

# Entwicklung und Erprobung einer Stauvorrichtung für den automatischen Rückhalt von Bodenwasser in Dränsystemen

Dr. agr. J. Hoffmann, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

## Problemstellung

Konventionelle Rohrdränung wirkt ohne Rückkopplung zum Regulierungsziel „optimale Bodenfeuchte“ ständig entwässernd. Als Zielstellung für die Entwässerung wird gemäß Standard TGL 42 812 [1] eine Absenkung der Grundwasseroberfläche auf 0,4 m unter Flur für Moorböden und 0,6 m unter Flur für Mineralböden gefordert. Besonders auf entwässerungsbedürftigen nichtbindigen bis schwachbindigen Standorten kann aber aufgrund mittlerer Dräntiefen von 1,0 m unter Flur die Grundwasseroberfläche als Folge der Entwässerungswirkung der Dränung unter die Sollwerte bis in Dräntiefe absinken. Dadurch fließen etwa 50 bis 100 mm Bodenwasser ( $\approx 500$  bis  $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) einschließlich der darin enthaltenen Nährstoffe ungenutzt ab [2, 3, 4]. Eine effektivere Bodenwasserregulierung ist durch Einsatz von Stauvorrichtungen im Dränsystem möglich, an die folgende Anforderungen gestellt werden:

- Arbeitsweise ohne Fremdenergie
  - Oberwasserregelung des Grundwasserstandes  $H_{\text{GW}}$
  - ungehinderte Entwässerung bei Erfordernis, sonst Anstau des Dränsystems
  - schlagartiges Öffnen des Dränstaus für Niederdruckspülung des Dränsystems
  - kompakte Unterflurkonstruktion mit hoher Funktionssicherheit zur Gewährleistung einer ungehinderten Bodenbearbeitung
  - Möglichkeit für standort- und systemangepasstes unkompliziertes Justieren der Stauhöhen sowie hohe Regelungsgenauigkeit.
- Dafür geeignete Lösungen waren bisher nicht verfügbar, so daß die Aufgabe bestand, eine praktikable Lösung zu erarbeiten.

## Technische Lösung

Ausgehend von den o. g. Anforderungen wurden fünf Lösungsvarianten entwickelt (Tafel 1) [5, 6, 7, 8, 9] und in Vorversuchen getestet. Danach wurde Variante 3 (Bilder 1 und 2) aufgrund einfacher Konstruktion, hoher Funktionssicherheit und Regelgüte als die Vorzugslösung ausgewählt. Diese Lösung arbeitet nach dem Prinzip der druckabhängigen Meßwertübertragung des Grundwasserstandes für das Öffnen des Dränstaus. Die Stauhöhe wird durch Festlegung der Tiefe der Entlüftungsleitung (Meßprinzip eines mit Wasser gefüllten U-Rohr-Manometers) vorgegeben. Bei Anstieg der piezometrischen Druckhöhe im Oberwasser des Dränstaus wird die im Schwimmerbehälter befindliche Luft verdichtet, so daß der Druck die Wassersäule in der Entlüftungsleitung verschiebt. Erfolgt dies bis über den unteren Scheitelpunkt der Entlüftungsleitung hinaus, entlüftet der Schwimmerbehälter durch die Entlüftungsleitung und wird mit Wasser aufgefüllt. Der Schwimmer gelangt unter Auftrieb und öffnet die Klappe. Gleichzeitig füllt sich die Entlüftungsleitung wieder mit Wasser auf. Durch diese Konstruktion können Stauhöhen gehalten werden, die die Baugröße des Dränstaus übersteigen, so daß der Einsatz als Unterflurkonstruktion möglich ist.

Bei geöffnetem Dränstau erfolgt die Meßwertrückkopplung zum Grundwasserstand durchflußabhängig über den Meßgeber der Steuerleitung im Dränbeet. Der Zufluß vom Meßgeber zum Dränstau und der Abfluß durch die Bohrung im Schwimmerbehälter bestimmen in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe des Schwimmers den Öffnungsgrad der Verschußklappe. Der Meßgeber wird in der Dränbeetmitte, parallel zum Saugerverlauf angeordnet. Da eine exakte Berechnung des Durchflusses in Abhängigkeit vom Grundwasserstand nicht möglich ist, muß der Meßgeber auf Höhe von  $H_{\text{GW, soll}}$  verlegt werden, um das Schließen des Dränstaus bei Erreichen des Sollgrundwasserstands zu sichern und damit die bodenhydrologische Wirksamkeit zu gewährleisten.

## Methodik für die Erprobung der technischen Lösung

Die Arbeitscharakteristik, die Regelgenauigkeit, die Dichtheit und die Funktionssicherheit der technischen Lösung wurden an einem Prüfstand (Bild 3) ermittelt. Der Hochbehälter mit verstellbarem Zulauf diente der Simulation des Wasserstands im Dränsystem und des entwässerbaren Bodenspeichervolumens einer angestauten Dränabteilung. In der Versuchsdurchführung wurden folgende Meßgrößen erfaßt:

- Durchfluß  $\dot{V}$  in l/s
- piezometrische Druckhöhe im Über- und Unterwasser des Dränstaus  $H$  in m
- Totzeit  $t$  in s.

Der simulierte Dränabfluß wurde im Bereich von  $0 < \dot{V} \leq 3 \text{ l/s}$  variiert. Die Durchflußmes-

Tafel 1. Lösungsvarianten für den automatischen Dränstau

| Variante | Stellantrieb und Stellglied  | Prinzip für die Regelung des Grundwasserstandes   | Einfluß der Konstruktion auf Bewirtschaftung der Fläche |
|----------|--|---|---|
| 1        | zwei auffüllbare Kippbehälter, Verschußklappe                            | Zweipunktregelung, druckabhängige Meßwertübertragung von $H_{\text{GW}}$ durch Steuerleitung für Öffnen und Schließen   | Hindernis durch Überflurkonstruktion                    |
| 2        | auffüllbarer Kippbehälter, Rückstellmasse, Verschußklappe                | Zweipunktregelung, durch Öffnen und Schließen in Abhängigkeit von piezometrischer Druckhöhe im Drän durch Zulauf- und Belüftungsleitung   | Hindernis durch Überflurkonstruktion                    |
| 3        | Schwimmer, Verschußklappe  | Zweipunktregelung, Öffnen in Abhängigkeit von piezometrischer Druckhöhe im Drän durch U-Rohr-Manometer, Schließen volumenstromabhängig durch Steuerleitung im Dränbeet                | Unterflurkonstruktion, keine Behinderung                |
| 4        | Schwimmer, Verschußklappe  | Zweipunktregelung, Öffnen in Abhängigkeit von piezometrischer Druckhöhe im Drän durch Entlüftungsrohr und Schwimmer, Schließen volumenstromabhängig durch Steuerleitung im Dränbeet   | Unterflurkonstruktion, keine Behinderung                |
| 5        | Kippfläche mit auffüllbaren Behältern und Rückstellmasse, Verschußklappe | Zweipunktregelung, Öffnen in Abhängigkeit von piezometrischer Druckhöhe im Drän durch spezielle Kippflächenausbildung, Schließen volumenstromabhängig durch Steuerleitung im Dränbeet | Unterflurkonstruktion, keine Behinderung                |

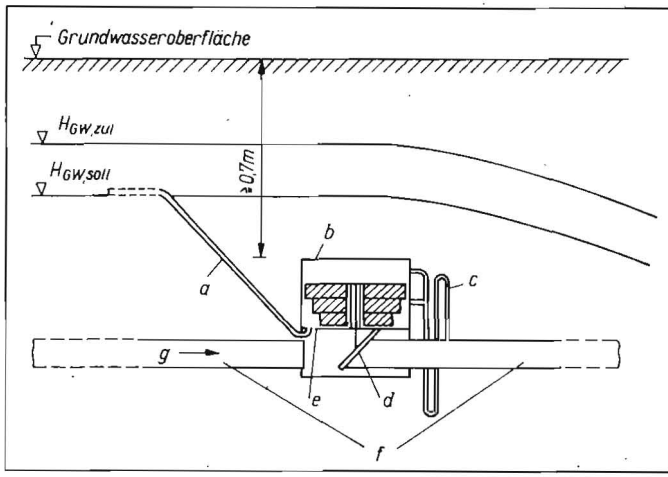


Bild 1. Schematisiert dargestellte Einbauskeizze eines automatischen Dränstaus;  
 Vorzugslösung mit Klappenverschluß (Stellglied) und Schwimmer (Stellantrieb), Regelung des Grundwasserstands  $H_{GW}$  über piezometrische Druckhöhe in Sammler und Steuerleitung (Öffnen) und über Volumenstrom in Steuerleitung und Bohrung (Schließen)  
 a Steuerleitung, b Schwimmerbehälter mit Schwimmer, c Entlüftungsleitung, d Klappe, e Bohrung, f Dichtungsstrecke (Länge 3,0 m)

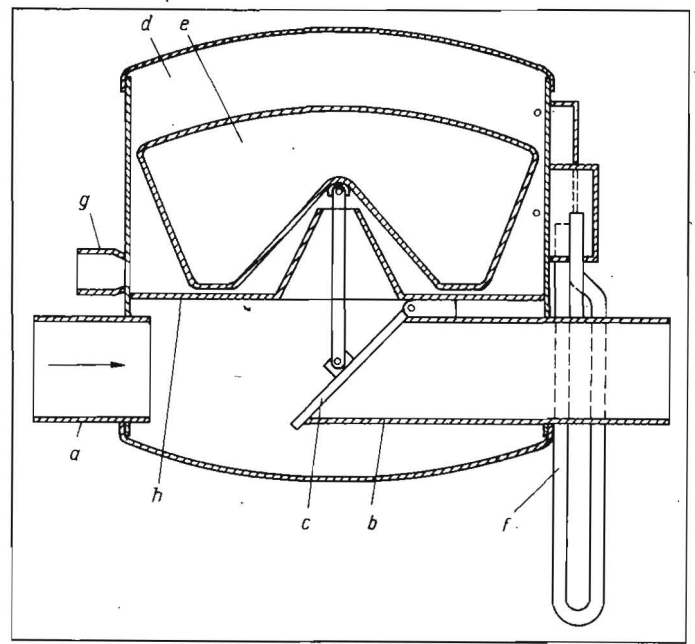


Bild 2. Prinzipdarstellung des Fertigungsmusters des automatischen Dränstaus (Längsschnitt, Material PVC);  
 a Rohreinlauf, b Rohrauslauf, c Verschlussklappe, d Schwimmerbehälter, e Schwimmer, f Entlüftungsleitung, g Anschlußstutzen für Steuerleitung, h Auslauföffnung

sung erfolgte unter Verwendung eines Meßwehrs mit elektrischem Stechpegel bei  $V \geq 0,5$  l/s bzw. volumetrisch bei  $V < 0,5$  l/s. Die piezometrischen Druckhöhen würden mit Hilfe von Piezometern, gekoppelt mit Wasserstandsmanometern, gemessen.

Ausgehend von einer mittleren Anzahl der Regelzyklen (Anstau-Entwässerung-Anstau) eines Dränstaus von  $n = 10$  im Jahr [10] wurde eine Zeitraffertestung für Forschungsmuster mit  $n = 500$  und für Fertigungsmuster mit  $n = 4000$  Regelzyklen vorgesehen, um die Funktionssicherheit zu prüfen.

Für den Nachweis der Funktionssicherheit und Regelgüte des automatischen Dränstaus im Feld wurden 2 Experimental- und 8 Beispielanlagen eingerichtet, in denen 43 Forschungs- und 4 Fertigungsmuster erprobt wurden. Die Standortbedingungen dieser Anlagen sind in Tafel 2 aufgeführt. Auf den Experimentalanlagen wurden der Grundwasserstand an einem repräsentativen Meßpunkt in der Dränfläche, die piezometrische Druckhöhe im Oberwasser des Dränstaus sowie der Dränabfluß kontinuierlich und auf den Beispielanlagen durch Stichprobenmessung ermittelt. Die Untersuchungen erfolgten dabei auf Standorten mit nur zeitweiligem Entwässerungserfordernis, die für den praktischen Einsatz des Dränstaus relevant sind [11]. Um einen mehrjährigen Feldeinsatz im Zeitraffertest zu simulieren, wurde außerdem ein stark fremdwasserbeeinflusster, ständig entwässerungsbedürftiger Standort ausgewählt (Experimentalanlage „Rotes Luch“), auf dem in vergleichsweise kurzer Zeit der Dränstau häufig öffnet und schließt.

### Ergebnisse der Erprobung und Diskussion

Die Regelgenauigkeit für das Öffnen des Dränstaus ist abhängig vom Dränabfluß vor Anstaubeginn. Ermittelte Regelabweichungen vom Sollwert von  $\pm 2,5$  cm liegen im Bereich des Meß- und Justierfehlers für den Feldeinsatz und sind somit vernachlässigbar.

Die vorgesehene Anstauhöhe wird durch Rückstau im Unterwasser des Dränstaus beeinflusst, wenn er die Höhe des Rohrscheitels im Sammler am Anschlußpunkt der Entlüftungsleitung übersteigt. Bei konstanter Stauhöheneinstellung steigt die Anstauhöhe um den Betrag der Rückstauhöhe über Rohrscheitel an, ehe der Dränstau öffnet. Die Anordnung des Dränstaus in Staukaskaden oder im Rückstaubereich des Vorfluters erfordert deshalb die Berücksichtigung der Rückstauhöhe in der Festlegung der Anstauhöhe, um das sichere Öffnen bei Erreichen von  $H_{GW, zul}$  zu gewährleisten. Andererseits besteht mit diesem Regulierverhalten die Möglichkeit, durch wahlweise Veränderung der Rückstauhöhe, z. B. im Vorfluter, jährlich differenzierten Anforderungen an die Anstauhöhe Rechnung zu tragen, ohne Stellhandlungen am Dränstau durchführen zu müssen.

Die gemessene Totzeit für das Öffnen des Dränstaus bei Erreichen von  $H_{GW, zul}$  von  $10 \text{ s} \leq t \leq 30 \text{ s}$  ist ohne Einfluß auf die Regelgenauigkeit, da die Grundwasser Oberfläche nur träge auf Störgrößen reagiert. Die Verschlussklappe öffnet mit einer Öffnungszeit  $< 1 \text{ s}$  schlagartig und gibt vollständig den Abflußquerschnitt frei. Diese Charakteristik

entspricht den Anforderungen an eine wirksame Niederdruckspülung abgelagerter Sedimente im Dränsystem [12]. Hiermit besteht die Möglichkeit der Erhöhung der Funktionssicherheit und Alterungsbeständigkeit des Dränsystems. Bei Erreichen von  $H_{GW, soll}$  schließt der Dränstau, wenn im Sammler ein Teilfüllungsgrad erreicht ist. Wird in der Entwässerungsphase kein Teilfüllungsgrad erzielt, bleibt der Dränstau geöffnet, da unter diesen Bedingungen keine Luft in den Schwimmerbehälter eintritt (Mariottesches Gefäß). Dadurch ist ein Überschwingen des Grundwasserstands mit Absenkung unter  $H_{GW, soll}$  möglich, das aber bei Erreichen eines Teilfüllungsgrads im Sammler nach rd. 0,5 bis 1,0 d ausgeglichen werden kann (Bild 4). In der Meliorationspraxis werden die Sammler als Freispiegelrohrleitung bemessen, so daß bei Gewährleistung dieser Bedingung das ermittelte Überschwingen nicht auftritt. Die im Feld ermittelte Regelgenauigkeit des Grundwasserstands für das Öffnen und Schließen des Dränstaus von  $\pm 5$  cm ist für praktische Regulierungsanforderungen ausreichend. Während der Stauhaltung ermittelte Leckverluste lagen im Mittel unter 0,01 l/s. Bei einer möglichen Speicherwirksamkeit durch den Dränstau von 50 bis

Tafel 2. Standortbedingungen der Experimental- und Beispielanlagen zum Testen automatischer Dränstaus

| Parameter                              | Experimentalanlagen<br>„Rotes Luch“ <sup>1)</sup>   | „Eggersdorf“ <sup>1)</sup>  | Beispielanlagen<br>in 8 Bezirken der DDR   |
|--|---|---|--|
| Standorttyp                            | Mo 1c   | D 2b...D 4b   | D 2b...D 5b<br>Mo 1c...Mo 2c   |
| Dränfläche<br>hydrologisches<br>Regime | rd. 4 ha<br>grundwasserbeeinflusster Standort, starker Drängewässerzufluß, Drän ständig wasserführend | rd. 10 ha<br>stau- und grundwasserbeeinflusster Standort, Drän zeitweilig wasserführend | rd. 140 ha <sup>2)</sup><br>stau- und grundwasserbeeinflusste Standorte, Drän zeitweilig wasserführend |
| landwirtschaftliche<br>Nutzung         | Saatgras  | Mais,<br>Kartoffeln,<br>Roggen  | Saatgras, Gerste, Mais,<br>Kartoffeln, Raps, Roggen  |

1) Kreis Strausberg

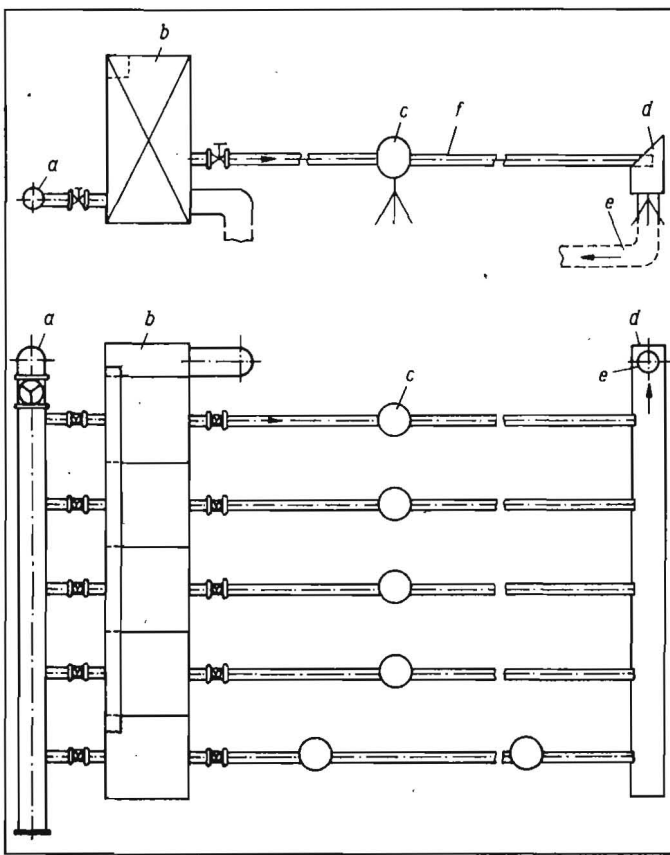


Bild 3. Prüstand für automatische Dränstaus (Seitenansicht und Draufsicht); a Wasserzuleitung, b Hochbehälter, c Dränstau, d Ablaufrinne, e Wasserableitung, f Stütze

100 mm Bodenwasser im Vergleich zu konventioneller Rohrdränung und einer Mindestvorteilsfläche von 2 ha je Dränstau [11] betragen dadurch die Wasserverluste je ha Vorteilsfläche in 30 d weniger als 1,3 mm und sind ohne maßgeblichen Einfluß auf die bodenhydrologische Wirksamkeit. Festgestellte Leckverluste bis etwa 0,03 l/s und dadurch mögliche Wasserverluste bis zu 3,9 mm liegen noch im zulässigen Bereich der für den Dränstau zu fordernden Dichtigkeit.

Innerhalb der vorgesehenen Zeitraffertung im Labor traten keine Funktionsminderungen auf. Im Feldversuch wurde für Forschungsmuster nach 140 d (268 Regelzyklen) sicherer Funktion die Zeitraffertung beendet und anschließend für Fertigungsmuster fortgesetzt.

Entsprechend den Untersuchungsergebnissen der Experimental- und Beispielanlagen arbeiteten die eingesetzten Dränstaus mit Ausnahme eines Forschungsmusters (infolge versetzter Auslauföffnung ständige Entwässerung) funktionssicher. Die wichtigsten technischen Parameter des automatischen Dränstaus werden in Tafel 3 aufgeführt.

Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse erfolgte die Produktionsfreigabe der Fertigungsmuster für die Serienproduktion.

#### Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Auf der Grundlage agrartechnischer Forderungen an einen praxisrelevanten Dränstau wurde ein automatischer Unterflurdränstau entwickelt, der ohne Zuführung von Fremdenergie arbeitet. Entwässerung und Anstau

erfolgen in Abhängigkeit vom Grundwasserstand im Dränbeet mit einer Regelgenauigkeit von  $\pm 5$  cm. Die Funktionssicherheit wurde unter Labor- und Feldbedingungen nachgewiesen. Danach ist der entwickelte Dränstau für den Praxiseinsatz geeignet. Langzeituntersuchungen sind jedoch weiterhin erforderlich. Weiterführende Forschungsarbeiten sind auf eine Lösung mit druckabhängiger Meßwertübertragung des Grundwasserstands für das Schließen des Dränstaus zu richten, um den Meßgeber in beliebiger Tiefe im Dränbeet, unabhängig von  $H_{GW, \text{sol}}$ , anzuordnen und die Funktionssicherheit zu erhöhen. Zur Entwicklung neuer technischer Lösungen sind die Möglichkeiten für die Anwendung des Prinzips

Tafel 3. Technische Parameter des automatischen Dränstaus

| Kenngroße               | Parameter   |
|-------------------------|---|
| Material                | PVC   |
| Masse                   | 7,0 kg  |
| Gesamthöhe              | 0,535 m   |
| Höhe über Rohrscheitel  | 0,3 m   |
| Breite                  | 0,46 m  |
| Rohrinnenweite          | 110 mm  |
| Stauhöhensbereich       | 0,3...1,1 m                                       |
| Regelgenauigkeit        | $\pm 5$ cm  |
| Totzeit                 | 10...30 s   |
| Öffnungszeit            | < 1 s   |
| Leckverluste bei Anstau | < 0,03 l/s  |
| Länge Meßgeber          | 5 m   |
| Material Meßgeber       | PVC-Welldränrohr NG 63/56 mit Schlitzweite 0,5 mm |

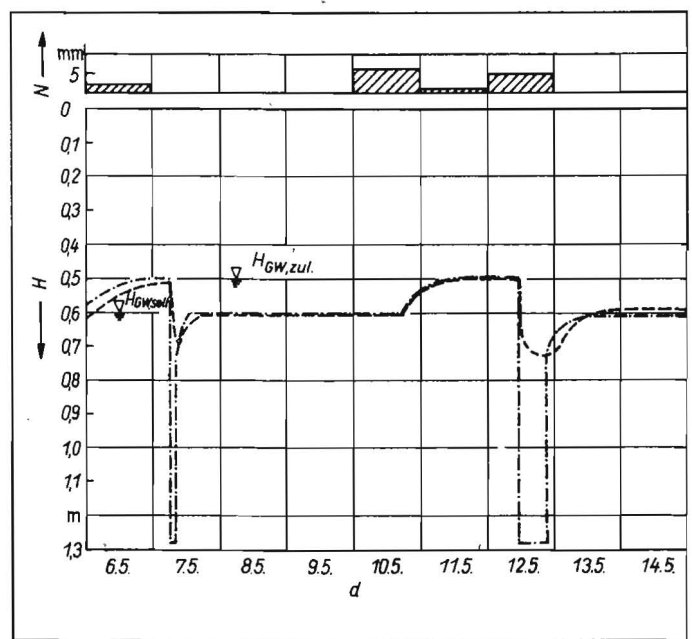


Bild 4. Beispiel der Funktion des automatischen Dränstaus für zwei nacheinander ablaufende Regelzyklen (Experimentalanlage „Eggersdorf“, Kreis Strausberg, bei verschiedenen Niederschlagshöhen,  $N$ ,  $H = 0$  Rohrsohle am Dränstau); --- Grundwasserganglinie, - - - Piezometerganglinie

der Folgeregelung mit Anpassung der Anstauhöhen an das jeweils aktuelle Regulierungserfordernis zu prüfen.

#### Literatur

- [1] TGL 42 812 Melioration; Bodenwasserregulierung. Ausg. Okt. 1985.
- [2] Hoffmann, J.; Stein, H.: Speicherung des Bodenwassers durch Dränanbau. Melioration und Landwirtschaftsbau, Berlin 22 (1988) 6, S. 277-278.
- [3] Stein, H.; Hoffmann, J.; Quast, J.: Wasserrückhalt in Dränanbausystemen durch automatische Unterflurdränstaus. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Berlin, Tagungsberichte (1989) 269 (im Druck).
- [4] Stein, H.; Quast, J.; Hoffmann, J.: Bewässerungswirkung durch Dänanbau. Feldwirtschaft, Berlin 28 (1987) 5, S. 209-211.
- [5] Hoffmann, J., u. a.: Anordnung zum Dränanbau und zur Dränspülung. DD, E02B/2578514. Ausgabetag: 13. Dez. 1983.
- [6] Hoffmann, J.; Stein, H., u. a.: Automatisch arbeitendes Unterflurregulelement zum Dränanbau. DD, E02B/2809400. Ausgabetag: 24. Sept. 1985.
- [7] Hoffmann, J., u. a.: Automatisch arbeitendes Unterflurregulelement zum Dränanbau. DD, E02B/2809394. Ausgabetag: 24. Sept. 1985.
- [8] Kegler, J.; Hoffmann, J.: Vorrichtung zum Dränanbau und gleichzeitiger Dränspülung. DD, E02B/2675314. Ausgabetag: 24. Sept. 1984.
- [9] Quast, J., u. a.: Automatische Dränanbauvorrichtung. DD, E02B/2872585. Ausgabetag: 24. Febr. 1986.
- [10] Hoffmann, J.: Beitrag zur Erarbeitung von Verfahrensgrundlagen und technischen Lösungen für den automatischen Dränanbau. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Berlin, Dissertation A 1988 (unveröffentlicht).
- [11] Richtlinie zur Vorbereitung, Ausführung und für das Betreiben von Dränanbausystemen. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg 1988.
- [12] Balla, D.: Untersuchungen zum Verschlämmungsschutz von Dränanlagen. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR Berlin, Dissertation 1984 (unveröffentlicht).