

# Grafo-analytisches Verfahren zum Bestimmen des Arbeitspunktes von Beregnungsanlagen unter Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis

Dozent Dr.-Ing. K. Queitsch, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

## Verwendete Formelzeichen

d	m	Rohrinnendurchmesser
g	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
H	m	Förderhöhe, Druckhöhe
k	mm	Rauigkeit des Rohrinernen
l	m	Rohrlänge
p	MPa	Druck
Δp	MPa	Druckverlust
P	kW	hydraulische Leistung
Q, Q <sub>n</sub>	m <sup>3</sup> /h	Förderstrom, Nennförderstrom
Re	—	Reynoldszahl
w	m/s	Strömungsgeschwindigkeit im Rohr
α	s <sup>2</sup> /m <sup>6</sup>	Konstante zum Rohrreibungsverlust
λ	—	Rohrreibungsbeiwert
ν	m <sup>2</sup> /s	kinematische Zähigkeit des Mediums
ρ	g/cm <sup>3</sup>	Dichte der Flüssigkeit

## 1. Problemstellung

Das zusätzliche Beregnen ausgewählter Kulturen trägt in hohem Maß dazu bei, nachteilige Folgen fehlender Niederschläge zu vermeiden, höhere Erträge zu erreichen und zu stabilisieren und insgesamt die Pflanzenproduktion weiter zu intensivieren. Die dazu notwendigen technischen Arbeitsmittel erfordern einen hohen Aufwand an Investitionsmitteln, Material, lebendiger Arbeit und Energie.

Die in der sozialistischen Landwirtschaft eingesetzten hochproduktiven Beregnungsanlagen verlangen neben den Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung eine sachkundige Betriebsweise, um die Funktionssicherheit der Anlagen, die geforderten Qualitätsparameter beim Ausbringen der Beregnungsflüssigkeiten, eine energiesparende Fahrweise und die Erhaltung der Anlagen über lange Zeiträume zu gewährleisten.

Beim Projektieren zu errichtender Anlagen muß u. a. der Bereich sich einstellender Betriebsparameter (Druck, Förderstrom, Leistungsbedarf) vorausbestimmt werden. Dazu sind Berechnungsgrundlagen und -verfahren bekannt, die bis zum Anwenden der EDV reichen.

Bestehende Anlagen besser auszunutzen, den Arbeitszeitaufwand für deren Betrieb zu senken, sowie eine effektivere Betriebsweise zu erreichen, zwingt zu Überlegungen und Maßnahmen der Rationalisierung. Das bedeutet, Anlagen in ihrem projektierten Zustand möglicherweise zu verändern und betrieblichen Gegebenheiten besser anzupassen. Das kann aber auch Überlegungen nach sich ziehen, be-

stehende Anlagen zu erweitern oder oberirdische Teilanlagen durch leistungsfähigere, technisch besser ausgestattete Beregnungsmaschinen zu ersetzen. Auch durch Verändern der Technologie sind Arbeitszeit- und Kostensenkungen erreichbar. So ist z. B. das Überprüfen des sich einstellenden Betriebspunktes eine erste grundlegende Maßnahme, um die Fahrweise vorhandener Anlagen so zu verändern, daß dieser dem Nennarbeitspunkt der Pumpstation möglichst nahekommt. Im folgenden wird grundsätzlich davon ausgegangen, daß unterirdische Rohrleitungen weniger einer Veränderung zugänglich sind als oberirdische Anlagenteile. Es wird demnach in Betracht gezogen, vorhandene Pumpstationen und Rohrleitungen mit Anlagenteilen veränderter hydraulischer Charakteristik zu betreiben.

Nachfolgend wird eine wissenschaftliche Methodik vorgestellt, die es den ingenieurtechnischen Kadern der Landwirtschaft gestattet, beabsichtigte maschinentechnische oder technologische Veränderungen im voraus zu untersuchen. Sie ist geeignet, mögliche Fehlentscheidungen und materielle Schäden zu vermeiden, bei geringem Zeitaufwand für eine theoretische Vorausbestimmung der Funktion. Um das Verständnis der Zusammenhänge zu erleichtern, werden die dazu erforderlichen strömungsmechanischen Grundlagen erläutert und an einem praktischen Rechenbeispiel dargestellt.

## 2. Strömungsmechanische Grundlagen

Wichtigste abgeleitete Grundgrößen für den Betrieb von Beregnungsanlagen sind Druck und Förderstrom. Sie bestimmen nach Gl. (1) die hydraulische Leistung:

$$P = pQ \quad (1)$$

Der Förderstrom Q ist maßgebend für die auszubringende Menge Flüssigkeit je Zeiteinheit und als Bestimmungsgröße erforderlich für die Niederschlagsdichte, die Zeitdauer für die Beregnung in einer Position oder für die Fahrgeschwindigkeit kontinuierlich arbeitender Beregnungsmaschinen.

Der Druck p wird durch den Förderstrom im System Pumpe — Rohrnetz — Beregnungsmaschine bestimmt. Er wird zweckmäßig und anschaulich als äquivalente Größe für die Druckenergie als Höhe (Druckhöhe, Förderhöhe) angegeben. Druck- oder Förderhöhe und Druck stehen in folgendem Zusammenhang:

$$H = \frac{p}{\rho g} \quad (2)$$

Der Druck in einem hydraulischen System setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen, die durch die Bernoulli-Gleichung [1] formuliert werden:

$$H_{\text{ges}} = H_{\text{stat}} + H_{\text{geo}} + H_{\text{dyn}} + H_V = \text{konst.} \quad (3)$$

Gl. (3) ist gleichzeitig die Anwendung des Satzes von der Erhaltung der Energie auf hydraulische Vorgänge.

Die statische Förderhöhe  $H_{\text{stat}}$  ist an der Rohrwand senkrecht zur Strömungsrichtung mit

Hilfe eines Manometers und Berechnung nach Gl. (2) bestimmbar. Die geodätische Förderhöhe  $H_{\text{geo}}$  ist die Höhendifferenz eines Punktes im Rohrsystem zu einem Bezugshorizont.

Die dynamische Förderhöhe  $H_{\text{dyn}}$  ist der Anteil, der durch die kinetische Strömungsenergie bestimmt wird:

$$H_{\text{dyn}} = \frac{w^2}{2g} \quad (4)$$

Da im Normalfall die Fließgeschwindigkeit  $w < 3 \text{ m/s}$  betragen soll, wird  $H_{\text{dyn}} < 0,46 \text{ m}$  und damit vernachlässigbar klein.

Die auftretenden Druckverluste werden durch Verlusthöhen  $H_V$  ausgedrückt und sind von mehreren Faktoren abhängig.

Formwiderstände, wie sie durch Verzweigungen an Rohrleitungen, Schieber oder Rohrkrümmer verursacht werden, sollen hier nicht die übliche Berücksichtigung finden. Sie werden durch die Berechnungsmethode für die Rohrreibungsverluste in gewissem Umfang mit erfaßt.

Die Verlusthöhe  $H_V$  wird durch laminares oder turbulentes Fließen beeinflußt. Welche Fließform vorliegt, bestimmt die Reynoldszahl nach Gl. (5) als Bedingung:

$$2300 < Re = \frac{wd}{\nu} \leq 2300 \quad (5)$$

(turbulent) (laminar)

Der Druckverlust in einem Rohr wird wie folgt berechnet:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho w^2 \quad (6)$$

Der Reibungswert  $\lambda$  ist nicht nur von Re abhängig, sondern auch von der Oberflächenrauigkeit des Rohrmaterials, so daß für Beregnungsrohre im allgemeinen ein Übergangsbereich zwischen hydraulisch glattem und rauhem Verhalten des Rohres gilt. Die dafür gültige Gleichung von Colebrook [2] ist explizit nach  $\lambda$  nicht auflösbar, so daß das  $\lambda$ -Re- $\epsilon$ -Diagramm nach Nikuradse [3] eine Hilfe darstellt, aber für das o. g. Anliegen noch zu aufwendig ist. In der Beregnungstechnik genügt Gl. (7) aus [1] voll den Anforderungen, wie sich der Verfasser durch eigene Untersuchungen überzeugt hat. Für Rohrreibungsverluste gilt:

$$H_V = \alpha l Q^2 \quad (7)$$

Die  $\alpha$ -Werte liegen für Rohrdurchmesser d und materialabhängige Rauigkeitswerte k tabellarisch vor [1]. In den k-Werten sind Formwiderstände von Schiebern u. a. in gewissem Umfang berücksichtigt. Die Rechenergebnisse nach Gl. (7) weichen gegenüber Gl. (6) unter Verwendung der Gleichung von Colebrook und Gl. (2) zwischen 0,5% und maximal 5,6% ab. Für die Ermittlung von  $H_V$  gebräuchlicher Rohre sind die erforderlichen  $\alpha$ -Werte in Tafel I angegeben.

Für den Anschluß von Beregnungsmaschinen an eine Rohrleitung gilt die Knotenpunktregel

$$\sum_{i=0}^n Q_i = 0 \quad (8)$$

Fortsetzung von Seite 129

- [2] Kappes, R.: Arbeitswirtschaftliche Berechnungsgrundlagen und ihre Auswertung für die Beregnungstechnologie in teilbeweglichen Beregnungsanlagen der DDR. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR, Promotion B 1973.
- [3] Kappes, R.: Einfluß der Gabenhöhe auf die Arbeitsproduktivität in teilbeweglichen Beregnungsanlagen. Symposium der AdL der DDR zum 30. Jahrestag der DDR, Leipzig, Vortrag 1979.
- [4] Kappes, R., Tischer, H.: Zusatzwasserbedarf für die Bemessung teilbeweglicher Beregnungsanlagen. Melioration und Landwirtschaftsbau (1979) H. 7, S. 317—321. A 2488

Tafel 1.  $\alpha$ -Werte in  $s^2/m^6$  für gebräuchliche Rohre nach [1].

Werkstoff	k-Wert mm	Rohrdurchmesser in mm									
		150	200	250	300	400	500	600	800	1000	
PVC	neu	0,03	21,8 <sup>1)</sup>	4,72 <sup>1)</sup>	—	0,509 <sup>1)</sup>	—	—	—	—	—
	alt	0,1	22,4	4,94	—	0,594	—	—	—	—	—
Asbest- zement	neu	0,4	28,8	6,30	1,96	0,754	0,166	—	—	—	—
	alt	1,0	36,8	7,96	2,44	0,934	0,206	—	—	—	—
Stahl	neu	1,0	—	—	—	—	—	0,0627	0,0240	0,00532	0,00165
		2,0	—	—	—	—	—	0,0755	0,0287	0,00631	0,00195
	alt <sup>2)</sup>	3,0	—	—	—	—	—	0,0852	0,0324	0,00706	0,00218
Guß		3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—

- 1) Werte wurden vom Verfasser berechnet  
2) länger im Gebrauch, verkrustet

Tafel 2. Hydraulische Parameter der RR 125/300; (Montagevariante 4; Düsendurchmesser 12 mm; Zeilen (1) bis (3) aus [4]; Zeilen (4) und (5) berechnet)

(1)	Druckhöhe am Ende der RR	$H_e$	m	30	35	40	45
(2)	Förderstrom einer RR	$Q_r$	m <sup>3</sup> /h	113,0	122,8	131,8	140,7
(3)	Druckhöhenverlust über RR	$H_r$	m	5,7	7,0	7,75	8,6
(4)	$Q_1 = Q_2 = 2 \cdot Q_r$		m <sup>3</sup> /h	226,0	245,6	263,6	281,4
(5)	$H_{L1} = H_{L2} = H_e + H_r$		m	35,7	42,0	47,75	53,6

wobei zufließende Ströme positiv und abfließende negativ einzusetzen sind. Für die Druckhöhen gilt

$$H_0 = H_1 = H_2 = H_L \quad (9)$$

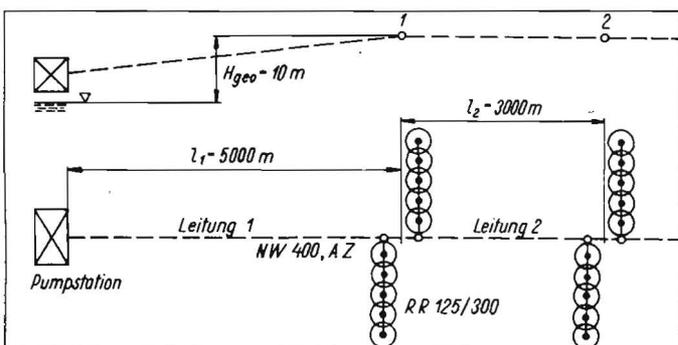
Der Arbeitspunkt einer hydraulischen Anlage ergibt sich als Schnittpunkt der Pumpenkennlinie (Abhängigkeit des Pumpendruckes vom Förderstrom) und der Rohrleitungskennlinie.

### 3. Bestimmen der Rohrleitungskennlinie

Die Methodik zum Bestimmen der Rohrleitungskennlinie wird an einem Beispiel dargestellt, für das folgende Aufgabenstellung gelten soll:

Es ist der Arbeitspunkt einer Beregnungsanlage nach Lageskizze (Bild 1) zu ermitteln. Einsatzbedingungen: Von der Pumpstation führt eine gerade unterirdische Rohrleitung, bestehend aus Leitung 1 und Leitung 2, zu den Beregnungsflächen. An zwei Stellen sollen je zwei rollbare Regnerleitungen RR 125/300 (Montagevariante 4 mit Düsendurchmesser 12 mm an den Regnern) parallel in Betrieb sein. Die an den Regnerleitungen auszubringenden Fördermengen, die anliegenden Druckhöhen, die Gesamtfördermenge, die Anzahl der eingeschalteten Pumpen und die erforderliche Druckhöhe an der Pumpstation sind zu bestimmen.

Bild 1. Lageplan der Beregnungsanlage



Für die einzusetzenden Regnerleitungen wurden aus [4] Angaben entnommen, die Tafel 2 enthält. Zum Vereinfachen der Berechnungen wird angenommen, daß je zwei RR 125/300 an einem Hydranten gemeinsam angeschlossen sind, so daß der Wasserbedarf  $Q_1$  und  $Q_2$  aus  $2Q_r$  ermittelt wird. Die Knotenregel für die Fördermengen ergibt (Bild 2):

Tafel 3. Druckhöhenverluste in der Leitung 2 mit  $l = 3000$  m (berechnet nach Gl. (7) mit  $\alpha = 0,206 \text{ s}^2/\text{m}^6$ )

$Q_2$	m <sup>3</sup> /h	200	250	300
$H_{V2}$	m	1,9	3,0	4,3

Bild 2. Skizze zur Knotenregel auf die Anschlußpunkte 1 und 2 angewendet

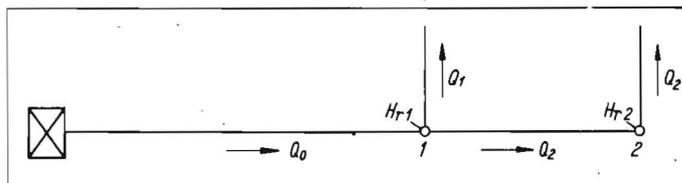
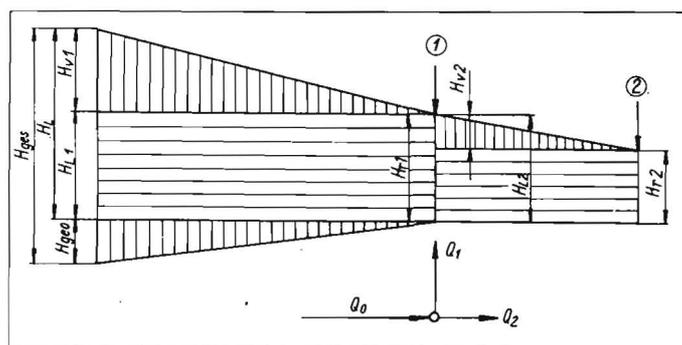


Bild 3. Darstellungshilfe für die Druckhöhenanteile in der Rohrleitung und an den Knoten



$$Q_0 = Q_1 + Q_2 \quad (10)$$

Zum methodischen Vorgehen sei bemerkt, daß grundsätzlich vom entferntest liegenden Verbraucher ausgegangen wird, weil der Druck sich entgegen der Fließrichtung aufbaut. Der Eingangsdruck am Verbraucher 2 wird vereinfachend als statische Druckhöhe entsprechend Gl. (3) betrachtet. Für die Leitung 2 ist nun  $H_{V2}$  nach Gl. (7) zu ermitteln, wobei die Werte  $Q_2$  entsprechend dem in Frage kommenden Bereich nach Tafel 2 gewählt werden. Die berechneten Werte werden für  $k = 1,0$  mm (Rohre sind länger in Gebrauch),  $d = 400$  mm und  $\alpha = 0,206 \text{ s}^2/\text{m}^6$  (s. Tafel 1) in Tafel 3 eingetragen. Am Knoten 1 liegt am Eingang der Leitung 2 eine Druckhöhe  $H_{L2}$ , die sich wie folgt ergibt:

$$H_{L2} = H_{r2} + H_{V2} \quad (11)$$

Zum Veranschaulichen der Druckverhältnisse in der Anlage wird eine qualitative Drucklinie in Skizzenform verwendet (Bild 3).

Der Knotenregel entsprechend Gl. (9) ist:

$$H_{L2} = H_{r1} = H_{L1} \quad (12)$$

Die Druckhöhe  $H_{L1}$  liegt als  $H_{r1}$  am Eingang des Verbrauchers 1 an und muß als statischer Anteil über der Leitung 1 von der Pumpstation aufgebracht werden. Durch die Leitung 1 fließt nach Gl. (10) eine höhere Flüssigkeitsmenge, so daß die Druckverlusthöhen nach Tafel 4 mit größeren Werten  $Q_0$  berechnet werden.

Die für das Verfahren notwendigen Berechnungsgrößen liegen damit vor und werden nun in ein Diagramm als Kurvenzüge (Bild 4) aufgetragen. Aus Tafel 2 wird als erstes der Verlauf  $H_{r2} = H_{r1}$  als Funktion von  $Q_2 = Q_1$  dargestellt. Als nächstes wird die Kurve  $H_{V2} = f(Q_2)$  mit den Werten aus Tafel 3 gezeichnet. Danach wird eine grafische Summation ausgeführt, indem die Ordinatenlängen von  $H_{V2}$  für jeweils gleiche Werte  $Q$  (z. B. 200, 250, 300 m<sup>3</sup>/h) auf der jeweils gleichen Abszisse zu  $H_{r2} = H_{r1}$  addiert (von den

Tafel 4. Druckhöhenverluste in der Leitung 1 mit  $l = 5000$  m (berechnet nach Gl. (7) mit  $\alpha = 0,206 \text{ s}^2/\text{m}^6$ )

$Q_0$	m <sup>3</sup> /h	400	500	600
$H_{V1}$	m	12,7	19,9	28,6

Kurvenpunkten nach oben mit einem Zirkel abtragen) werden. Die so gewonnenen Punkte werden zur Kurve  $H_{L2} = f(Q_2)$  ausgezogen. Nach Bild 3 und Gl. (12) ist für gleiche Druckhöhen eine Summation von  $Q_1$  und  $Q_2$  vorzunehmen.  $H_{L2}$  ist eine Funktion von  $Q_2$  und  $H_{r1}$  eine Funktion von  $Q_1$ . Demzufolge sind die Abszissenwerte der Kurve  $H_{L2}$  zur Kurve  $H_{r1}$  grafisch zu addieren (entsprechende Längen mit Zirkel abtragen). Die entstandenen Punkte werden zur Kurve  $H_{L1} = f(Q_0)$  verbunden.

Aus Tafel 4 werden die Punkte für  $H_{V1} = f(Q_0)$  aufgetragen und verbunden. Da für die Rohrleitungskennlinie

$$H_L = H_{L1} + H_{V1} \quad (13)$$

gilt, wird nach Gl. (13) und Bild 3 eine grafische Summation für gleiche Abszissenwerte  $Q$  (z. B. 400, 450, 500, 550, 600 m<sup>3</sup>/h) ausgeführt. Die Ordinaten von  $H_{V1}$  werden mit Hilfe eines Zirkels von der Kurve  $H_{L1}$  nach oben abgetragen. Nach Verbinden der entstanden Punkte wird die Rohrleitungskennlinie  $H_L = f(Q_0)$  gefunden.

Bisher wurde die geodätische Höhe  $H_{geo}$  nicht berücksichtigt. Da der Höhenunterschied vor dem Knoten 1 liegt, wird  $H_{geo}$  zu  $H_L$  einfach hinzuaddiert, indem die Ordinatenachse um den Betrag von  $H_{geo}$  nach unten verschoben wird (rechts im Bild 4). Das Ergebnis ist nunmehr die Rohrleitungskennlinie für die Betriebsbedingungen, wie sie in der angegebenen Aufgabenstellung formuliert wurden.

#### 4. Arbeitspunkt der Berechnungsanlage

Der Arbeitspunkt einer Berechnungsanlage findet sich im Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der Rohrleitungskennlinie. Pumpendruck am Druckstutzen und Rohrleitungsdruck am Eingang einerseits und Förderstrom der Pumpe mit aufgenommenem Förderstrom der Rohrleitung andererseits müssen im Gleichgewicht stehen, also jeweils gleich sein.

$H_L$  wird nun unter Berücksichtigung der veränderten Ordinatenachse in die Pumpenkennlinie [5], wie im Bild 5 dargestellt, übertragen.

Der Schnittpunkt B mit der Summenkennlinie für zwei Hauptpumpen ergibt die Gesamtfördermenge  $Q_0 = 517,5$  m<sup>3</sup>/h bei einer Druckhöhe von  $H_{ges} = 79$  m. Der Arbeitspunkt B liegt sehr günstig in der Nähe des markierten Nennarbeitspunktes, so daß die Pumpen mit einem optimalen Wirkungsgrad, also energieverbrauchsgünstig, gefahren werden.

Da  $H_{ges}$  auch die Kennlinie für drei Hauptpumpen schneidet, besteht die Möglichkeit, eine höhere Fördermenge von  $Q_0 = 550$  m<sup>3</sup>/h bei einer Druckhöhe von  $H_{ges} = 87$  m zu erreichen. Das gelingt, indem der Druck z. B. durch kurzzeitiges Öffnen eines Hydranten über  $E_3$  abgesenkt wird und sich damit die dritte Hauptpumpe bei Automatikbetrieb zuschaltet. Allerdings ist die geringe Mehrfördermenge von etwa 33 m<sup>3</sup>/h mit einem ungleich höheren Leistungsaufwand verbunden, da die drei Hauptpumpen weit ab vom Nennarbeitspunkt arbeiten und der Wirkungsgrad größenordnungsmäßig um etwa 20% abfällt.

Um nun zu den übrigen Ergebnissen lt. Aufgabenstellung zu kommen, ist in entgegengesetzter Richtung vorzugehen. Mit  $Q_0 = 517,5$  m<sup>3</sup>/h wird im Bild 4  $H_{V1}$ ,  $H_{L1}$  und  $H_L$  anhand der jeweiligen Kurven abgelesen (linke Ordinatenachse). Mit  $H_{L1} = H_{r1}$  wird an der Kurve  $H_{r2} = H_{r1}$  die Fördermenge  $Q_1$  gefunden. Weil  $H_{L1} = H_{L2}$  ist, wird auf der Abszisse der Kurve  $H_{L2}$  der Wert für  $Q_2$  ermittelt.

Auf der gleichen Senkrechten liegen  $H_{r2}$  und  $H_{V2}$ . Aus dem vorliegenden Beispiel wurden folgende Werte bestimmt:

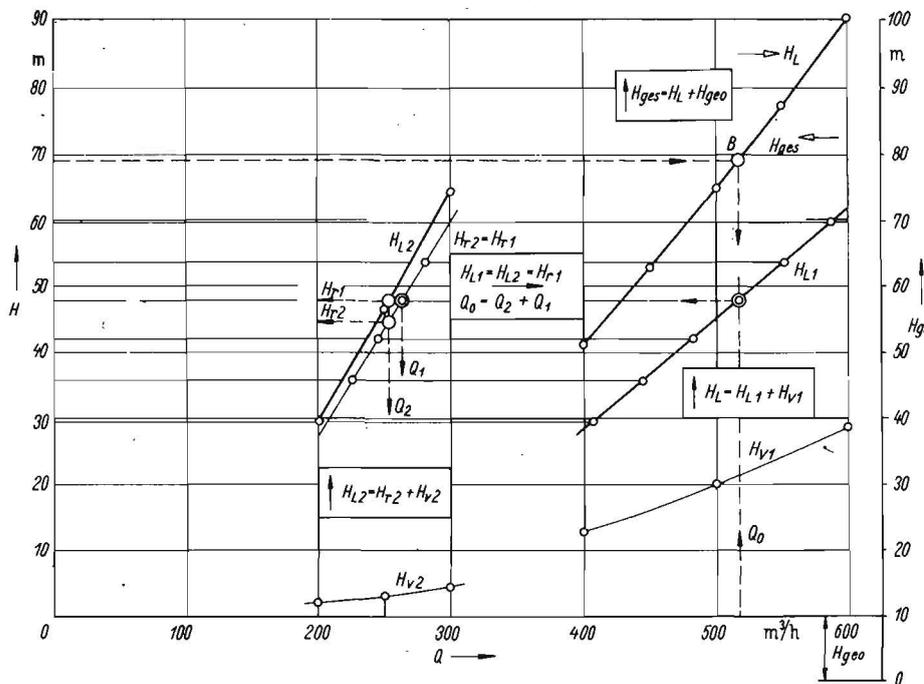


Bild 4. Teilkenlinien und ihre grafische Addition zur Rohrleitungskennlinie

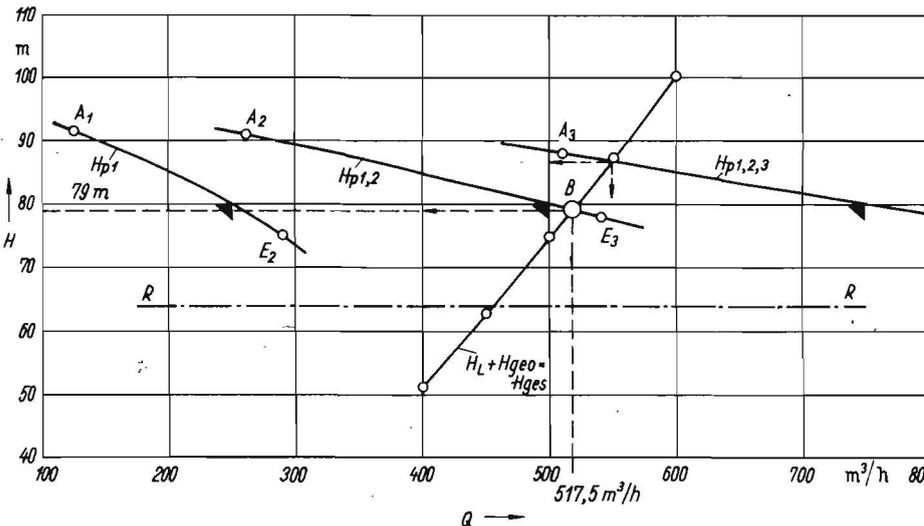


Bild 5. Pumpenkennlinien, Rohrleitungskennlinie und Arbeitspunkt B der Berechnungsanlage

- P<sub>1</sub> Hauptpumpen (mit je  $Q_N = 250$  m<sup>3</sup>/h;  $H_N = 80$  m)
- E Einschaltpunkte der Pumpen (druckabhängig)
- A Abschaltpunkte der Pumpen ( $P_1$ : stromabhängig)
- R-R Abschaltdruck im Havariefall (z. B. Rohrbruch)

$$Q_0 = 517,5 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bei } H_{ges} = 79 \text{ m}$$

$$H_L = H_{L1} + H_{V1} = 69 \text{ m}$$

$$H_{V1} = 21,2 \text{ m}$$

$$H_{L1} = H_{r1} = 47,8 \text{ m } (Q_1 = 264,5 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$H_{L1} = H_{L2} = 47,8 \text{ m } (Q_2 = 253,0 \text{ m}^3/\text{h})$$

$$H_{V2} = 3,2 \text{ m}$$

$$H_{r2} = 44,6 \text{ m}$$

Dabei wird deutlich, daß für die Regnerleitungen am Knoten 1 eine höhere Flüssigkeitsmenge  $Q_1$  bei einem höheren Eingangsdruck verbraucht wird. Der Druckabfall über der Leitung 2 bewirkt, daß am Knoten 2 eine geringere Fördermenge  $Q_2$  bei einem niedrigeren Eingangsdruck verbleibt.

Das gewählte Beispiel zeigt, daß der zeitliche Aufwand in Grenzen bleibt, vorausgesetzt, daß die notwendigen Daten für das theoretische Untersuchen von Berechnungsanlagen vorliegen. Das dargestellte Verfahren ist auch an-

wendbar bei verzweigten Rohrnetzen, wobei der Aufwand mit der Anzahl der wirksamen Verzweigungen steigt. Bei der Anwendung auf Ringnetze kommt der zu bestimmenden Fließrichtung im Ring Beachtung zu.

Im allgemeinen liegen Pumpenkennlinien für die Pumpstationen vor. Für den Fall, daß sie nicht verfügbar sind, lassen sie sich durch Messen von Druck und Förderstrom bei stufenweisem Verändern des Förderstroms im zulässigen Bereich zwischen  $0,5 Q_N$  und  $1,2 Q_N$  aufnehmen und aufzeichnen. Die Nennfördermenge  $Q_N$  und die Nennförderhöhe  $H_N$  einer Pumpe sind auf dem Typenschild angegeben.

Das grafo-analytische Verfahren ist nicht die einzige, aber eine ingenieurmäßig rationelle Methode für das Bestimmen des Arbeitspunktes, die an keine umfangreichen Voraussetzungen gebunden ist. Ein rechnerisches Verfahren

als Weg zum Ziel ist darin zu sehen, daß die grafisch dargestellten Kurven als Polynome formuliert werden. Diese sind zum Finden der erforderlichen Schnittpunkte und Rechengrößen gegenseitig gleichzusetzen und nach Unbekannten aufzulösen. Das kann jedoch einen erheblichen Mehraufwand bedeuten und sollte besser der Anwendung von EDVA vorbehalten bleiben.

## 5. Zusammenfassung

Vorgesehene technische oder technologische Veränderungen an bestehenden Berechnungsanlagen bedürfen der Überprüfung und Vorausbestimmung der Funktionssicherheit bezüglich des sich einstellenden Arbeitspunktes. Ausgehend von strömungsmechanischen Grundlagen wird ein Verfahren zum theo-

retischen Bestimmen des Arbeitspunktes einer Berechnungsanlage als Schnittpunkt von Pumpen- und Rohrleitungskennlinie entwickelt. Die Methodik wird an einer Beispielaufgabe dargestellt und erläutert.

- [4] Liefer- und Leistungsbedingungen Rollbare Regenleitungen NW125. VEB Landtechnisches Institutsetzungswerk Wriezen, 1977.  
 [5] Bedienungsanleitung für Berechnungspumpstationen Serie 2—11 bis 2—16. Wiss.-techn. Information für das Meliorationswesen, H. 7. VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde, 1972. A 2606

## Literatur

- [1] Kittner, H.; Starke, W.; Wisel, D.: Wasserversorgung. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen 1977.  
 [2] Voigt, D.: Zum Druckverlust in Berechnungsrohren. Dt. Agrartechnik 16 (1966) H. 5, S. 218—219.  
 [3] Albring, W.: Angewandte Strömungslehre. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

# Frontschaufellader — Baugruppen und Parameter

Dipl.-Ing. W. Huhn, KDT, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

## Verwendete Formelzeichen

b	mm	Breite des Frontschaufelladers mit Standardausrüstung
b <sub>s</sub>	mm	Breite der Standardschaufel
F <sub>11</sub>	kN	Hubkraft (nach SAE)
h	mm	Höhe des Frontschaufelladers mit Standardausrüstung
h <sub>a</sub>	mm	Ausschütthöhe
l	mm	Länge des Frontschaufelladers mit Standardausrüstung
m <sub>1</sub>	t	Eigenmasse des Frontschaufelladers (mit Standardausrüstung)
m <sub>k</sub>	t	Kippmasse (statische, in max. Wendstellung)
m <sub>s</sub>	t	Tragfähigkeit der Standardschaufel
P	kW	Motorleistung (nach DIN)
r <sub>s</sub>	mm	Wenderadius (Spurkreisradius)
V	m <sup>3</sup>	Volumen der Standardschaufel (nach SAE)
v	km/h	maximale Fahrgeschwindigkeit

## 1. Einleitung

Frontschaufellader als universelle mobile Umschlagmaschinen werden gegenwärtig in zunehmendem Maß eingesetzt. Sie kommen sowohl beim Schüttgut- als auch beim Stückgutumschlag zur Anwendung und finden Eingang in die verschiedenen Wirtschaftsbereiche, so auch in die Landwirtschaft. Mit wachsender Breite des Einsatzspektrums dieser Maschinen nimmt die Vielfalt der Anforderungen an sie zu, die wiederum eine Vielgestaltigkeit der Konstruktion zur Folge hat.

Diese Erscheinung drückt sich gegenwärtig z. B. in den mehr als 100 Typen von Frontschaufelladern aus, die in Europa und in den USA hergestellt werden [1, 2]. Zur Anwendung bestimmter Typen müssen ihre wichtigsten Unterscheidungsmerkmale sowie Vor- und Nachteile bekannt sein. Sie sollen mit dem vorliegenden Beitrag auf der Grundlage einer Weltstandsanalyse [3] herausgearbeitet werden.

Um außerdem grundlegende maschinentechnische Zusammenhänge erkennen zu können, werden Abhängigkeiten zwischen technischen Parametern untersucht. Hiernach lassen sich Frontschaufellader beurteilen und Abweichungen einzelner Maschinen vom Stand der Technik quantitativ erkennen. Solche Grundlagen sind sowohl für die Hersteller als auch für die

Anwender von Frontschaufelladern von Interesse.

Aus den Untersuchungen werden weiterhin Schlußfolgerungen für landwirtschaftliche Umschlagprozesse abzuleiten sein, denn der verstärkte Einsatz von Frontschaufelladern in der Landwirtschaft bietet aussichtsreiche Möglichkeiten bei der Bewältigung des Gutumschlags. Einerseits erreichen sie gegenüber herkömmlichen, in der Landwirtschaft verbreiteten mobilen Umschlagmaschinen 2- bis 3fache Durchsätze, andererseits fehlen gegenwärtig vor allem leistungsfähige Umschlagmaschinen (70% aller mobilen Umschlagmaschinen sind älter als 10 Jahre; nur 15% erreichen Durchsätze über 50t/h in T<sub>02</sub>) [4]. Umschlagprozesse, die hohe Durchsätze (bis 300 t/h in T<sub>02</sub>) erfordern, werden aber zukünftig immer mehr zu bewältigen sein, da leistungsfähigere Ernteverfahren zu erwarten sind und

die zunehmende Arbeitsteilung dichtere Gutströme hervorbringt.

## 2. Baugruppenanalyse

### 2.1. Fahrwerk

#### 2.1.1. Bereifung

Die richtige Auswahl der Bereifung beeinflusst Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit eines Frontschaufelladers vor allem beim Einsatz in der Landwirtschaft, denn hier wechseln Fahrbahnbedingungen mit den Umschlagaufgaben sehr stark (von weichen oder sandigen Umschlagplätzen am Feldrand bis zu betonierten Flächen in Verarbeitungsbetrieben). Entscheidend sind Reifenprofil und -breite: Offene Profile mit hohen, schmalen Stollen sind zur Schubkraftübertragung auf weichen, schmierigen Böden erforderlich (z. B. Stallung am Feldrand laden, Bild 1). Sie genügen aber den

Bild 1. Frontschaufellader I.2-A

