

Thema

Bremsanlagen an selbstfahrenden Land- und Transportmaschinen (Teil I)

Autoren

Dr.-Ing. D. Bergmann, KDT, VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Betriebsteil Dresden
 Dr.-Ing. J. Rothe, KDT, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, Stammbetrieb, Betriebsteil Automatisierungstechnik Leipzig
 Dr.-Ing. H. Schulz, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

1. Einleitung

Die ständig zunehmende Mechanisierung in der Landwirtschaft der DDR hat zu einem hohen Bestand an landwirtschaftlichen Fahrzeugen und zwangsläufig auch zu deren verstärkter Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr geführt. Die Landwirtschaft verfügt gegenwärtig über 160000 Traktoren, 55000 GKW, 290000 Anhänger sowie über 40000 selbstfahrende Erntemaschinen und Spezialfahrzeuge [1]¹⁾.

Neben den von GKW und Traktoren ausgeführten traditionellen Transportaufgaben hat das Umsetzen von selbstfahrenden Landmaschinen und Aggregaten der verschiedensten Art und Größe einen nicht zu unterschätzenden Anteil im öffentlichen wie im innerbetrieblichen Verkehr erreicht.

Die Bremsfunktionen und die diesbezüglichen Fragen der Fahrstabilität und -sicherheit sind neben anderen Hauptkriterien der Verkehrssicherheit auch für landwirtschaftliche Fahrzeuge (Traktoren und selbstfahrende Landmaschinen) von besonderer Bedeutung. Von der absoluten Zuverlässigkeit und leichten Bedienbarkeit hängt in hohem Maß die allgemeine Sicherheit im Straßenverkehr ab. Die extrem unterschiedlichen Fahrbahnverhältnisse und die dementsprechend besonderen fahrmechanischen Anforderungen an Fahrzeuge in der Landwirtschaft haben zu einer Spezifik geführt, die auch in der Bremsproblematik ihren Niederschlag findet und eigene Kriterien hat. So gelten für landwirtschaftliche Fahrzeuge im wesentlichen auch spezielle Vorschriften und Festlegungen, und vor allem für die nur an einer Achse gebremsten selbstfahrenden Landmaschinen und Aggregate ergeben sich besondere Bedingungen zur Auslegung der Bremsanlage. Im folgenden soll ein Überblick über Aufgaben, Bremsarten sowie einige Grundlagen und Bauelemente der Bremsentechnik gegeben werden. Zur Berechnung von Betriebsbremsanlagen wird auf [2] verwiesen. Auf die Bremsentechnik von Straßenfahrzeugen, vor allem bei Anhängerbetrieb – d. h. auch Traktoren betreffend –, wird nicht eingegangen.

2. Aufgaben der Bremsen

Die Bedeutung der Bremsen für die Fahrsicherheit ist unbestritten. Meist sind die Fahrzeugbremsen für höhere als die vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Verzögerungen ausgelegt, da im Betrieb durch Abnutzung und mögliche starke Erwärmung die Bremswirkung etwas nachläßt. Die Aufgaben der Bremsen sind:

- Verringern der Geschwindigkeit allgemein und bis zum Stillstand (Haltebremsung)
- Konstanthalten einer Geschwindigkeit, z. B. bei Talfahrten
- Sichern der Fahrzeuge im Stillstand gegen unbeabsichtigtes Bewegen
- Unterstützen oder Ausführen von Lenkbewegungen (Lenkbremsen).

Als Bremsvorgänge werden bezeichnet:

- Stoppbremsung mit den Grenzmöglichkeiten als Voll- oder Gefahrenbremsung oder als Haltebremsung allgemein; im ersten Fall handelt es sich um eine Bremsung, bei der die maximal mögliche Verzögerung genutzt wird oder genutzt werden muß, im zweiten Fall um eine Bremsung bis zum Stillstand an vorgeschriebenen oder vom Fahrer festgelegten Haltestellen
- Konstantbremsung; hier geht es um das Gleichbleiben einer Ge-

schwindigkeit, wenn das Fahrzeug durch eine äußere Kraft beschleunigt wird

- Verzögerungsbremsung; das ist die am häufigsten vorkommende Bremsung, z. B. zum Vermeiden von Auffahrunfällen, zum Einhalten von Richtgeschwindigkeiten, zum Verringern der Geschwindigkeit vor Kurvenfahrten u. a.

Entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen (§ 17 der 3. DB der StVZO, Gesetzblatt-Sonderdruck Nr. 1312) haben Kraftfahrzeuge eine mit dem Fuß zu betätigende Betriebsbremsanlage und eine Feststellbremse, die mindestens auf zwei Räder wirkt sowie von Hand betätigt wird. Größere GKW mit einer Gesamtmasse von mehr als 12 t müssen in der DDR zur Entlastung der Betriebsbremsen zusätzlich mit einer Dauerbremse ausgerüstet sein. Überwiegend handelt es sich um Motorbremsen, bei denen der Abgasstau durch eine Auspuffdrosselklappe zum Bremsen genutzt wird.

Bild 1

Kräfte am gebremsten Rad (Trommelbremse); F'_{Br} Bremskraft zwischen Rad und Fahrbahn, F_A vertikale Achsbelastung, F_N Normalkraft (Reaktionskraft zu F_A), $F_{R1,2}$ Reibkräfte an der Bremse, $F_{S1,2}$ Spannkraft, F_T Trägheitskraft, d_T Trommeldurchmesser, r_w wirksamer Reifenradius

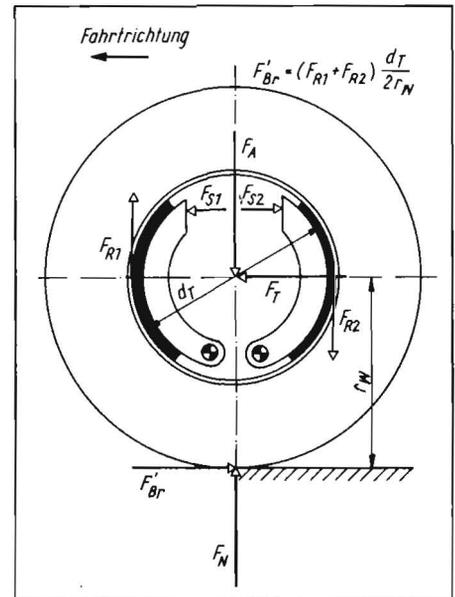
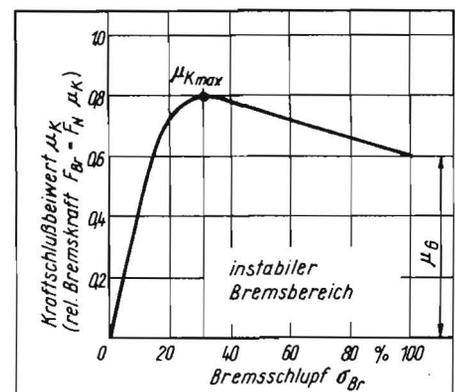


Bild 2

Kraftschluß (bzw. Bremskraft-) -Schlupf-Diagramm



1) Anmerkung der Redaktion: Das komplette Literaturverzeichnis wird zum Abschluß der Artikelreihe veröffentlicht.

3. Prinzip des Bremsens

Das physikalische Prinzip des Bremsens besteht einerseits darin, daß die Bewegungsenergie eines Fahrzeugs oder eines Aggregats in eine andere Energieform – überwiegend in Wärmeenergie – umgewandelt wird. Andererseits müssen eine Kraft oder mehrere Kräfte von außen – entgegengesetzt zur Fahrbewegung – am Fahrzeug angreifen. Ihre Erzeugung ist durch Reibung zwischen Rädern und Fahrbahn möglich. Die Bremsanlage an einem Fahrzeug ist eigentlich nur „Mittel zum Zweck“. Die wirklich verzögernde Kraft tritt in den Kontaktflächen zwischen Rad und Fahrbahn auf. Die Bremse muß so ausgelegt sein, daß die Reibkräfte die gesetzlich vorgeschriebenen Bremswege ergeben. Im Bild 1 sind an einem einzelnen abgebremsten Rad die Zusammenhänge zwischen den Kräften an einer Trommelbremse und der eigentlichen Bremskraft F_{Br} vereinfacht dargestellt. Die erzeugbare Reibkraft (Bremskraft) an gebremsten Rädern hängt nicht nur von der Auslegung der Bremsanlage ab, sondern im besonderen Maß von der Reibung zwischen Rädern und Fahrbahn, d. h. vom Kraftschluß. Im Bild 2 wird tendenziell die Abhängigkeit des Kraftschlußbeiwerts μ_K vom Bremsschlupf σ_{Br} , der beim Erzeugen der Bremskraft auftritt (Formänderungsschlupf), verdeutlicht. Das Maximum des Kraftschlußbeiwerts μ_K und damit auch das der Bremskraft F_{Br} wird bei relativ geringem Schlupf σ_{Br} erreicht, während die minimale Haftung (Gleitbeiwert μ_G) bei einem Bremsschlupf von 100% liegt (Räder blockieren und gleiten).

4. Bremseneinteilung

Vom Gesetzgeber wird festgelegt, welche Bremsen an Fahrzeugen zu verwenden sind. Damit ist eine grobe Einteilung nach den Aufgaben am Fahrzeug, nicht aber nach technisch-physikalischen Ge-

sichtspunkten gegeben. Danach wird zwischen Reibungsbremsen und dynamischen Bremsen unterschieden (Bild 3).

Die an landwirtschaftlichen Fahrzeugen noch vorherrschende Form der Reibungsbremsen sind Trommelbremsen als Innenbackenbremsen. Lediglich bei den Traktoren der MTS-Baureihe werden Vollscheibenbremsen mit „künstlicher“ Selbstverstärkung verwendet. Damit ist neben der Einteilung nach den Betätigungs- und Übertragungseinrichtungen auch die Lage und Form der Bremsflächen von Interesse, vor allem die Abstützung der Backen und Bremselemente. Trommelbremsen werden besonders nach der Anordnung und Lagerung der Bremsbacken im Bremsschild (Bremsssysteme) und nach den angewendeten Spanneinrichtungen (Spreizglieder) eingeteilt und bewertet (Bild 4). Nach Art der Backenabstützung im Bremsschild werden Dreh- und Schwimmbacken unterschieden (Bild 5). Bei der Drehbacke wird die Bremsbacke auf einem Bolzen drehbar gelagert. Schwimmbacken als Gleit- und Lenkerbacke haben keinen festen Drehpunkt im Bremsschild. Mit der Gleitbacke werden eine gleichmäßigere Druckverteilung (Bild 6) und Abnutzung des Bremsbelags gegenüber der Drehbacke erreicht.

Nach den aufgeführten Anordnungen und bezogen auf die Drehrichtung der Bremsstrommel bei Vorwärtsfahrt werden die Trommelbremsen wie folgt unterschieden:

- Simplexbremse
- Duplexbremse
- Servobremse
- Duo-Servobremse.

Simplexbremse (Bild 7a)

Ihre beiden Bremsbacken werden auf der gleichen Seite gegen die Bremsstrommel gedrückt und stützen sich in einem gemeinsamen oder in getrennten Lagern ab. Obwohl auf beide Backen eine gleichgroße Kraft einwirkt, bremsen sie verschieden stark. Die umlaufende

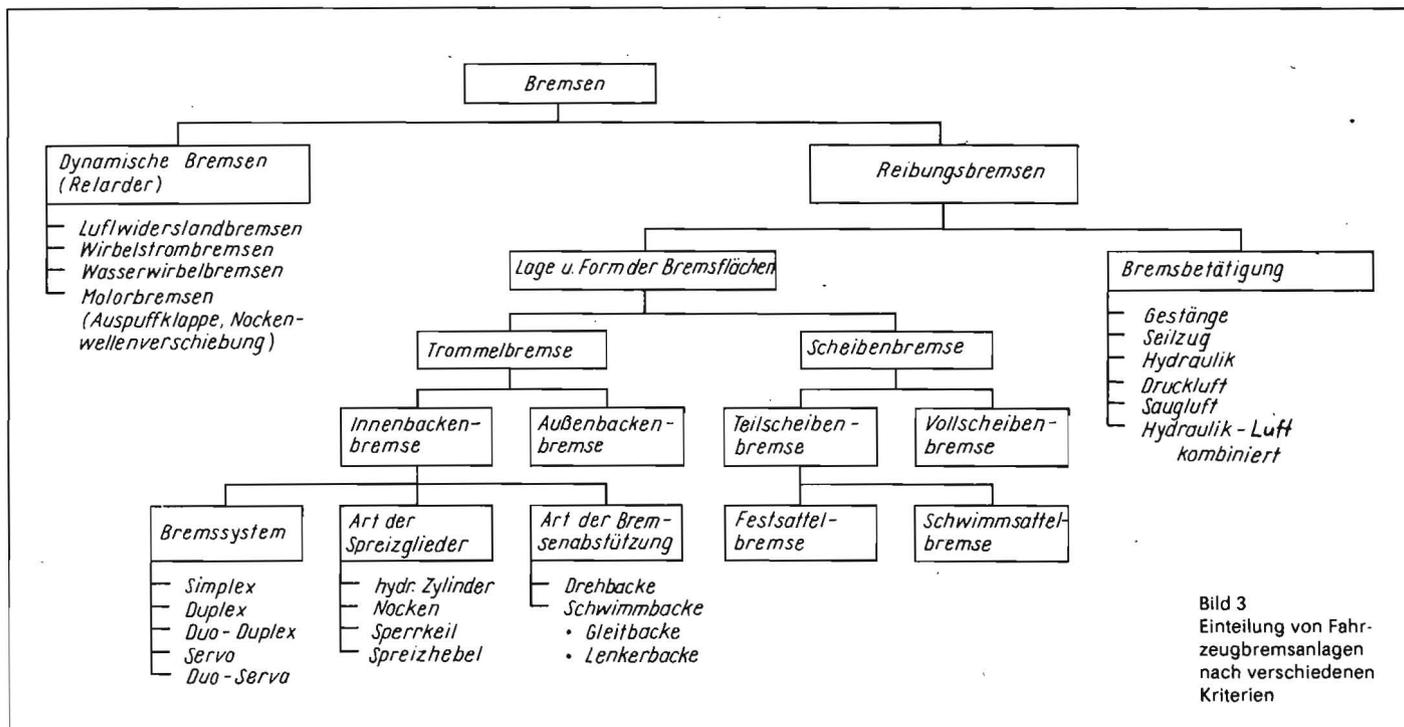


Bild 3
Einteilung von Fahrzeugbremsanlagen nach verschiedenen Kriterien

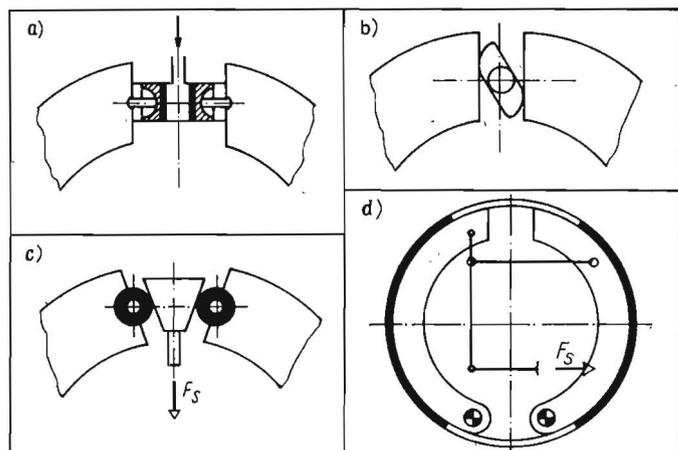


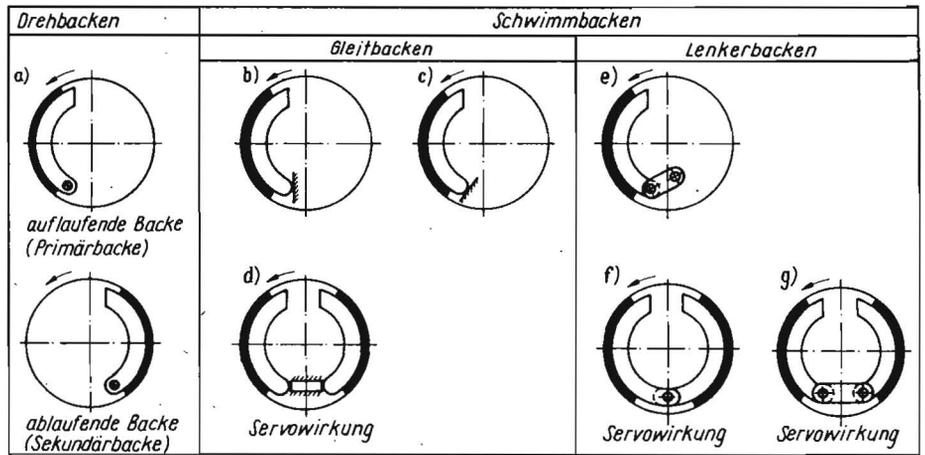
Bild 4. Spanvorrichtungen (Spreiz- oder Zuspannglieder für Trommelbremsen); a) Radzylinder, b) Evolventennocken, c) Spannkeil (schwimmend), d) Spreizhebel

Trommel will durch die entstehende Reibung die Backen mitnehmen. Dadurch wird die in Fahrtrichtung liegende Backe noch zusätzlich gegen die Bremsstrommel gepreßt, während die gegenüberliegende Backe in ihrer Bremswirkung geschwächt wird. Damit übernimmt die „auflaufende“ Backe etwa $\frac{3}{4}$ und die „ablaufende“ Backe nur etwa $\frac{1}{4}$ der Bremsleistung. Die Simplexbremse ist einfach im Aufbau und hat in beiden Fahrtrichtungen die gleiche Wirkung.

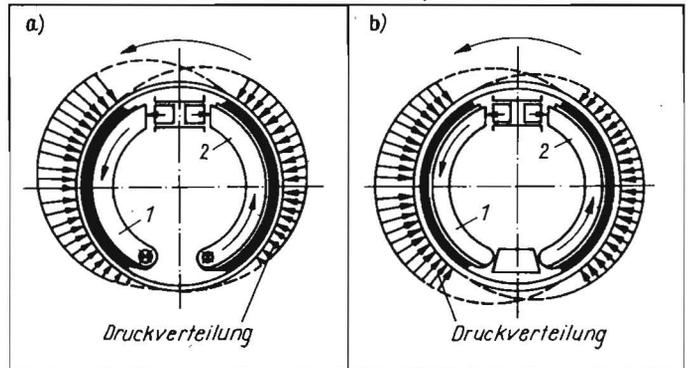
Duplexbremse (Bilder 7b und c)

Sie hat zwei „auflaufende“ Bremsbacken und erreicht dadurch etwa die 1,5fache Wirkung der Simplexbremsen. Benötigt werden zwei Spreizelemente, die einander gegenüberliegen. Nachteilig ist, daß bei Rückwärtsfahrt zwei „ablaufende“ Backen vorhanden sind, so daß gegenüber einer Simplexbremse nur die halbe Bremsleistung erreicht wird.

- Bild 5. Bauformen der Bremsbackenabstützung;
 a) Drehbacken (auf- und ablaufend),
 b) Gleitbacke mit Senkrechtabstützung,
 c) Gleitbacke mit Schrägabstützung,
 d) Gleitbacke mit Servowirkung,
 e) Lenkerbacke,
 f) Lenkerbacke mit Drehgelenk,
 g) Lenkerbacke mit Servowirkung



- Bild 6. Größe und Verteilung der Flächenpressung am Bremsbelag in Abhängigkeit von der Backenanordnung und -abstützung; a) Drehbacken, b) Gleitbacken; 1 auflaufende Backe (Selbstverstärkung), 2 ablaufende Backe (Selbstschwächung)



- Bild 7. Ausführungsformen von Innenbacken-Trommelbremsen (Bremsysteme); a) Simplexbremse, b) Duplexbremse, c) Duo-Duplexbremse, -d) Servobremse mit Drehgelenk und Drehbacke, e) Duo-Servobremse mit Drehgelenk, f) Duo-Servobremse mit Gleitbacken

Servobremse (Bild 7d)

Sie wird auch als Vollbremse bezeichnet. Sie vereint die Vorteile von Simplex- und Duplexbremse in sich, indem die Abstützung der beiden Backen „schwimmend“ ausgeführt ist. Die „auflaufende“ Backe überträgt ihre Abstützkraft, die sonst vom Bremschild aufzunehmen ist, durch eine gelenkige Verbindung auf die „ablaufende“ Backe und verstärkt deren Anpreßkraft. Bei Rückwärtsfahrt wirkt die Bremse immer noch als Simplexbremse.

Duo-Servobremse (Bilder 7e und f)

Sie ergibt in beiden Fahrtrichtungen die volle gleiche Bremsleistung, weil beide Backen gespreizt werden und die Abstützkraft auf die Backen wechselseitig übertragen wird. Sie ist die zweckmäßige Fahrzeugtrommelbremse.

Angestrebt wird auch die zunehmende Anwendung von Scheibenbremsen bei GKW. Die Scheibenbremsen zeigen gegenüber Trommelbremsen wegen der konstanten Bremsempfindlichkeit und einer relativ geringen Bremsenübersetzung eine geringe Neigung zum Blockieren der gebremsten Räder. Die geringere innere Übersetzung ist mit ein Grund dafür, daß sie bei GKW nur zögernd eingeführt werden. Eine größere Übersetzung der Bremsenbetätigung kann diesen Nachteil beseitigen.

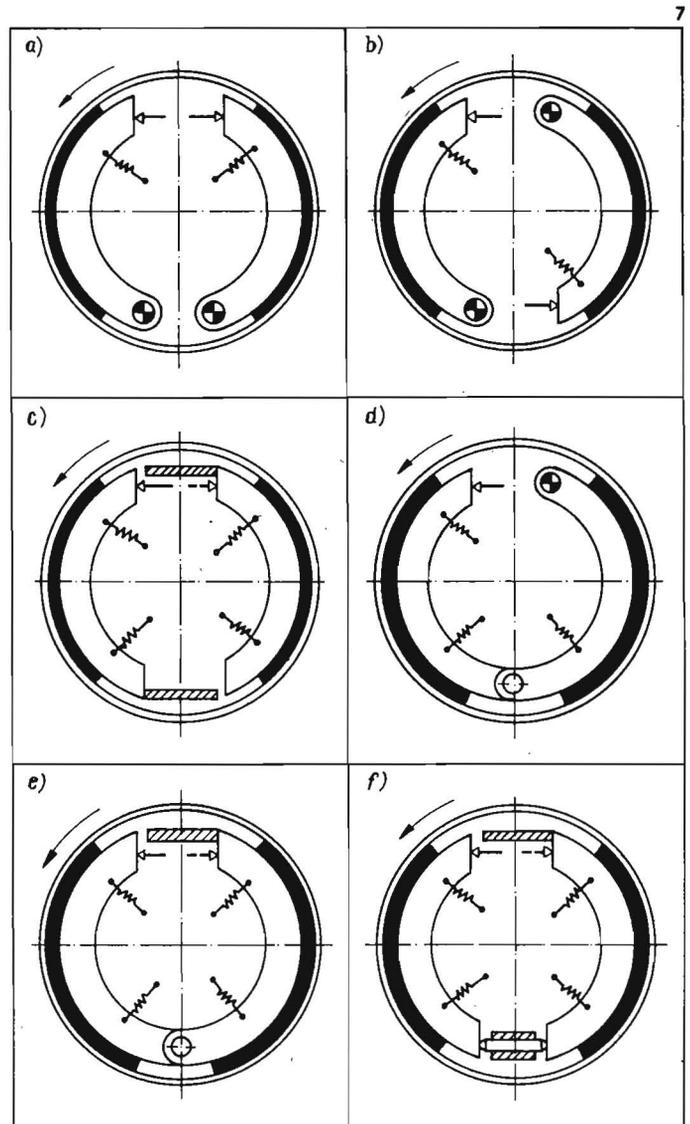
Scheibenbremsen werden im wesentlichen nach der Größe der Bremsenflächen, bezogen auf die umlaufende Bremscheibe, unterschieden. Danach gibt es Teilscheiben-(Sattel-) und Vollscheibenbremsen. Die Betriebsbremsen als wichtigste Fahrzeugbremsen werden nach den verwendeten Übertragungseinrichtungen und nach der Anzahl der Bremskreise unterteilt.

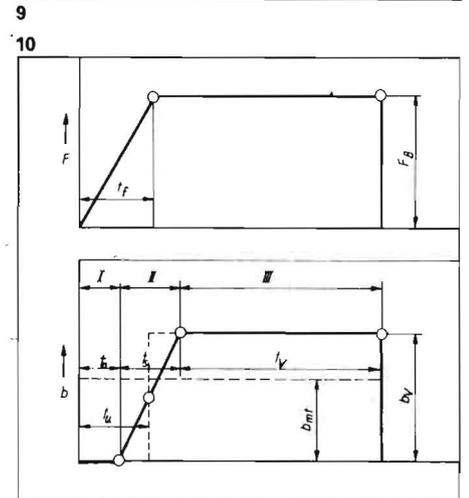
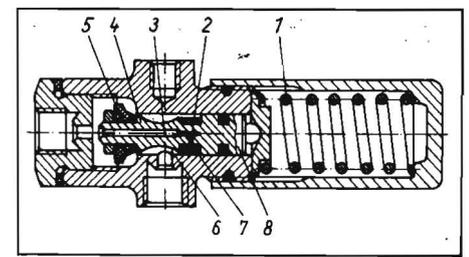
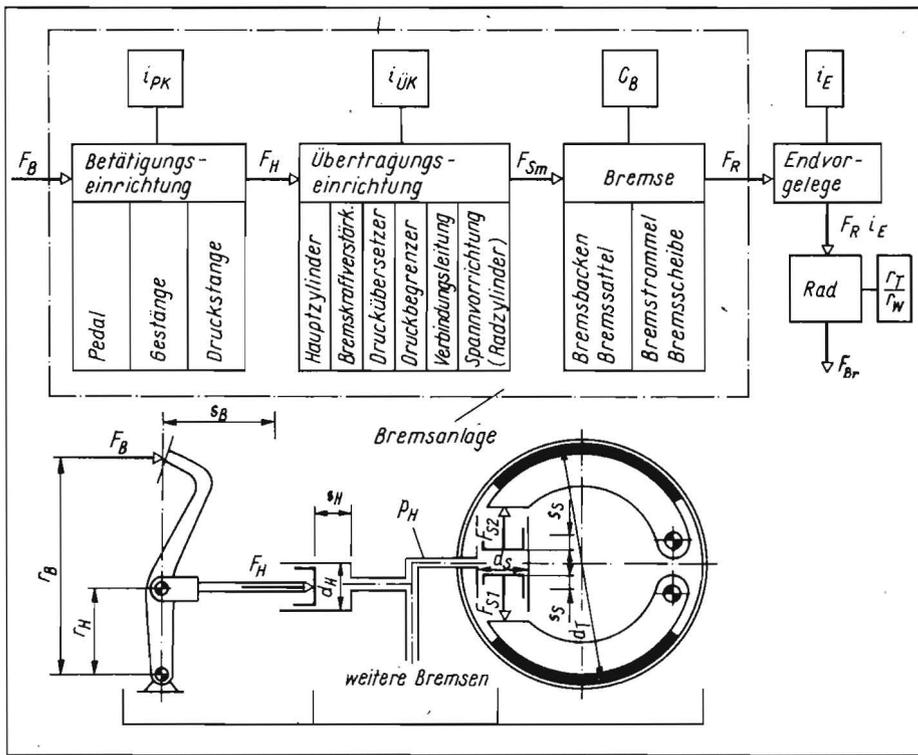
5. Bremsanlage

Jede Bremsanlage besteht aus der Betätigungseinrichtung (Pedalwerk), der Übertragungseinrichtung und der Bremse (Bild 8) [2].

Die Übertragungseinrichtung (hydraulisch) umfaßt vom Hauptzylinder bis zur Spanneinrichtung (Radzylinder) alle Bauelemente der Kraftübertragung auf die eigentliche Bremse, einschließlich Bremskraftverstärker, -übersetzer, -begrenzer und -verteiler, falls diese zum Einsatz kommen.

Bei hydraulisch betätigten Bremsanlagen mit Hilfskraftunterstützung wird die Druckstangenkraft (vom Pedal kommend) durch einen Verstärker erhöht, wobei sich das Verstärken nach dessen Kennlinie richtet. Bis zum sog. Aussteuerungspunkt erfolgt i. allg. eine lineare Verstärkung der Pedalkraft P_B (Betätigungskraft), darüber hinaus wird die Pedalkraft nicht mehr verstärkt und wirkt direkt. Werden mehrere Achsen gebremst, kann der hydraulische Druck für die Hinterradbremmen geregelt werden. Dadurch wird infolge besserer Kraftschlußausnutzung (s. Bild 2) an den gebremsten Rädern ein höheres Bremsvermögen erreicht. Die Druckregelung erfolgt dabei durch einen Druckübersetzer (Bild 9). Die Bremskräfte eines allradgebremsten Fahrzeugs können auch durch einen Druckbegrenzer an der Hinterachse geregelt werden. Ferner werden Druckbegrenzer in





8 selbstfahrenden Landmaschinen verwendet, bei denen nur mit den Vorderrädern gebremst wird. Hier wird die maximal mögliche Verzögerung begrenzt, um beim Bremsen ein Kippen der Maschine in Fahrtrichtung zu vermeiden.

Als eigentliche Bremsen kommen an landwirtschaftlichen Fahrzeugen die im Abschnitt 4 aufgeführten Bauformen (Bremsysteme) zur Anwendung, z. B. die Duo-Duplexbremsen an den Maschinen E512, E301, E280 und die Duo-Servobremse am W50 sowie Scheibenbremsen an den Traktoren der MTS-Baureihe. International nimmt die Anwendung von Scheibenbremsen an Traktoren zu. Zum Vermindern von Wendekreisdurchmesser und Wendezeit auf dem Feld werden die Bremsanlagen bei Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen als sog. Lenkbremssysteme ausgeführt. Während des Lenkens wird dabei das kurveninnere Rad der nicht gelenkten Achse zusätzlich gebremst. Auf öffentlichen Straßen ist der Lenkbremsvorgang nicht zulässig [§ 17 (3c) der 3. DB der StVZO]. Beide Räder der gebremsten Achse müssen hier gleichmäßig bremsen.

Lenkbremssysteme können als Ein- oder Zweipedalanlagen ausgeführt sein. Bei *Einpedalanlagen* wird vor dem Lenkbremsvorgang das jeweils abzubremsende Rad durch ein manuell zu bedienendes Lenkbremsventil vorgewählt. Beim Betätigen des Bremspedals wird nun der Lenkbremsvorgang durch Abbremsen des vorgewählten Rades ausgeführt. Nach Beenden des Lenkbremsvorgangs wird der Wählhebel des Lenkbremsventils durch eine automatische Rückführung wieder in seine Ausgangsstellung gebracht, so daß eine unbeabsichtigte Lenkbremmung nicht möglich ist.

Bei *Zweipedalanlagen* wird das Lenkbremmen durch wahlweises Betätigen eines der beiden Bremspedale für die getrennten Bremsanlagen des rechten oder linken Rades bewirkt. Für das Befahren öffentlicher Straßen sind beide Bremspedale durch eine schwenkbare Klinke miteinander starr zu verbinden.

6. Bremsvorgang

Im Bild 10 ist der für den praktischen Bremsvorgang typische Verlauf der Pedalkraft F_B und die dazugehörige Verzögerung eines Fahrzeugs über der Zeit dargestellt. Kenngrößen dieses Verlaufs sind die Verlustzeit t_u und die Vollverzögerung b_v . Nach ihnen wird eine Bremsanlage konstruktiv ausgelegt. Die Verlustzeit ist wie folgt definiert:

$$t_u = t_a + \frac{t_b}{2} \quad (1)$$

Die Verlustzeit ist von der verwendeten Übertragungseinrichtung einer Bremsanlage abhängig (Tafel 1). Als Vollverzögerung b_v wird die bei maximaler Pedalkraft F_B (Bild 8) erreichbare maximale Verzögerung eines Fahrzeugs bezeichnet. Unter Vereinfachung des in Wirklichkeit nicht stetigen Vorgangs werden beide Größen als konstant betrachtet. Im Bild 10 ist weiterhin die mittlere Verzögerung b_{ms} über der Zeit dargestellt, die allerdings für die Bewertung des Bremsvor-

Bild 8. Blockschaltbild, Anordnung und Übersetzungen der Bremsanlage; F_B Betätigungskraft, F_H Stangenkraft (Kraft am Hauptzylinder), $F_{S1,2}$ Spannkraften, F_{Sm} gesamte Spannkraft, F_R Reibkraft an der Bremse, F_{R1} Bremskraft zwischen Rad und Fahrbahn, s_s Spannwege (Simplexbremse)

Bild 9. Aufbau eines Druckübersetzers (Bremskraftbegrenzer); 1 Druckfeder, 2 Radialbohrung, 3 Axialbohrung, 4 Ringspalt, 5 Plattendichtkegel, 6 Gehäusebohrung, 7 Ausgleichventil, 8 Kolben

Bild 10. Zugeordnete zeitliche Verläufe der Betätigungskraft und der Bremsverzögerung (Bremsvorgang); t_a Ansprechzeit, t_b Betätigungszeit, t_s Schwellzeit einer Bremse

Tafel 1. Richtwerte für die Verlustzeit t_u von Betriebsbremsanlagen mit verschiedenen Übertragungseinrichtungen [2]

Betriebsbremsanlage	t_u s
hydr. Bremsanlage ohne Hilfskraftunterstützung	0,2...0,3
hydr. Bremsanlage mit Hilfskraftunterstützung	0,35...0,45
Druckluftbremsanlage	über 0,45

gangs und das Festlegen diesbezüglicher Forderungen nicht geeignet ist [2]. Der Mittelwert der Verzögerung über dem Weg kann bei einer Bremsprüfung aus der Ausgangsgeschwindigkeit v_f und dem Bremsweg s_b wie folgt ermittelt werden:

$$b_{ms} = \frac{v_f^2}{2 s_b} \quad (2)$$

Die geforderte mittlere Verzögerung über dem Weg steckt mittelbar in der Vorschrift nach § 18 (1) der 3. DB der StVZO (s. Abschn. 8). Über einen vereinfachten Ansatz (Fehler 2%) [2] läßt sich nach [3] der Bremsweg bei vorgegebener Ausgangsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Vollverzögerung und von der Verlustzeit darstellen:

$$s_b = v_f t_u + \frac{v_f^2}{2 b_v} \quad (3)$$

Mit Gl. (2) ergibt sich die dazugehörige mittlere Verzögerung zu

$$b_{ms} = \frac{v_f b_v}{v_f + 2 b_v t_u} \quad (4)$$

Damit ist das Berechnen und Gestalten von Bremsanlagen aus vorgeschriebenen Kennwerten, die durch eine einfache Prüfung nachweisbar sind, möglich.

Fortsetzung im nächsten Heft