

Vorheizen mit einem Brenner größerer Wärmeleistung oder im Wärmeofen. Die Vorwärmtemperatur richtet sich nach der Werkstoffart. Sie beträgt für Stahl mit einem Kohlenstoffanteil bis 0,4% 250 bis 300°C. Für legierte sowie für Baustähle mit höherem Kohlenstoffgehalt sowie für Grauguß werden 300 bis 350°C empfohlen, für selbsthärtende und rostfreie Stähle 400 bis 450°C. Das Vorwärmen mit einem Brenner muß sehr gleichmäßig vorgenommen werden, damit es nicht zu örtlichen Überhitzungen und damit zu erhöhter Oxydation der Oberfläche kommt, was die Diffusionsverbindung zwischen aufgetragener Schicht und Grundwerkstoff verschlechtern oder unmöglich machen würde.

3.3. Vorspritzen

Zunächst wird durch gleichmäßige Brennerbewegung bei geöffnetem Schnellverschluss aus einer Entfernung von 40 bis 60 mm eine aus einer Lage bestehende Grundschicht mit einer Dicke von maximal 0,5 mm aufgetragen. Das so aufgetragene Material wird dann mit dem Brenner ohne weitere Pulverzuführung aus einer Entfernung von 6 bis 20 mm gleichmäßig angeschmolzen. Bei größeren Werkstücken kann das im Ofen vorgenommen werden. Für späteren Pulverauftrag in mehreren Lagen stellt diese Schicht, die dann allerdings nur in einer Dicke von 0,1 bis 0,2 mm hergestellt wird, einen Oxydationsschutz dar.

3.4. Mehrlagen-Auftragschweißen

Das Auftragen einer aus mehreren Lagen bestehenden Verschleißschicht auf die Grundschicht erfolgt im wesentlichen nach zwei Verfahren. Entweder wird die zuerst aufgetragene Schicht bei rhythmisch unterbrochener Zugabe von Pulver erneut angeschmolzen oder es wird

ähnlich wie bei der Grundschicht jede Lage erst gespritzt und dann geschmolzen. Je nach Bedarf können mehrere Lagen aufgeschweißt werden, wobei eine Gesamtschichtdicke von 2 mm nicht überschritten werden sollte. Die Art und Weise der Herstellung der einzelnen Schichten wird durch die Form und Abmessungen des Werkstücks bestimmt. Entweder werden die Lagen über die gesamte Breite der zu beschichtenden Fläche gebildet oder in Streifen mit einer Breite von 10 bis 15 mm.

3.5. Abkühlung

Empfohlen wird eine langsame Abkühlung ohne Zutritt von Zugluft, um das Entstehen von Rissen zu vermeiden.

3.6. Kontrolle

Die aufgetragene Schicht wird visuell, evtl. unter Zuhilfenahme einer Lupe, auf Risse oder Fehlstellen kontrolliert. Zur Risseprüfung kann auch Indikal-Spray verwendet werden. Eine gut aufgeschweißte Schicht hat unter der Voraussetzung, daß die Technologie eingehalten und einwandfreies Pulver verwendet wurde, eine glatte Oberfläche ohne Poren und Risse.

4. Einzelteilinstandsetzung in der landtechnischen Instandsetzung durch Anwendung des Flammpulverauftrags

In der tschechoslowakischen landtechnischen Instandsetzung hat sich in den letzten Jahren die Anwendung des Flammpulverauftragschweißens stark verbreitet. Die Vorteile dieser Aufarbeitungsmethode sind vor allem darin zu sehen, daß mit einer verhältnismäßig einfachen Technologie ohne große Anforderungen an Investitionsmittel an den Verschleißstellen der aufgearbeiteten Einzelteile eine Oberflächenqualität hergestellt werden kann, die die ur-

sprünglichen technischen Parameter nicht nur erreicht, sondern sie sogar übertrifft. Das ist vor allem dadurch begründet, daß die Schichten aus Pulverzusatzwerkstoffen einen niedrigen Reibungskoeffizienten haben und dabei verschleiß-, korrosions- und wärmebeständig sind.

Gegenwärtig wird dieses Aufarbeitungsverfahren vor allem in der Einzel- und Kleinserienproduktion angewendet. Für eine Massenfertigung wurden im Rahmen der landtechnischen Instandsetzung noch nicht die entsprechenden Technologien ausgearbeitet. Überwiegend werden rotationssymmetrische Einzelteile, die bei Aufschweißen in Drehvorrichtungen gespannt sind, aufgearbeitet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um einsatzgehärtete Oberflächen, deren Verschleiß durch Gegenkörper, wie Dichtringe, Gleit- oder Nadellager, hervorgerufen wurde. In geringerem Maß werden Gehäuse aus Grauguß an verschlissenen Flächen oder beschädigten Kanten aufgearbeitet.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Technologie des Flammpulverauftragschweißens wie das Auftragschweißen von Pulverzusatzwerkstoffen überhaupt wegen ihrer Vorteile größere Aufmerksamkeit verdienen und daß es erforderlich ist, sie durch schrittweise Erschließung weiterer Anwendungsfälle zu erweitern.

A 2621

1) Überarbeitete Fassung eines Referats zur wissenschaftlich-technischen Tagung „Landtechnische Instandhaltung“ am 5. und 6. Dezember 1979 in Markkleeberg. Übersetzung und Bearbeitung: Dipl.-Ing. M. Schmidt, KDT, VVB LTI Berlin

Mögliche Arbeitsproduktivität beim Beregnen in Abhängigkeit von technisch-technologischen Bedingungen

Dr. sc. agr. R. Kappes, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

1. Problemstellung

Die agrarpolitische Zielsetzung in der DDR verlangt die weitere planmäßige Steigerung der Pflanzenproduktion. Unter den dafür einzusetzenden Intensivierungsmaßnahmen hat die Beregnung einen wichtigen Anteil. Dazu sind Maschinen und Anlagen notwendig, die eine hohe Arbeitsproduktivität gewährleisten. Die nachfolgenden Untersuchungen gehen stets von einer Arbeitskraft oder einer Arbeitsgruppe aus und beziehen sich auf alle Leistungen von Maschinen, die Bestandteil von teilbeweglichen Anlagen sind. Die Arbeitsproduktivität beim Beregnen beinhaltet die erzielte Leistung je Arbeitskraft in Hektar und die ausgebrachte Wassermenge.

2. Bestimmung der Flächenleistung

Die Berechnungsgrundlagen und die Definition der Werte für die nachfolgenden Gleichungen haben sich in der Praxis bewährt [1]:

$$F_{AK} = \frac{V \cdot AB}{10000 (U + W)} \quad (1)$$

$$F_{AK} = \frac{Q_{RL} \cdot A}{10 G (U + W)} \quad (2)$$

Durch Nutzung der Beziehung

$$G = A \cdot RD \quad (3)$$

ergibt sich:

$$F_{AK} = \frac{Q_{RL}}{10 RD (U + W)} \quad (4)$$

- F_{AK} Fläche, die von einer Arbeitskraft bzw. einer Arbeitsgruppe in ha/h erreicht wird
 V Vorschubmaß der Regnerleitung in m
 AB nutzbare Arbeitsbreite der Regnerleitung in m
 U Zeit für den Vorschub einer Regnerleitung in h
 W Zeit für den Weg von Regnerleitung zu Regnerleitung einschließlich Pausenzeit in h
 Q_{RL} Wasserabnahme einer Regnerleitung in m^3/h
 G Einzelgabenhöhe in mm
 A Aufstellungsdauer einer Regnerleitung bei einer bestimmten Gabenhöhe in h
 RD Regendichte in mm/h
 n Anzahl der Maschinen, die von einer Arbeitskraft bzw. einer Arbeitsgruppe bedient wird (technologische Einheit).
 Gegenüber anderen Veröffentlichungen [2]

bleibt hier und in den nachfolgenden Gln. die effektive Arbeitszeit, die eine Arbeitskraft in einem Beregnungsturnus in einer Schicht erreicht, unberücksichtigt. Die Flächenleistung F_{AK} nach Gln. (1, 2 und 4) ist umgekehrt proportional dem Zeitaufwand für einen Vorschub und der Wegezeit. Alle Beregnungsmaschinen müssen so beschaffen sein, daß eine Arbeitskraft die Maschine mit geringem Aufwand in eine neue Position bringen kann. Sofern zwei Arbeitskräfte notwendig werden, ist der absolute Zeitaufwand für den Vorschub einzusetzen. Es sollte unbedingt jede Maschine so konstruiert sein, daß sie eine Arbeitskraft ohne große körperliche Anstrengung bedienen kann. Die Wegezeit von Regnerleitung (RL) zu RL ist durch die Größe des Arbeitsbereichs einer Arbeitskraft bzw. einer Arbeitsgruppe bestimmt und durch Bereitstellung von Fahrzeugen gering zu halten. Eine kurze Zeit für den Vorschub einer RL hat eine größere technologische Einheit zur Folge. Gleichzeitig vergrößert sich dadurch der Arbeitsbereich, und anteilmäßig wächst die Wege- und Pausenzeit. Dadurch schwankt der Zeitaufwand für Vorschub und Weg von RL zu RL nicht erheblich. Das Produkt Vorschub mal Arbeitsbreite in

Gl. (1) entspricht der Aufstellungsfläche in einer Position für eine Beregnungsmaschine und sollte möglichst groß sein. Technologisch ist die Frage von Interesse, was sich leichter erreichen läßt, eine große Arbeitsbreite oder ein hohes Vorschubmaß? Aufgrund von Erhebungen sind Maschinen mit Arbeitsbreiten von maximal 600 m weniger häufig einzusetzen als Maschinen mit einem großen Vorschubmaß. Die überwiegende Anzahl der im Komplex arbeitenden RL läßt sich ökonomisch nur mit Arbeitsbreiten von 450 m bis 500 m einsetzen.

Das hängt auch von der Geländegestaltung des zu erschließenden Beregnungsgebiets und dem notwendigen Umfang an Flurmeliorationen ab. Teilautomatisierte Schlauchtrommelberegnungsmaschinen bekannter ausländischer Konstruktionen erreichen entsprechend der verfügbaren Schlauchlänge Arbeitsbreiten bis maximal 400 m. Die Wurfweite der Regner begrenzt das Vorschubmaß der Maschinen. Eine große Wurfweite der Regner ist gleichzeitig an einen hohen Druck und Wasserverbrauch der Regner gebunden, und die Wasserverluste durch Windabdrift sowie die Ungleichheit der Wasserverteilung wachsen. Ein Vorschubmaß von 60 m (Wurfweite der Regner 50 m) auf fahrenden RL kann wirtschaftlich nur mit Regnerwechselschaltungen erzielt werden. Spezielle Schaltelemente unter Weitstrahlregnern ermöglichen, daß in einem einzustellenden Rhythmus jeweils nur die Hälfte der Regner einer RL in Betrieb sind und sich die Regnerleitung nach Verregnen der Wassergabe abschaltet. Bei der sowjetischen geradeaus fahrenden RL „Dnepr“ läßt sich durch Querverfahren, auf denen jeweils zwei Regner montiert sind, ein Vorschubmaß von 54 m erreichen. Andere Konstruktionen von fahrenden RL, z. B. „Husky“, haben nachgeschleppte Aluminiumleitungen (rd. 45 m), auf denen Schwachregner sitzen. Nach durchgeführten Recherchen erreichen Beregnungsmaschinen selten Vorschubmaße über 80 m oder sie werden bei teilautomatisierten Schlauchberegnungsmaschinen durch die Weitstrahlregner mit einem hohen technischen Aufwand (Druck am Regner > 1 MPa) erkauft. Alternativen sind Beregnungswagen mit Auslegern und Schwachregnern, sie ermöglichen eine Streifenbreite bis 60 m. Das aufwendigere Umsetzen der Auslegerwagen verringert voraussichtlich etwas die Arbeitsproduktivität. Eine gute Möglichkeit für ein großes Vorschubmaß sind kontinuierlich geradeaus fahrende Beregnungsmaschinen. Sie gestatten, neue Formen der Verteilung von Flüssigkeiten einzusetzen. Auch für diese Maschinen gelten die aufgeführten Gln. Nach der Fahrzeit zwischen zwei Hydranten, das entspricht der Aufstellungsdauer einer RL bei einer bestimmten Gabenhöhe, muß die Verbindung Hydrant-Maschine gelöst und zum nächsten Hydranten neu hergestellt werden.

$$H_y = v_{RL} \cdot A \quad (5)$$

$$v_{RL} = \frac{1000 Q_{RL}}{A B G} \quad (6)$$

v_{RL} durchschnittliche Vorfahrtsgeschwindigkeit der Maschine in m/h

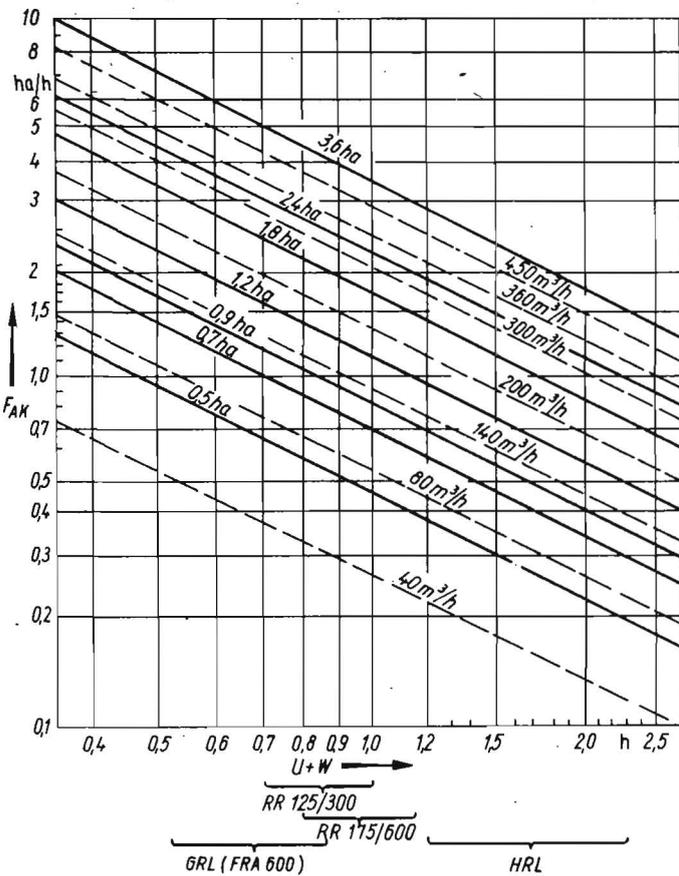
H_y Hydrantenabstand in m (entspricht dem Vorschubmaß).

Die Vorteile der Maschine werden um so größer, je weiter sie aufsichtslos fährt. Das minimale Vorschubmaß für alle Beregnungsmaschinen sollte stets ≥ 30 m sein. Mit einem geringeren Vorschubmaß wächst die Anzahl der notwendigen Aufstellungen bei vorgegebener Schlaglänge. Die durchzufüh-

Bild 1
Leistung einer Arbeitskraft bzw. einer Arbeitsgruppe in Abhängigkeit von Vorschub- und Wegezeit sowie Größe der beregneten Fläche für eine Aufstellungsposition der RL bzw. Wasserabnahme für eine RL:
Regendichte: 14 mm/h

$$F_{AK} = \frac{V \cdot A \cdot B}{10000 (U + W)}$$

$$F_{AK} = \frac{Q_{RL}}{10 \cdot R \cdot D (U + W)}$$



den Vorschübe sind aber die Hauptarbeit der Arbeitskräfte. Nach Gl. (4) verlangt eine große Flächenleistung eine Maschine, die möglichst eine hohe Wassermenge abnimmt und verteilt. Die Regendichte soll möglichst gering sein. Beide Forderungen in einer Maschine vereint lassen sich nur durch die beschriebenen Konstruktionen (Regnerwechselschaltung, Querverfahren, nachgeschleppte Leitungen) erreichen. Gl. (4) beweist, daß RL mit einer geringen Wasserabnahme in Verbindung mit Schwachregnern keine Voraussetzungen für eine hohe Flächenleistung bieten. Außerdem verlangen solche RL einen hohen Besatz an beweglichem Material [2]. Durch die besondere Arbeitsweise der teilautomatisierten Schlauchtrommelberegnung muß in Gl. (4) eine rechnerische Regendichte entsprechend Gl. (3) eingesetzt werden. Sie stimmt mit der nominellen Regendichte des Regners nicht überein. Daher wurden im Bild 1 die Werte für diese Beregnungsverfahren nicht eingetragen, obwohl alle grundsätzlichen Zusammenhänge auch dafür gelten (Gln. 1 und 2).

Gl. (7) geht vom Wasserverbrauch aus und basiert auf anderen Grundlagen als Gln. (1 und 2):

$$F_{AK} = \frac{n Q_{RL} A}{10 G A + U} \quad (7)$$

Unter Beachtung der Beziehung von Gl. (3) ergibt sich:

$$F_{AK} = \frac{n Q}{10 R D (A + U)} \quad (8)$$

Eine hohe Leistung der Arbeitskräfte setzt voraus, daß eine große Wassermenge verteilt wird. Eine große Anzahl der von einer Arbeitskraft oder Arbeitsgruppe bedienten Maschinen hat als Grundlage einen geringen Zeitaufwand für einen Vorschub und eine lange Aufstellungsdauer.

Das Einhalten einer vorgegebenen Aufstellungszeit für eine RL (Gabenhöhe) ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal beim Beregnen. Eine große Anzahl der von einer Arbeitskraft oder Arbeitsgruppe bedienten Maschinen kann bei nicht vorherzusehenden Störungen den Umsetzrhythmus empfindlich stören. Daher ist aus technologischen Gründen zu fordern, hoch mechanisierte Beregnungstechnik mit einer entsprechenden zeit- oder mengenabhängigen Abschaltautomatik auszustatten. Positionsweise arbeitende Maschinen entleeren sofort nach dem Abschalten, so daß der Beregnungstechniker ohne Wartezeiten mit der Arbeit des Vorschubs der RL beginnen kann.

3. Vergleich der Gln. zur Bestimmung der Flächenleistung

Die Gln. ergeben nur zutreffende Werte, wenn die einzelnen technischen und technologischen Parameter zueinander passen. Bei sehr unterschiedlichen Techniken müssen die Gln. entsprechend angewendet werden. Das gilt für die Gln. (2 und 7) beim Einsatz der Regnerwechselschaltung. Gl. (7) berücksichtigt die Leistung für eine Schicht und ergibt für die teilautomatisierte Schlauchberegnung und die Kreisberegnung zu niedrige Werte. Beim Vergleich erhält man mit den Gln. (1, 2 und 4) eine höhere Flächenleistung als mit Gln. (7 und 8). Mit den ersten drei Gln. wird die maximale mögliche Flächenleistung berechnet. Dabei entstehen auch Dezimale von RL, die in der Praxis nicht möglich sind. In den meisten Fällen verlangen verkürzt arbeitende Maschinen fast denselben Zeitaufwand für einen Vorschub. Die letzten Gln. enthalten abgerundete Werte, d. h. ganze Zahlen der technologischen Einheit. Sie ergeben daher für den konkreten Fall zutreffende Angaben. Andererseits muß bei Benutzung dieser Gln. die Anzahl der zu bedienenden Maschinen bekannt oder zuvor errechnet worden sein. Von Vorteil ist die Anwendung der

Gln. (7 und 8), wenn nur eine beschränkte Anzahl von Maschinen in einer Anlage zum Einsatz kommen kann. Im Bild 1 bezieht sich die Gl. (4) auf eine Regendichte von 14 mm/h. Für die Summe Zeit für Vorschub plus Wegezeit sind Bereiche angegeben, dabei wurden für den Vorschub auch absolute Werte beim Einsatz von Arbeitsgruppen berücksichtigt. Die Gln. weisen nach, daß die Leistung weitgehend unabhängig von der Art der Wasserausbringungsorgane ist, wenn die entsprechenden Randbedingungen für die Gültigkeit der Gln. eingehalten werden. Bild 2 bezieht sich auf Einzelgaben von 30 mm. Der Faktor Aufstellungsdauer zu Aufstellungsdauer plus Umsetzungszeit resultiert daraus, daß die Maschinen während der Zeit des Vorschubs nicht an das Druckrohrnetz angeschlossen sind. Er läßt sich für eine konkrete Berechnungstechnik zuverlässig eingrenzen und nähert sich mit Zunahme der Aufstellungsdauer und einem hohen Mechanisierungsgrad dem Wert 1. Die Gln. (1, 2 und 4) gelten für die Kreisberechnung nur im übertragenen Sinn, weil solche Maschinen keinen Vorschub, sondern nur eine Aufsicht verlangen. Ein Kontrollgang könnte der Vorschubzeit entsprechen. Das hat den Vorteil, daß der Kontrollgang nicht an einen bestimmten, unbedingt einzuhaltenden Rhythmus gebunden ist und sich eventuelle Ausfälle funktionsmäßig signalisieren lassen. Bild 2 gilt auch für Kreisberechnungsmaschinen ohne Positionswechsel z. B. in einem Beregnungsturnus. Der Faktor Aufstellungsdauer zu Aufstellungsdauer plus Umsetzungszeit erreicht dann 1. Ansonsten muß die jeweils umzusetzende Maschine bei der möglichen Gesamtleistung in einem längeren Zeitabschnitt berücksichtigt werden. Aus den Bildern 1 und 2 resultiert auch, daß bei Kreisberechnungsmaschinen mit einem hohen Wasserverbrauch sowohl mit als auch ohne Positionswechsel eine größere Arbeitsproduktivität erzielt wird als durch tatsächlich dem Wasserbedarf der Fruchtarten angepaßte Maschinen. Wegen geringer Investitions- und Materialaufwendungen für das Druckrohrnetz wird unbedingt die letzte Variante angestrebt.

4. Verteilte Wassermenge in Abhängigkeit von der Einzelgabenhöhe

Eine hohe Arbeitsproduktivität der Arbeitskräfte setzt auch eine hohe verteilte Wassermenge je AKh voraus.

$$Q_{AK} = n Q_{RL} \frac{A}{A + U} \quad (9)$$

$$Q_{AK} = F_{AK} \cdot 10G \quad (10)$$

Q_{AK} von einer Arbeitskraft oder einer Arbeitsgruppe zur Verteilung gebrachte Wassermenge in m^3/h für eine technologische Einheit.

Die von einer Arbeitskraft zur Verteilung gebrachte Wassermenge steigt nach Gln. (9 und 10) bei hohen Einzelregengaben. Mit größerer Aufstellungsdauer wächst auch die von einer Arbeitskraft bediente Anzahl Maschinen. Gl. (7) ergibt bei kleinen Gaben eine höhere Flächenleistung, nach Gl. (10) steigt die Wasserausbringung mit größeren Gaben. Da die Arbeitsproduktivität aber sowohl die Flächenleistung als auch die ausgebrachte Wassermenge umfaßt, muß beides in Beziehung gesetzt werden. Bild 3 zeigt am Beispiel der rollbaren Regnerleitung RR 125/300 den Kurvenverlauf in der Tendenz. Tatsächlich verlaufen die Kurven komplizierter [3]. Die Gln. (1 und 4) erwecken den Anschein, daß die Flächenleistung völlig unabhängig von der Aufstellungsdauer ist. Der Bere-

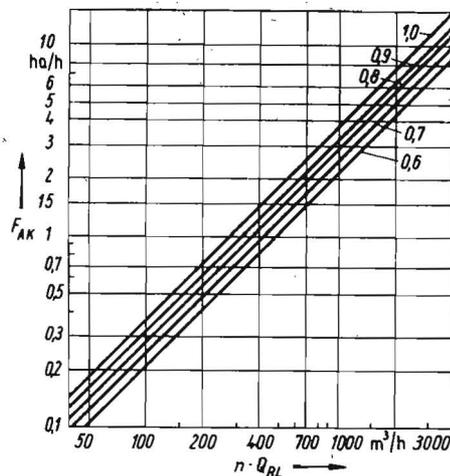


Bild 2. Flächenleistung in Abhängigkeit der von einer Arbeitskraft oder Arbeitsgruppe verteilten Wassermenge und einer Gabe von 30 mm; Nach Gl. (7) Faktor Aufstellungszeit zu Aufstellungszeit plus Umsetzungszeit: 1.0 bei Fregat ohne Positionswechsel 0.9 bei teilautomatisierter Schlauchtrommel 0.8 bei Dnepr und RR 10 mm Düse 0.7 bei RR 15 mm Düse 0.6 bei HRL

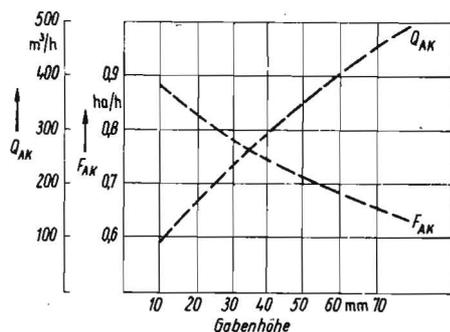


Bild 3. Leistung einer Arbeitskraft in ha/h und m^3/h in Abhängigkeit von der Gabenhöhe (RR 125/300)

nungstechniker muß aber mit Erhöhung der Aufstellungsdauer für die RL auch die Anzahl der bedienten Maschinen vergrößern, dadurch wächst die Wegezeit, und die Flächenleistung nimmt etwas ab. Die Ausbringungsleistung an Wasser steigt mit Zunahme der Gabenhöhe viel schneller als die Flächenleistung abnimmt. Bei Vergrößerung der Gabe von 20 mm auf 40 mm erhöht sich die verregnete Wassermenge um 75%, die Flächenleistung reduziert sich um 25%. Dieser Effekt muß durch standort-, witterungs- und fruchtartenspezifische hohe Einzelgaben genutzt werden, dadurch lassen sich bei einem hohen Wasserbedarf in Trockenperioden Arbeitskräfte einsparen [3].

5. Technologisch-ökonomische Begrenzungen für wichtige Grundwerte

Der Erhöhung des Vorschubmaßes der RL über Regner mit großer Wurfweite, die stets einen hohen Druckbedarf haben, sind vor allem ökonomische Grenzen gesetzt. Abgesehen von geringen Energiekosten kann bei niedrigeren Druckanforderungen die unterirdische Rohrleitung mit geringerem Investitionsaufwand gebaut werden. Große Arbeitsbreiten verlangen oft mehr Aufwendungen an Flurmeliorationen. Die Wasserabnahme für eine Beregnungsmaschine läßt sich nicht beliebig vergrößern,

weil sich die Kosten für die Maschine und vor allem für die Hydrantenleitungen mit großem Rohrdurchmesser erhöhen. Eine hohe Wasserabnahme der RL verlangt eine große Vorfahrlänge (Schlaglänge) der RL und erfordert ein Umsetzen von einem berechneten Teilschlag auf die andere Seite der Hydrantenleitung bzw. auf einen anderen Schlag. Meist lassen sich bei einer neuen Gestaltung der Flur in der DDR für die Beregnung Schlaglängen von 1200 m schaffen, Ausnahmen liegen bei 1500 m. Das Umsetzen erfordert einen erheblichen Arbeitskraftaufwand und muß daher bei der Konstruktion und Berechnung des Arbeitsaufwands unbedingt berücksichtigt werden (halbkreisförmiges Schwenken des FRA 600, Querverziehen der RL bei „Dnepr“). In einem vorgegebenen Beregnungsturnus können aber aus technischen Gründen und wegen eines stark anwachsenden Arbeitskraft- und Zeitaufwands kaum einer geradeaus fahrenden Maschine drei nebeneinander liegende Teilschläge zugeordnet werden. Unter Beachtung der Umsetzungszeit und des Umsetzens von einem Schlag auf den nächsten Schlag unbedingt zu sichernden Zusatzwassermenge von 3,5 mm/d und der angeführten Begrenzung bezüglich der Schlaglänge und Arbeitsbreite ergibt sich der Wasserverbrauch der Maschinen [4]. Weil im Ausland andere Bedingungen der Flächenzuordnung und des Zusatzwasserbedarfs in mm/d vorhanden sind, können importierte Beregnungsmaschinen eine erheblich höhere Wasserabnahme aufweisen als für DDR-Bedingungen ökonomisch ist. Zum Arbeitskraftaufwand beim Betreiben der Beregnungsmaschinen gehört neben dem Umsetzen auch das Ausrichten der RL. Das betrifft allerdings nur gering mechanisierte Beregnungsverfahren, z. B. rollbare Regnerleitungen. Bei kleinen Rohrdurchmessern enthält der Aufwand für den Vorschub einen gewissen Zeitanteil für das Ausrichten. Große Maschinen, wie rollbare Regnerleitungen RR 175, verlangen zum Ausrichten eine gesonderte Arbeitsgruppe und einen Kran. Die mit den Gln. berechneten Leistungen der Arbeitskräfte entsprechen den Zeiten T_{05} , sie beinhalten Pausen und kleine Instandhaltungsmaßnahmen. Vorbereitungs-, Übergabe- und Abschlußzeiten sind von der täglichen Schichtarbeitszeit zu subtrahieren. Ausfälle der gesamten Beregnungsanlage treten verhältnismäßig selten auf. Das Versagen einzelner Maschinen fällt beim Beregnen nicht erheblich ins Gewicht, weil eine Arbeitskraft mehrere Maschinen gleichzeitig bedient und in den meisten Fällen für eine Schicht eine größere Anzahl von Maschinen verfügbar ist, als zum Einsatz gelangen.

6. Zusammenfassung

Auf der Grundlage der in der Praxis bewährten arbeitswirtschaftlichen Parameter werden allgemeingültige Gleichungen zur Ermittlung der Flächenleistung und der ausgebrachten Wassermenge von Beregnungsmaschinen angegeben.

Nur ein Zusammenfassen beider Leistungen ermöglicht eine exakte Beurteilung der Arbeitsproduktivität verschiedener Beregnungsverfahren. Aufgrund theoretischer Ableitungen werden technische und technologische Varianten für die Konstruktion produktiver Beregnungsmaschinen erörtert.

Literatur

- [1] Arbeitswirtschaftliche Berechnungsgrundlagen für die Beregnung. VEB Ingenieurbüro für Meliorationen Bad Freienwalde, Arbeitsblatt Projekt 39, 1973.

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 ²	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 _n	m ³ /h	Förderstrom, Nennförderstrom
Re	—	Reynoldszahl
w	m/s	Strömungsgeschwindigkeit im Rohr
α	s ² /m ⁶	Konstante zum Rohrreibungsverlust
λ	—	Rohrreibungsbeiwert
ν	m ² /s	kinematische Zähigkeit des Mediums
ρ	g/cm ³	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_{stat} ist an der Rohrwand senkrecht zur Strömungsrichtung mit

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

Die dynamische Förderhöhe H_{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 λ 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 λ nicht auflösbar, so daß das λ -Re- ϵ -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 α -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 α -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