

Untersuchungen zur grabenlosen Einbringung in situ hergestellter Betonrohre für Meliorationszwecke

Prof. Dr. sc. techn. H. Schinke, KDT/Dr.-Ing. A. Palm, KDT¹⁾

Verwendete Formelzeichen

| | | |
|------------|-------------------|---|
| A_{RTA} | mm ² | theoretischer äußerer Rohrquerschnitt |
| A_{RVA} | mm ² | vorhandener äußerer Rohrquerschnitt |
| b | mm | Schwertbreite |
| d_f | mm | Formkörperdurchmesser |
| d_k | mm | Körnung des Bodens |
| d_p | mm | Preßkörperdurchmesser |
| K_{WVG} | | Anteil der Wandstärke mit $s_{WE} < 2$ mm |
| K_V | | Volumenstromfaktor |
| Q_{TA} | l/min | tatsächlicher Volumenstrom |
| Q_{TH} | l/min | theoretischer Volumenstrom |
| S | % | Schrumpfung |
| s_{BK} | mm | Basismesserbreite |
| s_{WE} | mm | hergestellte Rohrwanddicke |
| v_f | km/h | Fahrgeschwindigkeit |
| w | % | Bodenfeuchte |
| w_L | % | Fließgrenze |
| w_p | % | Ausrollgrenze |
| α_G | ° | Bogenwinkel für $s_{WE} < 2$ mm |
| ρ_B | g/cm ³ | Bodendichte |

1. Einleitung

Unterirdisch verlegte Rohre haben für Maßnahmen der Bodenwasserregulierung seit langem fundamentale Bedeutung. Sie werden in verschiedenen Konstruktionsformen und Materialarten für die Dränung, Untergrundbewässerung und wechselseitige Wasserregulierung eingesetzt.

Bei der Dränung sind aufgrund verfahrenstechnischer Unterschiede folgende Formen möglich:

- Dränung mit Grabenaushub und nachfolgender Rohrverlegung (Grabendränung)
- Dränung mit Rohrverlegung ohne Grabenaushub (grabenlose Dränung).

International haben gegenwärtig beide Verfahren Bedeutung [1, 2]. Große Beachtung findet die grabenlose Dränung. Beispiele dafür sind Maschinenentwicklungen in verschiedenen Ländern (z. B. Großbritannien, BRD, DDR, UdSSR und Österreich), die vor dem Verlegen geformte feste Rohre verarbeiten [2]. Etwa die Hälfte aller derzeit bekannten Maschinen verlegt ausschließlich Plastrohre. Die übrigen können Keramik- und Plastrohre gleichermaßen verlegen bzw. stellen Erd- oder Maulwurfdräne her. Die Arbeitstiefen reichen von 0,6 m (Flachdränung, Do-It-Yourself-Dränung, vorwiegend in Großbritannien entwickelt) bis 3,5 m (UdSSR-Entwicklung für den Einsatz im mittelasiatischen Raum) [3, 4]. In Abhängigkeit von der Arbeitstiefe verfügen die Dränmaschinen über Motorleistungen von 70 bis 390 kW. Alle selbstfahrenden Dränmaschinen sind mit Gefällesteuerungseinrichtungen ausgerüstet. Dagegen verzichten Anhänger- und Anbaumaschinen für Traktoren häufig auf derartige Einrichtungen und verlegen den Dränrohrstrang unter Ausnutzung des Geländegefälles äquidistant zur Erdoberfläche.

Reges Interesse findet weltweit der Einsatz

festen bis flüssiger Materialien zur Herstellung meliorativer Rohre im Boden. In der Literatur wird eine Reihe von Verfahren beschrieben, bei denen unter Verwendung sich verfestigenden Materials ein Rohr hergestellt bzw. ein Erdrohr stabilisiert wird [5]. Dabei läßt sich jedoch nicht nachweisen, inwieweit derartige Maschinen serienmäßig gefertigt werden und entsprechende Verfahren zum Praxiseinsatz kommen.

Für das Meliorationswesen der DDR ist die Anwendung solcher Materialien neben oder anstelle von herkömmlichen Keramik- oder Plastrohren aus verschiedenen Gründen interessant (Ablösung von Plastrohr, Senkung des Transportaufwands und Vermeidung hoher Bruchverluste beim Keramikrohr). Hauptanwendungsgebiete werden bei der Untergrundbewässerung und bei der Dränung unter dafür geeigneten Standortbedingungen gesehen [6]. Deshalb wurden Untersuchungen in dieser Richtung durchgeführt, deren Ergebnisse nachfolgend mitgeteilt werden.

2. Beschreibung des Verfahrens

Grundlegendes Prinzip bei der Betonrohrherstellung in situ ist die Gleichzeitigkeit aller für diesen Prozeß notwendigen Arbeitsschritte. Das Rohrbildungswerkzeug (Bild 1) wird von einem messerartig wirkenden I-förmigen Schwert 1 im Erdstoff geführt. Über die Förderleitung 2 wird dem Rohrbildungskörper, der aus dem Preßkörper 3, dem Ringspalt 6, dem Formkörper 4 und dem Basismesser 5 besteht, der fließfähige Beton zugeführt. Während der Arbeitsfahrt erzeugt

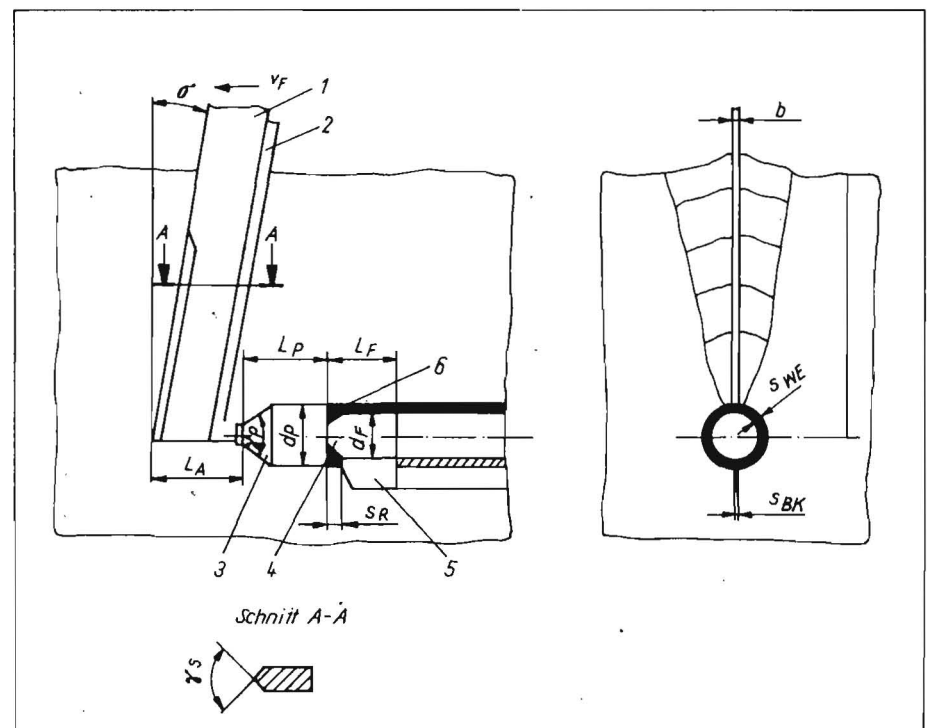
der Preßkörper 3 einen Erdgang. Der aus dem Ringspalt 6 austretende Beton wird vom Formkörper 4 gegen die Wandung des Erdgangs gedrückt und verstrichen, wobei ein innenseitig glattwandiges Betonrohr entsteht. Das Basismesser 5 erzeugt während der Rohrformung den Basisspalt, durch den der Wasseraustausch mit dem Boden erfolgt. Der Beton selbst ist wasserundurchlässig. In Abhängigkeit von der gewählten Betonmischung erhärtet das frisch geformte Betonrohr unterschiedlich schnell. Danach kann es durch fließendes Wasser belastet werden.

Die dem Verfahren zugrunde liegenden Wirkpaarungen Arbeitswerkzeug - Erdstoff, Arbeitswerkzeug - Beton und Beton - Erdstoff verdeutlichen das komplexe Wirken der unterschiedlichen Einflußfaktoren (Tafel 1) [5]. Da über die Wirkung und Gestaltung meliorationstechnischer Arbeitswerkzeuge eine Reihe weitgehend gesicherter Erkenntnisse vorliegt, richtete sich der Schwerpunkt der Untersuchungen auf die Ermittlung des Einflusses ausgewählter Betriebsparameter der Maschine sowie Stoffparameter des Betons und des Erdstoffs. Als Versuchseinrichtung wurde ein Bodenkanal verwendet, der die Variation der Betriebsparameter und des Bodenzustands ermöglichte. Die damit erzielten Ergebnisse wurden in einem anschließenden Feldversuch überprüft.

3. Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse

Das beschriebene Verfahren stellt an den Werkstoff Beton spezielle, aus der Sicht sei-

Bild 1. Prinzipskizze des Arbeitswerkzeugs; Erläuterung im Text und in Tafel 1



1) Dr.-Ing. Palm ist im VE Meliorationskombinat Rostock tätig

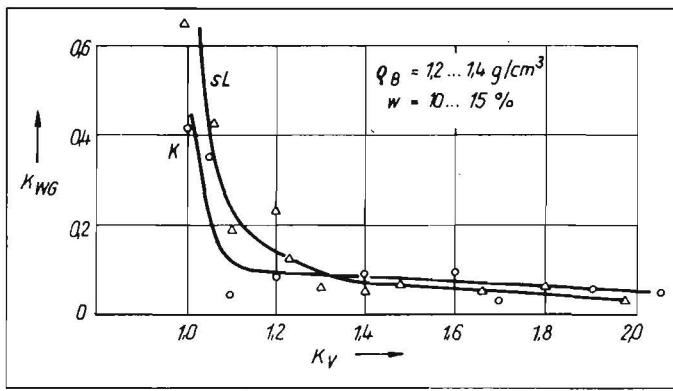


Bild 2. Einfluß des Faktors K_V auf die Ausbildung der Rohrwanddicke in unterschiedlichen Böden

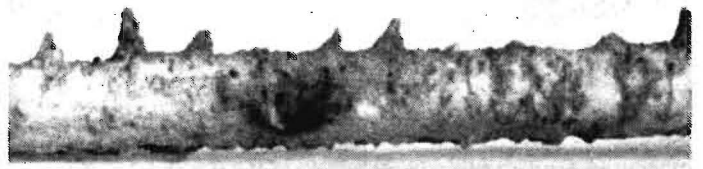


Bild 3. Materialanhäufungen im Rohrscheitelbereich

nes Transports in engen Rohrleitungen ($d_{RO} = 10 \dots 25$ mm) resultierende Anforderungen. Die Förderwilligkeit des Betons, d. h. die Eignung für ein ausgewähltes Förderverfahren, wird durch seine Konsistenz beeinflusst. Diese wiederum ergibt sich durch das Bindemittel, den Zuschlagstoff, den Wasser-Zement-Faktor (W-Z-Faktor) und Zusätze zur Betonverflüssigung (z. B. Romosid). Die geeignete Rezeptur ist durch einen W-Z-Faktor gekennzeichnet, bei dem die Rohrförderung des Betons gerade noch möglich ist, wobei die Sedimentation minimal sein sollte [7]. In Vorversuchen wurden verschiedene Rezepturen erprobt und auf ihre Förderwilligkeit hin untersucht. Wasserbindige Zemente (PZ 4/45) erwiesen sich als Bindemittel gut geeignet. Weiterhin muß ein Mehlkorngesamt des Trockengemisches von mindestens 50 % eingehalten werden. Der Größtkorndurchmesser des Zuschlagstoffs

Bild 4. Unter Feldbedingungen hergestelltes Betonrohr



Tafel 1. Zusammenstellung der Einflußfaktoren

| Parameter | Bereich |
|----------------------------|--|
| <i>konstante Parameter</i> | |
| Schwertbreite | $b = 20$ mm |
| Schwertanstellwinkel | $\delta = 15^\circ$ |
| Keilwinkel | $\gamma_p = 40^\circ$ $\gamma_s = 60^\circ$ |
| Arbeitstiefe | $L_v = 400$ mm |
| Anlenklänge | $L_a = 190$ (120) mm |
| Freiheitsgrad | — |
| Preßkörperlänge | $L_p = 100$ (80) mm |
| Preßkörperdurchmesser | $d_p = 50$ (56) mm |
| Formkörperlänge | $L_f = 100$ (34) mm |
| Formkörperdurchmesser | $d_f = 44$ (50) mm |
| Rohrleitungsdurchmesser | $d_{RO} = 20$ (10) mm |
| Rohrleitungslänge | $L_{Rt} = 4$ 500 mm |
| Ringspaltweite | $s_R = 5$ mm |
| Setzmaß | $s_B = 30 \dots 70$ mm |
| Steiigkeit | $k = (1,18 \dots 5,30) \cdot 10^{-6}$ |
| Fließexponent | $n = 0,68 \dots 0,83$ |
| Geschwindigkeit | $v_f = 1,0$ km/h |
| <i>variable Parameter</i> | |
| Bodendichte | $\rho_B = 1,1 \dots 1,9$ g/cm ³ |
| Bodenfeuchte | $w = 8 \dots w_t$ % |
| Körnung | $d_k = sL, S, K^1$ |
| Volumenstrom | $Q = 7,0 \dots 11,5$ l/min |
| Systemdruck | $p_s = f(Q)$ MPa |

1) sL sandiger Lehm, S Sand, K Kies

ist auf $\frac{1}{2}$ des Rohrleitungsdurchmessers der Förderleitung zu begrenzen. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wurde die Rezeptur mit einem Anteil von 50 % Zement, 50 % Sand (bezogen auf den Trockensubstanzgehalt), einem W-Z-Faktor von 0,34 und einem Betonverflüssigeranteil von 1 % (bezogen auf den Bindemittelanteil) entwickelt. Unter Beachtung einer Dosiergenauigkeit von ± 5 % entspricht dieser Beton den Anforderungen, die beim Transport durch enge Rohrleitungen gestellt werden.

Bei den weiteren Untersuchungen stand die Analyse des Rohrbildungsprozesses im Vordergrund. Dazu wurden alle Vorgänge erfaßt, die zur Bildung des Betonrohrs notwendig sind [5, 8]. Folgende Phasen lassen sich abgrenzen:

- Bodenaufbruch durch das Schwert
- Führen des Rohrbildungskörpers
- Pressen des Erdrohrs
- Zuführen und Ausbringen des Materials zur Rohrbildung
- Formen des Rohrs im Erdstoff
- Erhärten des Rohrs im Erdstoff.

Die ersten fünf Phasen sind durch die Konstruktions- und Betriebsparameter direkt beeinflussbar. Die sechste Phase unterliegt den vorhandenen Bodenzuständen und den Stoffparametern des Betons. Bei den durchgeführten labortechnischen Untersuchungen wurden die in Tafel 1 ausgewiesenen konstanten Konstruktions-, Stoff- und Betriebsparameter eingehalten. Zur Bestimmung des für die Rohrbildung erforderlichen Volumenstroms wird der Faktor K_V eingeführt:

$$Q_{TA} = K_V Q_{TH} \quad (1)$$

Der theoretisch notwendige Volumenstrom Q_{TH} errechnet sich zu

$$Q_{TH} = \pi/4 v_f (d_p^2 - d_f^2) \quad (2)$$

Bestimmend für die Größe des Faktors K_V ist die Glattheit der erzeugten Erdrohre, die ihrerseits durch die Bodenzustandsparameter (ρ_B, w, d_k) und das Verhältnis b/d_p , das mit 0,4 festgelegt ist, bestimmt wird.

Im Bild 2 ist der Einfluß des Faktors K_V auf die Ausbildung der Rohrwanddicke dargestellt. K_{WG} stellt einen Faktor dar, der den Anteil der zu gering ausgebildeten Rohrwanddicke kennzeichnet. Er errechnet sich zu

$$K_{WG} = \frac{\sum \alpha_G}{360^\circ} \quad (3)$$

Die Rohre wurden unter weitgehend konstanten Bodenzuständen ($\rho_B = 1,2 \dots 1,6$ g/cm³, $w = 10 \dots 14$ %) in sL und K erzeugt. Infolge unterschiedlicher Bedingungen beim Bodenaufbruch und bei der Erdrohrformung muß in sL bei gleicher Qualität der Wanddikenausbildung mit einem höheren Wert für K_V ($K_V \approx 1,4$) als in Kies ($K_V \approx 1,2$) gearbeitet werden. Im Scheitelbereich des in sL hergestellten Erdrohrs entstehen Störungen, die im Verlauf der Betonrohrformung mit Beton ausgefüllt werden, was bei Anwendung niedriger Werte für K_V ($K_V \approx 1$) zu einer deutlichen Schwächung der erzeugten Rohrwanddicke s_{WE} führt (Bild 3).

Während der Rohrhärtung unterliegt das Betonrohr der Schrumpfung. Sie errechnet sich am erhärteten Rohr zu

$$S = \left(1 - \frac{A_{RVA}}{A_{RTA}} \right) 100 \% \quad (4)$$

Die Rohrschrumpfung vollzieht sich so lange, bis zwischen den Widerstandskräften des erstarrenden Betonrohrmantels und den Bodenrückstellkräften ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. In sL weist die Schrumpfung unterhalb der Ausrollgrenze nahezu konstante Werte im Bereich $S = 8 \dots 10$ % auf. Oberhalb der Ausrollgrenze bei $w > w_p$ steigt sie deutlich an und

wird bei $S > 20\%$ kritisch für die Rohrhärtung. In K ist im Feuchtebereich von $8\% < w < 21,8\%$ die Schrumpfung mit $S = 11 \dots 14\%$ ebenfalls weitgehend konstant.

Der Einfluß der Bodendichte auf die Schrumpfung ist von untergeordneter Bedeutung. Auch bei extrem dicht gelagerter Erdstoff ($\rho_b > 1,7 \text{ g/cm}^3$) ist bei $w < w_p$ die auftretende Schrumpfung $S < 20\%$ und damit nicht kritisch.

Die Ausbildung des Basisspalts hängt von der Schrumpfung und von der Bodenkonsistenz ab. Je „weicher“ der Beton ist, um so größer ist das „Verlaufen“ der Wandung und die Gefahr, daß sich der Spalt zusetzt.

Die Betonrohrherstellung im sehr vernähten rohrnahen Raum ($26\% < w < w_c$) des sL zeigt am erhärteten Rohr erhebliche Schrumpfungerscheinungen bis $S = 50\%$. Bei Bodenfeuchten $w > w_c$ kommt es zum vollständigen Schrumpfen des Rohrs. In K zeigt sich die gleiche Tendenz. In Erdstoffen mit loser Konsistenz ist eine Betonrohrherstellung in situ nicht möglich, da das Erdrohr unmittelbar nach der Rohrformung zusammenfällt.

Aus den labortechnischen Versuchen leitet sich ab, daß die Betonrohrherstellung nur in bindigen Erdstoffen mit halbfester Konsistenz erfolgversprechend ist. Dabei muß die Bodenfeuchte unterhalb der Ausrollgrenze liegen, da es sonst zu großer Schrumpfung am Rohr kommt, die zum Verschluß des Basisspalts und zum „Verlaufen“ der Rohrwanung führt.

Rohre unterliegen im Boden physikalischer und chemischer Korrosion sowie mechanischen Belastungen. In weiteren Untersuchungen wurde festgestellt, daß das Betonrohr rd. 6 h nach seiner Erzeugung durch Schrumpfung und fließendes Wasser nicht mehr beeinflußt wird. Aufgrund äußerer mechanischer Belastung durch überfahrende Landmaschinen muß bei einer Rohrwanddicke $s_{WE} = 3 \text{ mm}$ in Abhängigkeit vom umgebenden Erdstoff eine Mindestbautiefe von 0,4 bis 0,6 m gefordert werden.

Ausgehend von den im Labor gewonnenen Erkenntnissen wurde das Forschungsmuster einer Maschine zur Betonrohrherstellung in situ entwickelt und erprobt [9]. Damit wurden insgesamt rd. 4 000 m Betonrohr zur Unterflurbewässerung in einer Arbeitstiefe von 0,4 m hergestellt. Die aktuellen Bodenzustände boten die o. g. günstigen Bedingungen für die Betonrohrherstellung. Die an den Proben ermittelte Schrumpfung war mit $S \leq 10\%$ für die Rohrhärtung nicht kritisch. Alle Probestücke verfügten über eine vollständige, gleichmäßige Ausbildung der Wanddicke ($NW = 50 \text{ mm}$, $s_{WE} = 3 \text{ mm}$). Im Bild 4 ist der Vertikalschnitt eines unter Feldbedingungen hergestellten Betonrohrs wiedergegeben. Der Vergleich mit herkömmlichen Dränverfahren (Keramiko- und Plastrohrdränung) läßt bei Anwendung des Betonrohrs eine Einsparung an Materialkosten bis zu 80 % und an technologischen Kosten bis zu 60 % erwarten.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In bisherigen Untersuchungen konnte der Nachweis praktischer Anwendbarkeit der Betonrohrherstellung in situ erbracht werden. Dieses Verfahren hat folgende Vorteile:

- Einsparung von Materialkosten und technologischen Kosten
- deutliche Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit der Rohrverlegungsmaschine bis auf 2 km/h
- Möglichkeit der Anpassung der Rohrkonstruktion an die konkreten Standortbedingungen
- Einsatz langfristig verfügbarer energiereicher Baustoffe.

Dem stehen derzeit noch folgende Nachteile entgegen:

- Einsatzenergie nur in bindigen Erdstoffen mit halbfester Konsistenz gewährleistet
- kontinuierliche Arbeitsweise während der Rohrherstellung muß absolut gesichert sein
- Begrenzung der Einsatzmöglichkeit des

Verfahrens auf weitgehend steinfreie Böden.

Für die Weiterentwicklung ergibt sich eine Reihe von Aufgaben maschinentechnischer Art (Entwicklung von steinräumenden Arbeitswerkzeugen, geeigneten Prozeßkontrollenrichtungen, Gestaltung des Gesamtverfahrens) und meliorationstechnischer Art (weitere Klärung der meliorativen Wirkung des Rohrs, standortspezifische Anforderungen an die Rohrkonstruktion). Ihre erfolgreiche Lösung stellt die Voraussetzung für die praktische Anwendung des Verfahrens in größerem Umfang dar.

Literatur

- [1] Mohn, F.-H.: Fräsketten und grabenlos arbeitende Dränmaschinen. Universität Gießen, Dissertation 1975.
- [2] Schinke, H.; Palm, A.: Zur Entwicklung der grabenlosen Dränung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math.-naturw. Reihe 31 (1982) 4, S. 37–43.
- [3] DIY-Drainage. Power Farming, London 61 (1982) 11, S. 16–21.
- [4] Kasakov, V. S.: Beztranšejny drenoukladnik (Gabenloser Dränverleger). Moskva: Rossel'chozizdat 1974.
- [5] Palm, A.: Untersuchungen zur grabenlosen Einbringung in situ erzeugter Betonrohre für Meliorationszwecke. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1983.
- [6] Olbertz, M.: Low Pressure Irrigation – New Problems and Solutions (Niederdruckbewässerung – Neue Aufgaben und Lösungen). ICID-Bulletin, New Delhi, 32 (1983) 1, S. 1–10.
- [7] Schaffenger, J.; Palm, A.: Über den Transport von Beton in engen Rohrleitungen. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math.-naturw. Reihe 32 (1983) 3, S. 25–30.
- [8] Schinke, H.; Palm, A.: Die Rohrbildungsprozeß unterirdisch grabenlos in situ erzeugter Meliorationsrohre aus Beton. Wissenschaftliche Zeitschrift der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Math.-naturw. Reihe 32 (1983) 3, S. 13–19.
- [9] Maschine zum grabenlosen Einbringen von Rohren. EB-DD-249457, E 02 B 11/00.

A 4303

Anwendung der Baueinheitenprojektierung bei der Rationalisierung und Rekonstruktion von Tierproduktionsanlagen

Prof. Dr. sc. techn. U. Mittag, KDT/Dipl.-Ing. D. Thamm¹⁾

Zielstellung der Rationalisierung und Rekonstruktion

Die Rationalisierung und Rekonstruktion von Stallgebäuden und Tierproduktionsanlagen stellt neue und höhere Anforderungen an die Produktionsvorbereitung, vor allem unter dem Aspekt, auf diesem Weg den weiteren Übergang zur industriemäßigen Tierproduktion zu realisieren. Gegenüber der bei der Neuerrichtung von Anlagen angewendeten Methode der Angebotsprojektierung kommen als zusätzliche Aufgaben hinzu:

- Aufnahme der Bausubstanz, Bausubstanzanalyse und Beurteilung der Rekonstruktionwürdigkeit der Einzelobjekte und Anlagen
- Erfassung der produktionstechnischen Ausrüstung und Aussagen zur weiteren Verwendung, zur Schließung von Mechanisierungslücken oder zur Modernisierung der Ausrüstung
- Standortanalyse hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Einordnung und hinsichtlich der ingenieurtechnischen Erschließung (Ver- und Entsorgung).

erweitert. Als neue Elemente müssen berücksichtigt werden:

- Aussagen zur Spezialisierung und Konzentration der Produktion am jeweiligen Standort unter Beachtung der Einordnung in das Territorium (landwirtschaftlich-technologische Zielstellung)
- Abgrenzung der Investitionsmaßnahmen und -objekte und deren Untergliederung in Maßnahmen zur Werterhaltung und Gebäudesanierung sowie zur Komplettierung der ingenieurtechnischen Ver- und Entsorgung, in Maßnahmen zum Umbau und zur Erweiterung und in Maßnahmen zur Neuerrichtung von Einzelobjekten und Anlagen

Das vom Projektanten abzuarbeitende Entscheidungsfeld hat sich ebenfalls wesentlich

1) Dipl.-Ing. Thamm ist im VEB Landtechnischer Anlagenbau Rostock tätig