

Dipl.-Ing. H. HOLJEWILKEN

## Die prinzipielle Wirkungsweise der Gefälleregelung bei modernen Dränmaschinen<sup>1</sup>

### Problematik der Gefällesteuerung bei Dränggrabengrabbagern

Dränggräben sind schmale Gräben mit nahezu senkrechten Wänden, in denen Dränrohre, die einen Dränstrang bilden sollen, verlegt werden. Dränstränge sind unterirdische Freispigelleitungen und müssen daher zwecks einwandfreier Funktion in ordentlichem Gefälle — im Bereich von 0,3 bis 9 ‰ — 0,3 bis 9 m Höhenunterschied auf 100 m Stranglänge — verlegt werden. Das Dränstranggefälle stimmt nicht immer mit dem durchschnittlichen Gefälle der Geländeoberfläche überein.

Im Gegensatz zu Grabenbaggern für die Herstellung von Kabelgräben, Druckrohrleitungen (Pipelines) und anderen Gräben mit senkrechten Wänden, bei denen es nicht auf die Einhaltung eines exakten Gefälles ankommt, müssen Dränggrabenbagger unabhängig vom Geländegefälle und vom Mikorelief einen Graben mit einer exakt im vorgeschriebenen Gefälle liegenden Grabensohle herstellen. An das Anbausystem für den Anbau des Arbeitswerkzeuges an den Rahmen des Dränggrabenbaggers werden also spezielle Anforderungen gestellt, die sich etwa folgendermaßen formulieren lassen.:

Der Mechanismus des Anbausystems einer Dränmaschine ist so auszulegen, daß das Arbeitswerkzeug unabhängig von langsamen oder plötzlichen horizontalen Höhenlagenveränderungen oder Winkellagenveränderungen des Maschinenrahmens in einem beliebigen Tiefenlagenbereich zwischen 500 mm und 1500 mm (für extreme Verhältnisse bis 1800 mm) in einer gleichmäßigen beliebigen Gefällelinie mit Neigungen zwischen  $\pm 10 ‰ \cong \pm 6^\circ$  und Abweichungen von  $\pm 25$  mm von der geforderten Gefällelinie geführt werden kann, daß ein kurzer Einfahrweg möglich ist und die Führung in der Gefällelinie von einem automatischen Regelsystem erfolgen kann.

Im allgemeinen besteht ein Dränggrabenbagger (Bild 1) aus den Baugruppen:

- Maschinenrahmen mit Motoren und Getrieben;
- Laufwerk;
- Arbeitswerkzeug;
- Zusatz- oder Hilfseinrichtungen.

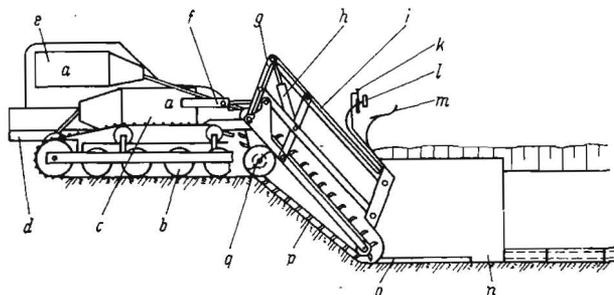


Bild 1. Schema eines Fräsketten-Dränggrabenbaggers; a Motor und Getriebe, b Laufwerk, c Fahrtrieb, d Maschinenrahmen, e Werkzeugantrieb, f Aushubzylinder, g Werkzeuganlenkung, h Steuerzylinder, i Steuerkabel, k Peilstab, l Steuerkasten, m Maschinensitz (seitlich), n Rohrverlegekasten, o Schleifschuh, p Fräskette, q Querförderschnecke

Die Vielzahl der Dränggrabenbagger weist in den Baugruppen Unterschiede auf. So gibt es Räder-, Halbtraufen-, Volltraufen- und Sonderlaufwerke; Eimerketten, Eimerräder, Fräsketten und Fräsräder bei den Arbeitswerkzeugen sowie als Art des Vortriebes bei der Arbeitsfahrt die Benutzung von Zug- oder Tragtraktoren, Vortrieb über das eigene Laufwerk oder Vortrieb über Seilwinden.

Für die Erfüllung der Forderung nach exakter Gefälleerhaltung ist die Art des Anbaues des Arbeitswerkzeuges am Maschinenrahmen maßgebend. Hier gibt es die vielfältigsten, praktisch auch ausführbaren Bauformen. Die Analyse einer Vielzahl bekannt gewordener Baggertypen ergab 32 teils ähnliche, teils sehr unterschiedliche Grundtypen.

### Systematik der Anbausysteme

Es schien zweckmäßig, als systematisches Einteilungsprinzip die dem Anbausystem zugrunde liegende, für den Zwanglauf maßgebende kinematische Kette zu benutzen. Hiernach ergab sich, daß insgesamt 8 unterschiedliche Gruppen vorkommen und zwar:

- 2gliedrige Kette mit Drehgelenk
- 2gliedrige Kette mit Schiebegelink
- 4gliedrige Kette ohne Schiebegelink
- 4gliedrige Kette mit 1 Schiebegelink
- 4gliedrige Kette mit 2 Schiebegelinken
- 6gliedrige Kette mit getrennten ternären Gliedern und 1 Schiebegelink
- 6gliedrige Kette mit verbundenen ternären Gliedern und 1 Schiebegelink
- 6gliedrige Kette mit verbundenen ternären Gliedern und 2 Schiebegelinken

Es zeigt sich aber, daß die Funktion des Anbausystems im Sinne der definierten Optimierungsforderung weniger von der Wahl einer bestimmten kinematischen Kette als vielmehr davon abhängig ist, ob der Boden — speziell die bei der Arbeit entstehende Grabensohle — kinematisch als Gestell in die Bewegungsfunktion einbezogen ist oder nicht.

Zur 1. Kategorie gehören alle Systeme mit 2gliedrigen kinematischen Ketten und einige mit 4gliedrigen kinematischen Ketten. Gemeinsam ist bei dieser 1. Kategorie, daß bei der Arbeit Maschinenrahmen und Arbeitswerkzeug in jedem Augenblick eine starre Einheit bilden. Jede translatorische Höhenlagenänderung des Maschinenrahmens bewirkt eine gleiche Höhenlagenänderung des Arbeitswerkzeuges. Jede Winkellagenänderung des Maschinenrahmens bewirkt eine gleiche Winkellagenänderung des Arbeitswerkzeuges und eine Höhenlagenänderung des tiefsten Punktes des Arbeitswerkzeuges  $P_w$ , der Erzeugenden der Dränggrabensohle, die vom Abstand dieses Punktes von der momentanen Drehachse und von der Größe des Drehwinkels

<sup>1</sup> Auszug aus der bei der TU Dresden eingereichten Dissertation des Verfassers: „Analyse der Anbausysteme für den Anbau der Arbeitswerkzeuge an Dränggrabenbagger“

abhängig ist. Bei der Gefälleregulung müssen solche von der Bodenoberfläche eingeleitete Höhenlagenänderungen des Werkzeuges durch zwangsweise Verstellung des Werkzeuges gegenüber dem Rahmen kompensiert werden und zwar so schnell, daß keine unzulässig großen Abweichungen der Sohle vom Sollwert auftreten. Dies ist unter vielen Bedingungen — besonders bei unebenen Bodenoberflächen — sehr schwierig und manchmal unmöglich, weshalb die Bagger dieser Kategorie als Primitivformen anzusprechen sind.

Die Bagger der 2. Kategorie haben gemeinsam, daß sie mit einem Schleifschuh ausgerüstet sind, über den bei der Arbeit das Arbeitswerkzeug auf die erzeugte Grabensohle abgestützt wird. Das Arbeitswerkzeug ist weiterhin über einen beweglichen oder einen oder mehrere feste Gelenkpunkte mit dem Maschinenrahmen verbunden, um den oder die es sich während der Arbeit frei — in Schwimmstellung — drehen kann (Bild 2). Bei einer Höhen- oder Winkellagenänderung des Maschinenrahmens folgt hier nicht eine gleichgroße oder größere Höhenlagenänderung des tiefsten Werkzeugpunktes, sondern im ersten Moment nur eine

Winkellagenänderung, denn wegen der freien Dreharbeit um die Anlenkpunkte und des aus der Masse des Arbeitswerkzeuges resultierenden Momentes um den oder die Anlenkpunkte bleibt immer ein Punkt des Schleifschuhes in Berührung mit der Grabensohle. Es wird also eine neue Konstellation erzeugt, die erst im weiteren Verlauf der Arbeit zu einer Höhenlagenänderung über eine Schleppkurve führt, wenn dies nicht über einen Regelvorgang verhindert wird. Bei dieser zweiten Kategorie bleibt für Regelvorgänge meist genügend Zeit, auch können niemals wie bei der 1. Kategorie Absätze und Sprünge in der Grabensohle entstehen, sondern nur sanfte Übergänge in Form von Schleppkurven. In der 2. Kategorie gibt es zwei verschiedene Bauformen mit unterschiedlicher Wirkungsweise. Die 1. Bauform besitzt einen oder mehrere am Maschinenrahmen fest fixierte Anlenkpunkte — bei mehreren Anlenkpunkten ist das Anbausystem im Sinne der Optimierungsforderung theoretisch nicht einwandfrei, worauf hier aber aus Platzgründen nicht eingegangen werden kann —, die 2. Bauform einen gegenüber dem Rahmen verstellbaren Anlenkpunkt.

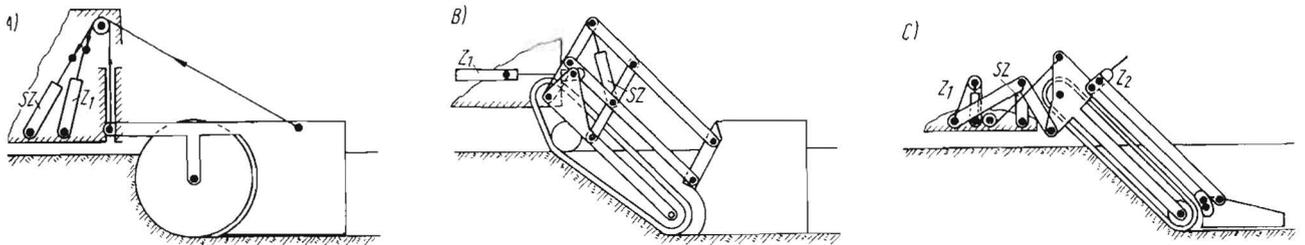
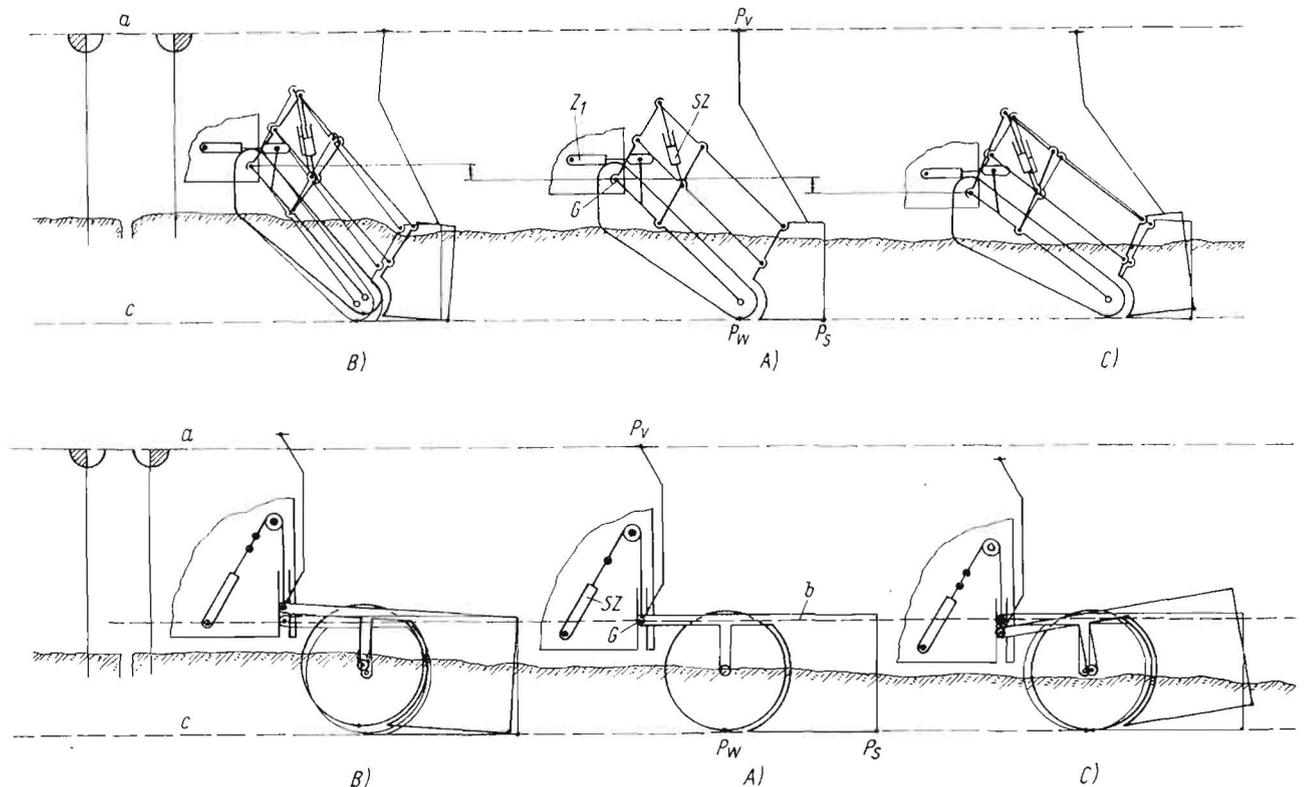


Bild 2. Verschiedene Formen der Werkzeugführung, bei der ein Schleifschuh das Arbeitswerkzeug auf der erzeugten Grabensohle abstützt (2. Kategorie)

Bild 3. Die zwei grundsätzlich möglichen Bauformen der 2. Kategorie der Werkzeugführung (nähere Erläuterung im Text)



## Prinzipielle Wirkungsweise der 1. und 2. Bauform

Zur Erläuterung der prinzipiellen Wirkungsweise beider Bauformen soll davon ausgegangen werden, daß gegenüber einer Normallage, bei der der tiefste Punkt des Arbeitswerkzeuges  $P_W$  und der hinterste Punkt des Schleifschuhs  $P_S$  in der projektierten Grabensohle liegen, einmal eine Höhenlagenabweichung des Maschinenrahmens und damit des Anlenkpunktes  $G$  nach oben und zum anderen nach unten erfolgt (Bild 3, Bauform 1 oben, Bauform 2 unten). Hat sich bei der 1. Bauform der Anlenkpunkt  $G$  nach oben bewegt (Phase B in Bild 3), so geschieht folgendes:

Da der Aushubzylinder  $Z_1$  sich bei der Arbeit in Schwimmstellung befindet — im Bild durch ein Langloch angedeutet — und der Steuerzylinder  $SZ$  in jedem Augenblick eine bestimmte feste Stellung einnimmt, bilden Arbeitswerkzeug und Schleifschuh momentan eine starre Einheit, die sich frei um den Gelenkpunkt  $G$  in einer Ebene bewegen kann. Die Masse des Arbeitswerkzeuges bewirkt eine Drehung im Uhrzeigersinn so weit, daß der Punkt  $P_S$  des Schleifschuhs mit der erzeugten Grabensohle in Berührung bleibt. Der tiefste Punkt des Arbeitswerkzeuges  $P_W$ , der die Grabensohle erzeugt, hat sich nach oben bewegt. Würde man nun keine Steuerbewegung über den Steuerzylinder  $SZ$  durchführen, sondern das System starr lassen und die Arbeitsfahrt fortsetzen, so würde eine Grabensohle erzeugt, die eine Schleppkurve zur Bahn des Anlenkpunktes  $G$  darstellen würde. Jeder Konstellation zwischen Werkzeug und Schleifschuh, die durch eine bestimmte Stellung des Steuerzylinders hervorgerufen wird, entspricht nämlich eine geometrisch bedingte Tiefenlage, deren Größe durch den Abstand der Geraden  $P_W P_S$  von der Parallelen zu  $P_W P_S$  durch  $G$  gegeben ist. Um die Höhenlagenveränderung des Punktes  $P_W$  infolge der Höhenlagenveränderung des Punktes  $G$  rückgängig zu machen, muß der Steuerzylinder  $SZ$  so weit gestreckt werden, bis die Verbindungslinie durch  $P_W P_S$  wieder mit der gewünschten Grabensohle zusammenfällt.

Hat sich der Anlenkpunkt  $G$  gegenüber der Normallage nach unten bewegt (Phase C, Bild 3) so geschieht das Umgekehrte: Da das Werkzeug unter Belastung durch die Eigenmasse nicht plötzlich nach unten ausweichen kann, wird momentan der unterste Punkt des Arbeitswerkzeuges  $P_W$  auf der Höhe des gewünschten Grabensohle bleiben und das starre System Werkzeug — Schleifschuh sich entgegen dem Uhrzeigersinn um den Punkt  $G$  drehen. Dabei hebt sich der Schleifschuh von der Grabensohle ab. Würde man nun nicht sofort durch Einzug des Steuerzylinders  $SZ$  den Schleifschuh wieder auf der Grabensohle abstützen, so würde sich das Werkzeug unter der Wirkung des Drehmomentes um den Punkt  $G$  infolge des Eigengewichtes tiefer in den Boden einfräsen und zwar so lange, bis der Schleifschuh auf der Grabensohle wieder aufliegt und die Stützkraft des Schleifschuhs ein gleichgroßes Drehmoment um Punkt  $G$  in entgegengesetzter Richtung erzeugt. Die Verlagerung des Punktes  $G$  wird in beiden Fällen an einem Peil- oder Taststab im Punkt  $P_V$ , der senkrecht über  $P_W$  liegen sollte, beim konventionellen Visier- oder Leitdrahtverfahren dem Sinne nach richtig angezeigt. Dieses System gestattet also das Erkennen, Einleiten und Durchführen von Korrektursteuern zu einem Zeitpunkt, an dem die gewünschte Lage der Grabensohle noch nicht verändert wurde.

Bei der ersten Bauform kommen auch Konstruktionen mit zwei oder drei festen Anlenkpunkten am Maschinenrahmen vor. Sie arbeiten nach ähnlichem Prinzip, indem zur Tiefensteuerung der Schleifschuh parallel relativ zum Arbeitswerkzeug verstellt wird, sie sind aber theoretisch nicht einwandfrei, weil bei einer Winkelbewegung des Maschinen-

rahmens (Nickschwankung) auch der Schleifschuh eine Winkellagenänderung erfährt.

Die Funktionsweise der zweiten Bauform (Bild 2A) ergibt sich aus Bild 3 unten.

Bei der Arbeit stützt sich das Arbeitswerkzeug über den Schleifschuh auf die Grabensohle ab. Der Zylinder  $Z_1$  ist in Schwimmstellung — das Seil zum Ausheben des Arbeitswerkzeuges in Transportstellung ist schlapp. Dadurch können sich Arbeitswerkzeug und Schleifschuh, die immer eine starre Einheit bilden, frei um den Anlenkpunkt  $G$  drehen. Der Anlenkpunkt  $G$  kann mit Hilfe des Steuerzylinders  $SZ$  zwangsweise gegenüber dem Maschinenrahmen — in einer Geradföhrung (Bild 2A) oder auf einer Kreisbahn (Bild 2C) — bewegt werden. Im ersten Regelfall hat sich der Gelenkpunkt  $G$  nach oben bewegt. Arbeitswerkzeug und Schleifschuh werden angehoben, infolge ihres Eigengewichtes bleibt aber Punkt  $P_S$  auf der Grabensohle, so daß eine Drehung um  $G$  im Uhrzeigersinn erfolgt. Zum Ausgleich der Abweichung ist der Gelenkpunkt  $G$  um den gleichen Betrag abzusenken, um den er sich mit dem Maschinenrahmen nach oben bewegt hatte (Bild 3 unten, Phase B).

Im anderen Fall (Bild 3, Phase C) hat sich Punkt  $G$  nach unten verlagert. Werkzeug und Schleifschuh haben sich um Punkt  $G$  entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht, wobei im ersten Augenblick der tiefste Punkt des Arbeitswerkzeuges  $P_W$  in Höhe der Grabensohle verbleibt. Um eine Abweichung zu vermeiden, muß der Anlenkpunkt im Maschinenrahmen so weit angehoben werden, wie er sich mit dem Maschinenrahmen abgesenkt hatte. Da bei dieser Bauform die Konstellation zwischen Arbeitswerkzeug und Schleifschuh konstant bleibt (jedenfalls immer jeweils einer Arbeitsfahrt) — die Verlängerung der Unterkante des Schleifschuhs tangiert immer die Hüllkurve des Arbeitswerkzeuges — entsteht eine Grabensohle, die eine Schleppkurve zur Bahn des Gelenkpunktes  $G$  darstellt. Ist die Bahn des Gelenkpunktes eine Gerade, so ist die Grabensohle ebenfalls eine Gerade, die zur Bahn des Gelenkpunktes parallel und in einer Entfernung verläuft, die dem senkrechten Abstand zwischen  $G$  und der Geraden durch  $P_W P_S$  entspricht.

Durch diese Bedingung ist das Prinzip der Gefällesteuerung bei dieser Bauform einfach dadurch gegeben, daß man den Gelenkpunkt  $G$  in einer Parallelen zur projektierten Grabensohle föhrt. Zweckmäßigerweise bringt man daher den Peil- oder Taststab so an, daß er senkrecht über dem Gelenkpunkt  $G$  liegt. Es wird dann jede Stellung angezeigt, die den Beginn einer Abweichung bedeutet, und die korrigierende Steuerbewegung kann eingeleitet werden, noch ehe schädliche Abweichungen der Grabensohle von der Sollage eingetreten sind.

Aus dieser allgemeinen Analyse der Wirkungsweise der beiden Bauformen geht hervor, daß eine genau liegende Grabensohle theoretisch erreichbar ist, wenn die Abweichung rechtzeitig erkannt wird und die Reaktionszeit des Maschinisten hinreichend kurz sowie die Stellgeschwindigkeit des Steuerzylinders hinreichend hoch ist. Im praktischen Dräubetrieb kommen aber auch reale Abweichungen der Sohle von der Sollage vor und der Schleifschuh wird mit den gleichen Steuerbewegungen auf die Sollage zurückgeföhrt wie zuvor in den Regelfällen beschrieben. Der Maschinist weiß im Einzelfall nicht, ob die am Peilstab angezeigte Abweichung auf einer momentanen Verlagerung des Maschinenrahmens oder schon auf einer realen Abweichung der Grabensohle beruht. Das spielt aber auch keine Rolle, denn er muß mit der gleichen Steuerbewegung reagieren, ganz egal, ob er eine Abweichung verhindern oder korrigieren will.

A 7605