselt werden muß. Diese Tatsache wirkt sich insbesondere beim Dauerbetrieb von externen Verbrauchern, z.B. Hydromotoren, nachteilig aus. Eine Regelung der Drehzahl und somit des Förderstromes kann nur über Stromregel- oder Stromteilerventile erfolgen. Der überschüssige Ölstrom wird ständig verlustbehaftet zum Tank abgeleitet, was zu einer erheblichen Wärmebelastung der Anlage führt. Besonders aus diesem Grunde sollte man den

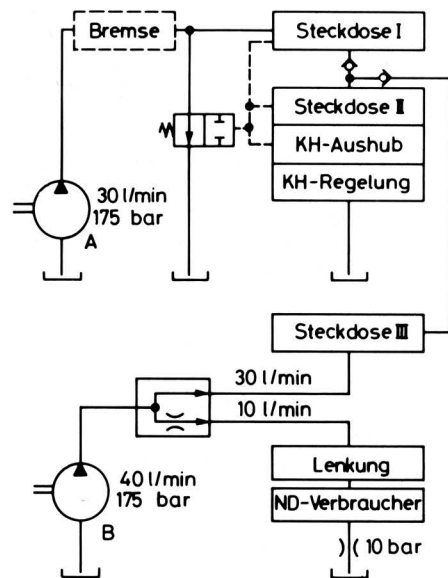


Bild 8. Konstantstromanlage mit Kurzschlußschaltung und automatischer Summenschaltung.

Einsatz von Verstellpumpen in einem zentralen hydraulischen Antriebssystem eines Schleppers in Erwägung ziehen.

4.2 Hydraulikanlagen mit Verstellpumpen

In Bild 9 ist eine Anlage mit einer druckgeregelten Verstellpumpe (Nullhubregelung) dargestellt. Der Förderstrom der Pumpe A ist stets so an den Bedarf angepaßt, daß der Systemdruck auch bei unterschiedlichen Antriebsdrehzahlen auf einem nahezu konstanten Niveau gehalten wird (Konstantdruckanlage). Die hier gezeigte Anlage arbeitet in einem geschlossenen Kreis, d.h. das vom Verbraucher zurückfließende Öl wird direkt zur Niederdruckseite der Verstellpumpe geleitet. Pumpe B (Konstantpumpe) arbeitet als Speisepumpe und fördert ihr Öl ebenfalls zur Niederdruckseite der Pumpe A. Vom Niederdruckkreis, in dem auch ein konstanter Druck (hier 10 bar) herrscht, werden auch die Niederdruckverbraucher versorgt.

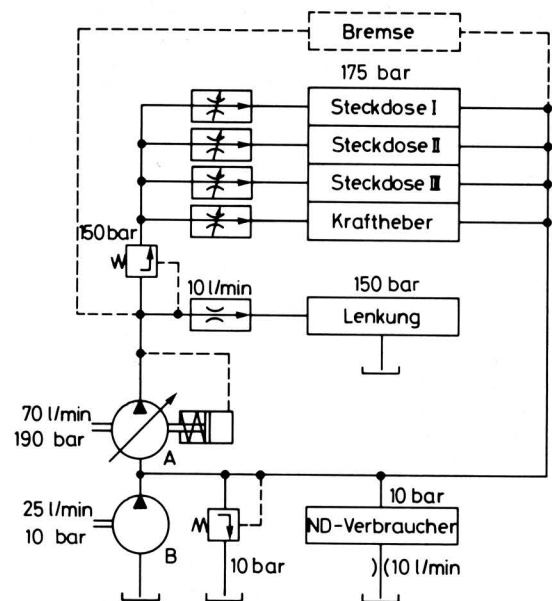


Bild 9. Konstantdruckanlage.

Der Anschluß einer Bremsanlage wäre zusammen mit dem der Lenkung vor dem Zuschaltventil im Hochdrucksystem anzuordnen, um die vorrangige Versorgung zu gewährleisten. Das für Konstantstromanlagen erforderliche Speicherladeventil könnte in diesem System entfallen, da in der Anlage ständig nahezu konstanter Druck herrscht. Das Stromregelventil vor der Lenkung sorgt auch bei wechselndem Druckbedarf der Lenkung für einen konstanten Ölstrom während der Lenkbewegung.

Alle funktionellen Forderungen lassen sich mit dieser Anlage erfüllen. Den Steuerventilen vorgeschaltete einstellbare Stromregelventile regeln die Verbrauchergeschwindigkeit. Wird allen Steuerventilen ein Stromregelventil vorgeschaltet, so ist ein rückwirkungs-freier gleichzeitiger Betrieb aller Verbraucher bis zum maximalen Förderstrom der Pumpe möglich. Die Druckdifferenz zwischen Systemdruck und dem jeweiligen Verbraucherdruck fällt dann an den Stromregelventilen ab.

Wie bei den Konstantstromanlagen sind auch bei dieser Anlage die Verluste im Teillastbereich hoch. Bei angeschlossenen Dauer-verbrauchern mit geringem Druckbedarf fällt die Differenz zwischen System- und Verbraucherdruck ständig am Stromregelventil ab, was zu Verlusten und damit auch zur Ölerwärmung führt.

Im unteren Teil von Bild 10 ist der Schaltplan einer hydrostatischen Lenkung gezeigt, die von einer stromgeregelten Ver-stellpumpe B versorgt wird. Ein ähnliches System ist bei einem deutschen Schlepperhersteller für seine allradgelenkten Schlepper bereits eingeführt. Die Lenkung wird somit – unabhängig von der Motordrehzahl – immer mit einem konstanten Ölstrom versorgt. Dieser Ölstrom wird an einer Meßblende a gemessen und von einem Regelventil RV, das den Pumpenförderstrom verändert, immer auf konstanten Wert geregelt. Die Verluste dieser Anlage sind gering, vor allem auch dann, wenn der Lenkzylinder gegen Anschlag gefahren wird. Bei einer Konstantstromanlage wird in diesem Falle der Ölstrom über ein Druckbegrenzungsventil abgeblasen. Hier reduziert das Regelventil den Ölstrom und den Systemdruck der Pumpen auf Minimalwerte.

Die Niederdruckverbraucher können dennoch ständig völlig un-abhängig mit Drucköl versorgt werden, wenn man deren Ölstrom vor der Meßblende abzweigt. An einem Druckregelventil b wird der Niederdruck (hier 10 bar) geregelt, wenn der Pumpenregel-druck (Stand-by-Druck, hier 15 bar) höher ist als der Niederdruck.

Die Verstellpumpe B muß bei Leerlaufdrehzahl den zur Lenkung fließenden Ölstrom (hier 10 l/min) und zusätzlich den für die Niederdruckverbraucher notwendigen Ölstrom fördern können. Die Anordnung der Anhängerbremsanlage wäre in Anlehnung an die zuerst beschriebenen Konstantstromanlagen in diesem Kreise mög-lich. Ausgeführte Anlagen in dieser Form sind allerdings nicht be-kannt; auch müßte die Einhaltung der gesetzlichen Voraussetzungen überprüft werden.

Die Arbeitshydraulikverbraucher werden von einer eigenen druck- und stromgeregelten Verstellpumpe A (Load-Sensing-Sy-stem) versorgt. Der Pumpenförderstrom wird durch ein Regelventil RV derart geregelt, daß der Druckabfall über Steuerventil und Drossel – unabhängig vom Verbraucherdruckbedarf – immer konstant ist. Damit ist der Pumpendruck (hier maximal 190 bar) immer um den Regeldruck (Stand-by-Druck, hier 15 bar) höher als der tatsächliche Lastdruck. Durch eine Druckauswahlschaltung mit Rückschlagventilen, die im Bild 10 nur angedeutet ist, wird der jeweils höchste Lastdruck auf das Regelventil gemeldet. Jedem Steuerventil müßte zusätzlich eine Druckwaage vorgeschaltet wer-den, wenn man ständiges Nachregeln bei gleichzeitigem Betrieb mehrerer Verbraucher vermeiden will [10].

Mit dieser Anlage können alle funktionellen Forderungen mit den geringsten systembedingten Verlusten erfüllt werden. In Neutral-stellung aller Wegeventile sind sowohl Pumpenförderstrom als auch Pumpendruck und damit die systembedingten Verluste gering. Die Begrenzung der gewünschten Verbrauchergeschwindigkeit ist mit den vorgeschalteten Drosseln einfach und verlustarm. Je kleiner der Drosselquerschnitt, um so kleiner wird die Maximalgeschwin-digkeit des entsprechenden Verbrauchers.

5. Zusammenfassung

Mit der Erweiterung der Anwendungsbereiche der Hydrostatik in der Landtechnik ist der Wunsch der Landmaschinenhersteller eng verknüpft, den Schlepper als leistungsfähige zentrale hydraulische Antriebseinheit für sämtliche Verbraucher einzusetzen. Es steigen die leistungsmäßigen, vor allem aber die funktionellen Anfor-derungen an das hydraulische Antriebssystem. Hydraulische Steck-dosen müssen in ausreichender Zahl sowie mit entsprechenden standardisierten Kenndaten zur Verfügung stehen. Insbesondere der Betrieb von Dauerverbrauchern mit unterschiedlichem Volu-menstrom und der Simultanbetrieb mehrerer Funktionen machen eine Verfeinerung des Hydrauliksystems unbedingt erforderlich. Der Anstieg der übertragenen hydraulischen Leistungen beinhaltet weiterhin die Forderung nach einer Reduzierung der Systemver-luste.

Sieht man von den Schleppern mit einer Leistung unter etwa 45 kW ab, die auch künftig mit einer relativ einfachen Konstant-stromanlage allen Anforderungen gerecht werden, so ist für Schlepper über 45 kW die Diskussion zur Systemwahl durchaus offen. Bei der Konstantstromanlage lassen sich durch Optimierung insbesondere die Umlaufverluste wesentlich verringern. Auch ein Simultanbetrieb sowie eine stufenweise Fördermengen-anpassung durch Zusammenschaltung von mehreren Kreisläufen ist möglich. Eine stufenlose unabhängige Förderstromregelung kann jedoch nur mittels Stromregel- bzw. Stromteilerventilen erfolgen. Beson-ders hier lassen sich die gestellten Anforderungen mit einem druck- und stromgeregelten Verstellpumpensystem gut erfüllen. Der Schwenkwinkel der Pumpe paßt sich differenzdruckgesteuert dem Verbraucherbedarf verlustfrei an. Als Nachteil sind der höhere Preis sowie eine durch eine verfeinerte Technik bedingte höhere Anfälligkeit einer derartigen Anlage anzusehen.

Um zu einem Kosten-Nutzen-Vergleich zu gelangen, wurden be-reits theoretisch Systemvergleiche bezüglich der Energieverluste durchgeföhrt [9]. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind aller-dings im wesentlichen abhängig von den zugrunde gelegten Be-triebsbedingungen. Repräsentative Lastannahmen bzw. Arbeits-spiele unter realen Arbeitsbedingungen liegen noch nicht vor, so daß absolute Empfehlungen für die Systemwahl nicht getroffen

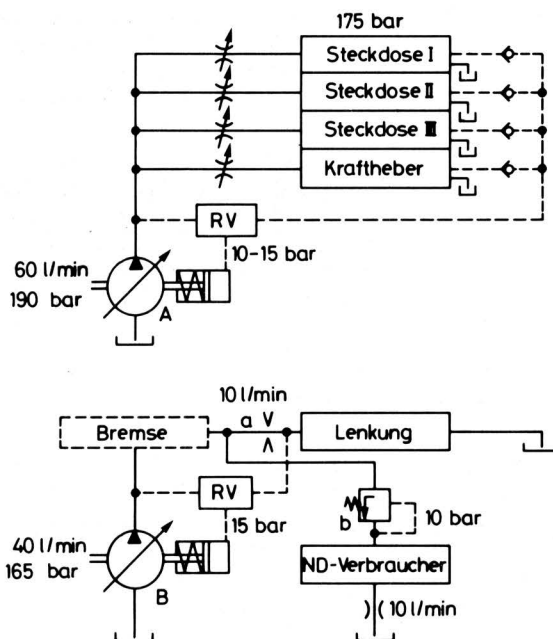


Bild 10. Druck- und stromgeregeltes Verstellpumpensystem (Load-Sensing-System).

werden können. Derartige Untersuchungen sind allerdings am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig in Vorbereitung. Sollte die Entwicklung zu einem zentralen hydraulischen Antriebssystem auf dem Schlepper hingehen, so sind jedoch insbesondere beim Einsatz von Dauerverbrauchern die Vorteile eines Load-Sensing-Systems nicht zu übersehen.

Schrifttum

- [1] Anonym: dlz – Typentabelle Traktoren. dlz – die landtechnische Zeitschrift Bd. 29 (1979) Nr. 9, S. 1192/1235.
- [2] Harms, H.-H.: Stand und Entwicklung der Schlepperhydraulik. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 3, S. 95/99.
- [3] Garbers, H. u. H.-H. Harms: Energieeinsparung auch bei der Hydraulik in Ackerschleppern? Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 3, S. 125/28.
- [4] Röthemeyer, H.: Stand und Entwicklung der Hydraulik in Ackerschleppern. Unveröffentlichte Diplomarbeit D 186 am Institut für Landmaschinen der TU Braunschweig 1980.
- [5] Volgt, C.: Welche Schlepper für welchen Betrieb? Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 148/50.
- [6] Regenbogen, H. u. G. Baucke: Einsatz zapfwellengetriebener Maschinen und Geräte in der Landwirtschaft. Landtechnik Bd. 32 (1977) Nr. 5, S. 189/95.
- [7] Dohne, E.: Frontkraftheber. Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 11, S. 502/504.
- [8] Scheufler, B.: Forderungen angehängter Landmaschinen an die Schlepperhydraulik. Vortrag anlässlich der Internationalen Tagung Landtechnik des VDI am 13./14. Nov. 1980 in Neu-Ulm.
- [9] Hesse, H.: Vergleich der Energieverluste von Hydrauliksystemen für Ackerschlepper. Bosch-Hydraulik System-Information K6 / VLH vom 4.9.1980.
- [10] Harms, H.-H. u. B. Scheufler: Ölhydraulische Antriebe und Steuerungen in der Landtechnik. Ölhydraulik und Pneumatik Bd. 24 (1980) Nr. 11 in Vorbereitung.

Die praktische Nutzung dielektrischer Stoffeigenschaften – auch für den Bereich der Landwirtschaft

Von Heinz-Jürgen Ahlgrimm, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 633/634.004.12:637.004.12:621.317.33

Die dielektrischen Stoffeigenschaften können für eine Reihe von Anwendungen im landwirtschaftlichen Bereich eingesetzt werden. Mit ihrer Hilfe ist nicht nur das Bestimmen von Inhaltsstoffen, von Feuchtegehalt und Produktqualität möglich, sondern sie können auch zur Steuerung bzw. Regelung von Produktionsprozessen genutzt werden.

Die Einsatzmöglichkeiten der dielektrischen Erwärmung sind besonders zahlreich: Trocknung landwirtschaftlicher Stoffe, Aufbereitung von Stoffen, Reduktion der Hartschaligkeit von Saatgut, Abtötung von Krankheitserregeren und Schadinsekten und weitere Möglichkeiten.

1. Einleitung

Die dielektrischen Eigenschaften von Stoffen, die weitgehend mit dem atomaren bzw. molekularen Aufbau der Stoffe zusammenhängen, können durch verschiedene Anwendungsmöglichkeiten in Wissenschaft, Technik und Produktion genutzt werden. Auch für landwirtschaftliche Stoffe und Nahrungsmittel bestehen solche Anwendungsmöglichkeiten, die jedoch nur zu einem geringen Teil bekannt sind.

In diesem Beitrag sollen daher nach einer kurzen Einführung in die theoretischen Zusammenhänge in der Praxis erprobte bzw. denkbare Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt bzw. Anregungen gegeben werden. Hierbei stehen Anwendungen im landwirtschaftlichen Bereich und für Nahrungsmittel im Mittelpunkt.

Diese Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie soll vielmehr mit Hilfe der zitierten Fachliteratur einen Überblick über die Möglichkeiten und Anregungen für weitere Anwendungen geben.

2. Einige grundlegende Zusammenhänge

Die Struktur von Atomen und Molekülen eines Stoffes bestimmt die dielektrischen Stoffeigenschaften (siehe Lehrbücher der Physik wie z.B. Grimsehil Bd. II und IV [1], oder von Hippel [2], Hasted [3]) weitgehend. Die grundlegenden Erscheinungen wurden vom Verfasser bereits dargestellt [4].

Sieht man von verschiedenen Sonderformen der dielektrischen Polarisation, wie z.B. von denen durch Raumladungen, an Grenzflächen und Membranen usw., ab (die für zahlreiche Effekte jedoch häufig auch verantwortlich sind), so läßt sich die komplexe (frequenzabhängige) Dielektrizitätskonstante ϵ^* eines Stoffes für einen großen Frequenzbereich durch folgende Beziehung darstellen:

$$\frac{\epsilon^* - 1}{\epsilon^* + 2} = \frac{\rho N_L}{3\epsilon_0 M} \left(a_e + a_a + \frac{\mu^2}{3kT} \cdot \frac{1}{1 + j\omega\tau} \right) \quad (1).$$

Darin sind a_e und a_a die Anteile zur Polarisierbarkeit eines Materiebausteins (Atom, Molekül, Molekülgruppe usw.) durch

Verzerrung der Elektronenhülle (Elektronenpolarisation) gemäß Bild 1 – a_e ,

Verschiebung von Atomen, Ionen, Molekülgruppen usw. (atomare Polarisation oder Verschiebungspolarisation) gemäß Bild 2 – a_a .

Diese beiden, nahezu trägheitslosen Formen der Polarisation treten für alle Stoffe, also auch für nichtpolare Stoffe, unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes auf.

*) Dr. rer. nat. H.-J. Ahlgrimm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.