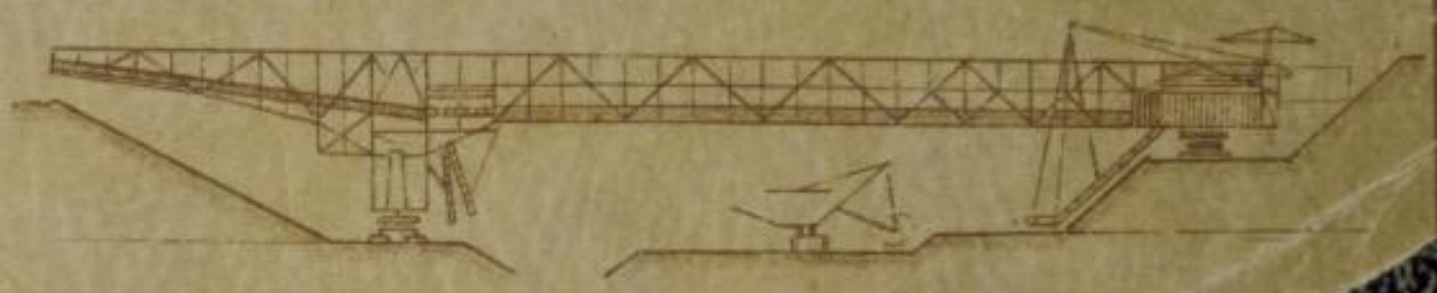
Richard Steinmetz

Probleme beim Betrieb von Förderbrücken mit mehr als einem angeschlossenen Gewinnungsgerät



D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung der Würde eines Dr.-Ing.
an der Fakultät für Bergbau der
Bergakademie Freiberg

von

Dipl.-Ing. Richard Steinmetz, Laubusch

Vorlage am	2o. 6. 1964
Mündl. Prüfung am	12. 9. 1964
Verteidigung am	14.11. 1964

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Hirtig
Korreferent:	Prof. Dipl.-Ing. Bahr

Richard Steinmetz

Probleme beim Betrieb von Förderbrücken mit mehr als einem angeschlossenen Gewinnungsgerät

Laubusch, im Juni 1964

Inhaltsverzeichnis

Die Erfahrungen beim Betrieb von Förderbrücken haben unwiderlegbar bewiesen, daß es nach dem heutigen Stand der Technik für die Bedingungen unserer Braunkohletagebaue keine ökonomisch günstigere Betriebsform als den Förderbrückenbetrieb gibt. Mit dem Einsatz der ersten Förderbrücke im Jahre 1924 im Tagebau Plessa setzte eine stürmische Entwicklung ein, die bis zum Ende des zweiten Weltkrieges unvermindert anhielt. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden insgesamt fünfundzwanzig Förderbrücken gebaut mit Dienstgewichten von 300 bis 10000 t. Beim Aufbau unserer Braunkohleindustrie nach 1945 spielte die Entwicklung von neuen und leistungsfähigen Förderbrücken wiederum eine große Rolle. Als Förderbrückentyp für die Niederlausitz wurde nach umfangreichen Untersuchungen eine Zweistützenbrücke mit Abstützung auf dem Baggerplanum und auf einem Vorkippenplanum festgelegt. Die Gewinnung des Abraumes erfolgt in zwei Schnitten. Im Bild 1 sind die gebauten Typen und ihre Hauptabmessungen dargestellt. Für die einzusetzenden Förderbrücken wurde entschieden, daß als Gewinnungsgeräte zwei Ds 1120 oder Ds 1600 auf einem gemeinsamen Gleisrost angeschlossen werden. Unter diesen Gesichtspunkten wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Förderbrücken gebaut und zum Einsatz gebracht. Mit dieser hochproduktiven Technologie werden im Jahre 1964 in der Niederlausitz 59,1 % der Gesamtabraumbewegung durchgeführt. Die Massenbewegung durch Förderbrücken wird bis zum Jahre 1970 auf rd. 143 % gegenüber dem heutigen Stand ansteigen und bis 1980 auf mehr als 200 % entwickelt.

Zur Bewältigung dieser Aufgaben ist ein umfangreicher Neubau von Förderbrücken notwendig. Die Serie der 34-m-Förderbrücken wird im Jahre 1964 mit der Ausrüstung des Tagebaues Seese abgeschlossen. Insgesamt sind damit neun Anlagen dieses Typs im Einsatz.

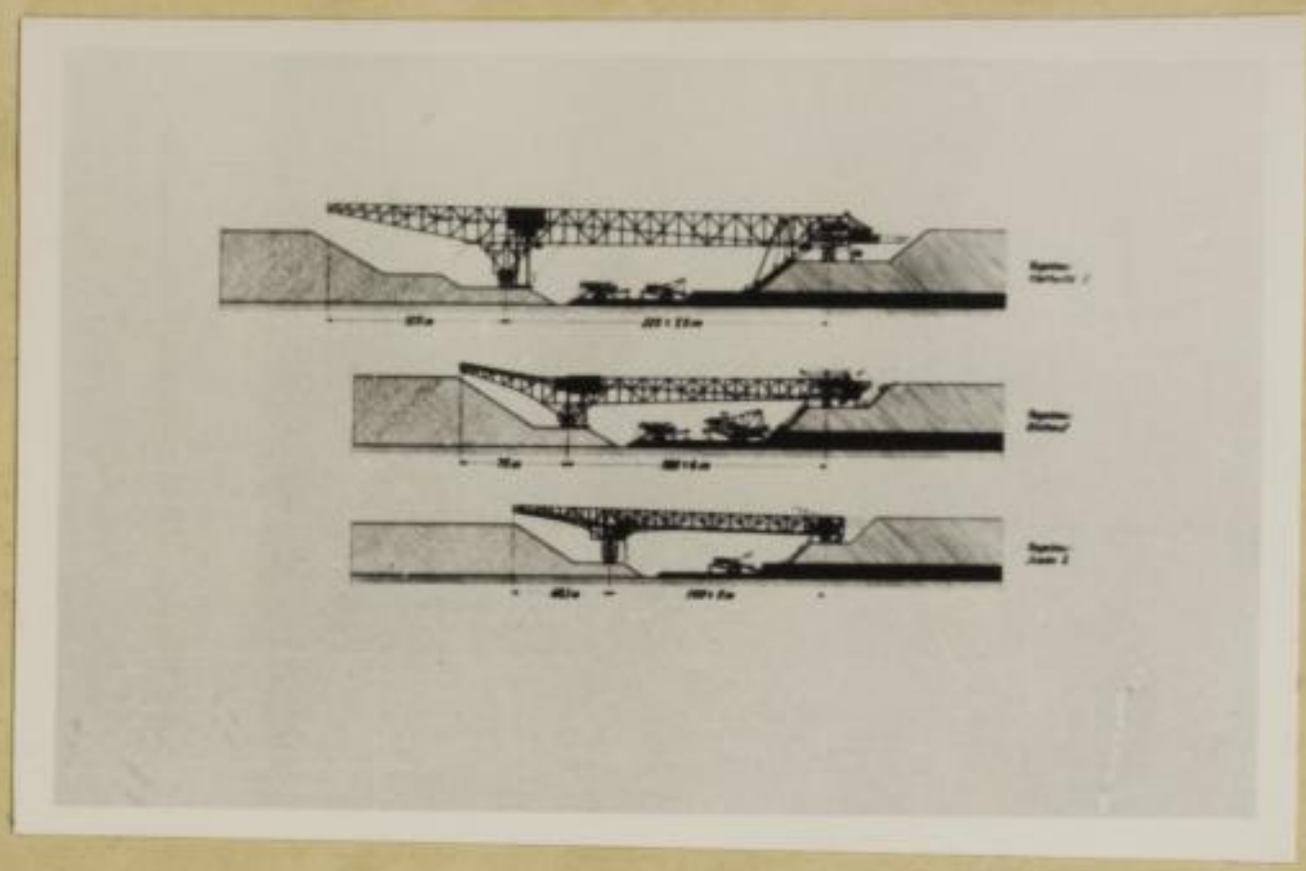


Bild 1

Die erste Förderbrücke mit 45 m Abtragshöhe wurde im Tagebau Klettwitz in Betrieb genommen, weitere Brücken dieser Art werden in den nächsten Jahren in den neu aufzuschließenden Betrieben folgen. Als Gewinnungsgerät wird in der Perspektive ein Ds 3150 angeschlossen. Für Kohlefelder mit sehr großer Abraummächtigkeit ist vorgesehen, eine Förderbrücke mit Abtragshöhen bis zu 60 m zu entwickeln.

Der Einsatz der Förderbrücken erfolgte unter unterschiedlichen technologischen Bedingungen. Aufgabe dieser Arbeit soll es sein, die Arbeitsweise der der unter verschiedenen Verhältnissen eingesetzten Förderbrücken zu untersuchen und daraus Schlußfolgerungen für den weiteren Bau und Einsatz zu ziehen.

1. Analyse der Betriebsergebnisse

Die Betriebsergebnisse der seit 1924 eingesetzten Förderbrücken waren je nach Bauart und Einsatzbedingungen unterschiedlich. Die Auswertung der Erfahrungen führte zu den heutigen Förderbrücken mit 34 und 45 m Abtragsmächtigkeit. Alle Erkenntnisse auf dem Gebiet der Bodenmechanik, des Geräteeinsatzes und der Technologie wurden dabei berücksichtigt. Nachdem die neu entwickelten Förderbrücken in verschiedenen Betrieben über Jahre im Einsatz sind, ist es notwendig, die erzielten Ergebnisse zu analysieren und einer kritischen Betrachtung zu unterziehen.

1.1 Erreichte technisch-wirtschaftliche Kennziffern in Förderbrückenbetrieben

In Tabelle 1 sind die technisch-wirtschaftlichen Kennziffern für alle Förderbrückenbetriebe enthalten, die von 1960 bis 1963 in den Tagebauen der Niederlausitz im Einsatz waren. Diese Übersicht zeigt, daß in der zeitlichen Auslastung der Förderbrücken wesentliche Unterschiede bestehen. Es sind zum Teil aber auch erhebliche Differenzen zwischen Förderbrücke und angeschlossenen Baggern zu erkennen. Die zeitliche Auslastung der Brückenhauptbänder liegt bei sieben Anlagen über 70 %. Den Bestwert hat die Brücke Klettwitz mit 80,9 % erreicht. Für fünf Brücken liegt das η_T zwischen 65 und 70 %, bei den übrigen darunter. Die zeitliche Auslastung der Bagger ist bei Brücken mit nur einem angeschlossenen Gewinnungsgerät gleich der des Hauptbandes. In Tabelle 1 sind die Werte aus dem Betriebsablaufkontrollbogen enthalten, und es ist zu erkennen, daß einige Werte von dieser Regel abweichen. Hier handelt es sich offensichtlich um falsche Angaben, die für die Analyse der Betriebsergebnisse nicht berücksichtigt werden. Deshalb wurde für die weiteren Betrachtungen das η_T der Bagger auch für die Förderbrückenhauptbänder verwendet.

Tabelle 1
Blatt 1

Technisch-wirtschaftliche Kennziffern in Förderbrückenbetrieben

Förderbrücke	Zeitraum	Jahresleistung 1000 m^3	Hauptband	η_T (bezogen auf T_R) Bagger 1	2	3	η_B Bagger 1	2	3
Kleinleipisch									
1. 620 D 1120	1960	27139,3	75,3	50,2	59,6	59,0	126,8	129,4	81,2
2. 621 D 1120	1961	26707,1	66,3	52,3	51,4	57,7	131,6	131,7	86,1
3. 84 Sch 900	1962	30162,9	74,4	58,6	59,0	62,8	133,8	133,4	85,6
	1963	30771,9	76,8	59,7	59,2	66,4	132,1	132,5	86,0
Franz Mehring									
1. 576 Ds 1500	1960	23091,8	67,5	66,6	61,2	–	143,2	95,5	–
2. 553 D 650	1961	23969,8	71,0	70,4	66,6	–	144,0	86,6	–
	1962	23466,6	71,3	70,7	68,0	–	137,9	87,7	–
	1963	21405,3	65,7	64,9	63,6	–	134,6	88,4	–
Sedlitz									
1. 640 Ds 1120	1960	1832,5	58,1	58,1	–	–	84,1	–	–
2. 622 Ds 1120	1961	10144,8	65,2	65,2	–	–	101,0	–	–
	1962	13077,9	77,3	73,7	64,8	–	96,4	85,4	–
	1963	15622,0	72,4	64,0	59,9	–	95,2	91,4	–
Klettwitz (neu)									
1. 646 Ds 1600	1960	–	–	–	–	–	–	–	–
2. 647 Ds 1600	1961	–	–	–	–	–	–	–	–
	1962	9614,3	72,8	54,0	44,5	–	82,9	89,9	–
	1963	31286,7	80,9	61,3	68,3	–	125,2	124,5	–
Glückauf I									
1. 631 Ds 1120	1960	23459,0	67,5	58,7	61,4	–	128,9	103,1	–
2. 632 Ds 1120	1961	20339,3	63,8	55,4	57,1	–	125,3	90,1	–
	1962	21734,6	68,1	60,3	59,6	–	112,6	102,8	–
	1963	23529,7	69,5	65,6	64,0	–	108,9	107,0	–
Laubusch									
1. 608 Ds 700	1960	6377,6	73,1	67,5	63,5	–	57,7	59,1	–
2. 612 D 700	1961	6759,8	71,8	68,4	63,4	–	62,0	60,4	–
	1962	3601,6	80,5	76,0	68,1	–	83,3	74,5	–
	1963	–	–	–	–	–	–	–	–
Spreetal I									
1. 633 Ds 1120	1960	17004,3	58,7	51,5	50,2	–	99,3	99,3	–
2. 634 Ds 1120	1961	22351,8	63,4	58,7	57,4	–	114,4	114,4	–
	1962	28171,0	71,8	67,6	67,5	–	124,1	123,8	–
	1963	25323,4	66,8	63,0	61,2	–	121,1	121,3	–
Grünewalde									
1. 566 D 700	1960	5527,5	71,2	66,9	65,2	–	56,8	59,8	–
2. 564 D 320	1961	4999,8	65,1	63,1	59,4	–	56,5	56,5	–
	1962	1517,2	66,4	66,0	53,5	–	48,1	50,4	–
	1963	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabelle 1
Blatt 2

Förderbrücke	Zeitraum	Jahresleistung 1000 m³	Hauptband	η_T (bezogen auf T_R) Bagger 1	2	3	η_B Bagger 1	2	3
Schlabendorf I									
1. 643 Ds 1120	1960	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 648 Ds 1120	1961	3309,2	68,3	58,3	54,4	-	69,5	69,3	-
	1962	13955,1	63,3	57,0	57,0	-	103,9	103,9	-
	1963	14089,0	59,3	51,2	49,5	-	84,2	82,1	-
Glückauf II									
1. 637 Ds 1120	1960	5475,3	69,0	68,2	-	-	94,7	-	-
2. 1258 Ds 1120	1961	10056,1	65,4	65,4	-	-	91,4	-	-
	1962	12280,3	72,0	72,0	-	-	101,5	-	-
	1963	11817,1	61,0	60,6	60,2	-	103,8	116,9	-
Spreetal II									
1. 643 Ds 1120	1960	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 644 Ds 1120	1961	-	-	-	-	-	-	-	-
	1962	-	-	-	-	-	-	-	-
	1963	9985,2	55,2	45,8	49,0	-	107,2	106,2	-
Schlabendorf II									
1. 650 Ds 1120	1960	-	-	-	-	-	-	-	-
2. 651 Ds 1120	1961	-	-	-	-	-	-	-	-
	1962	8089,1	43,1	31,7	39,2	-	79,9	79,9	-
	1963	19724,3	63,6	57,8	58,2	-	101,3	101,0	-
Scado I									
1. 619 Ds 1120	1960	11711,8	72,5	70,2	-	-	113,2	-	-
	1961	11607,9	71,9	71,3	-	-	105,6	-	-
	1962	11089,1	73,9	73,0	-	-	106,3	-	-
	1963	11235,1	78,2	78,2	-	-	97,6	-	-
Scado II									
1. 618 Ds 1120	1960	12367,9	71,8	74,2	-	-	112,9	-	-
	1961	11542,7	72,0	71,5	-	-	104,8	-	-
	1962	12402,0	77,0	76,2	-	-	106,2	-	-
	1963	10711,4	73,2	73,2	-	-	99,3	-	-
Klettwitz (alt)									
1. 574 Dv 750	1960	5462,9	66,2	66,2	-	-	99,4	-	-
	1961	6430,1	79,9	79,9	-	-	97,1	-	-
	1962	2382,7	71,9	71,9	-	-	93,0	-	-
	1963	-	-	-	-	-	-	-	-
Burghammer									
1. 635 Ds 1120	1960	-	-	-	-	-	-	-	-
	1961	-	-	-	-	-	-	-	-
	1963	5813,0	62,7	62,7	-	-	95,4	-	-
VVB gesamt	1960	139449,9	69,2	-	-	-	-	-	-
	1961	158218,1	68,1	-	-	-	-	-	-
	1962	191064,4	71,5	-	-	-	-	-	-
	1963	213314,1	68,8	-	-	-	-	-	-

Bei Brückenverbänden mit mehr als einem angeschlossenen Gerät treten Unterschiede in der zeitlichen Auslastung auf. Das wird verursacht durch Störungen an einzelnen Geräten, die einen Betrieb der übrigen Anlage noch zulassen. Dieser Einfluß kann an beiden Geräten auftreten und ist gesetzmäßig nicht zu erfassen. Stillstand von Baggern tritt auch auf bei der Strossenendbaggerung, bei der das drehpunktseitige Gerät zeitweise zum Stehen kommt. Diese Ausfälle sind gesetzmäßig und können aus Tabelle 1 deutlich erkannt werden. Das Gerät am schwenkenden Ende wurde mit Bagger 1 bezeichnet, das drehpunktseitige mit Bagger 2. Diese Festlegung konnte nicht für die Förderbrücken Kleinleipisch und Klettwitz getroffen werden, da beide Betriebe in dem betrachteten Zeitraum die Drehpunkte verlegt haben und die Verhältnisse dadurch umgekehrt wurden.

Bei allen angeführten Betrieben kann man jedoch erkennen, daß das Gerät am Strossenende immer die höhere zeitliche Auslastung hat. Für die Beurteilung der Auslastung einer Abraumförderbrücke ist es wichtig zu wissen, in welchem Verhältnis die zeitliche Auslastung der Bagger zu der der Brücke steht. Dazu wird das gewogene Mittel des η_T aller Geräte errechnet und zum η_T des Brückenhauptbandes ins Verhältnis gesetzt. Diese Werte η_T', die als Kontinuitätsfaktor bezeichnet werden, sind in Tabelle 2 enthalten. Dieser Faktor hat bei Förderbrücken mit nur einem angeschlossenen Gerät grundsätzlich den Wert 1, bei allen anderen Brückenverbänden liegt er niedriger. Der schlechteste Wert tritt an der Brücke Klettwitz auf. Ähnlich ungünstige Ergebnisse weisen die Förderbrücken Kleinleipisch und Sedlitz auf. Mittlere Werte, die bis auf eine Ausnahme zwischen 0,9 und 0,94 liegen, erreichen die 34-m-Brücken mit einseitiger Baggeranordnung.

Dieser Vergleich zeigt deutlich, daß die Anzahl der angeschlossenen Bagger und die Art des Anschlusses einen objektiven Einfluß auf die kontinuierliche Auslastung von Förderbrücken haben. Ordnet man die Förderbrücken nach der jeweiligen Technologie des Bagger-

Tabelle 2

Kontinuitätsfaktor für Brückenbetriebe

Betrieb	Gerät	Q_e (m^3/h)	Zeitliche Auslastung Brücke η_T (%)	Zeitliche Auslastung Bagger η_T (%)	Kontinuitätsfaktor η_T
1	2	3	4	5	6
Kleinleipisch	1	2026			
	2	2037	73,2	57,7	0,788
	3	1601			
Klettwitz (neu)	1	2764	80,9	64,8	0,802
1963	2	2749			
Sedlitz (1963)	1	1535	72,4	61,8	0,855
	2	1600			
Glückauf I	1	2283	66,8	60,2	0,902
	2	1934			
Spreetal I	1	2203	65,2	59,6	0,915
	2	2202			
Schlabendorf I	1	1786	61,2	53,8	0,878
1962/63	2	1808			
Spreetal II	1	2059	55,2	47,6	0,862
	2	2040			
Schlabendorf II	1	1945	63,6	58,0	0,912
	2	1939			
Niemtsch	1	2720	68,8	67,1	0,975
	2	1187			
Laubusch	1	703	72,4	66,4	0,916
1960/61	2	427			
Grünewalde	1	548	68,1	63,8	0,937
1960/61	2	391			

Tabelle 2
Blatt 2

1	2	3	4	5	6
Sedlitz 1960/61		1603	61,6	61,6	1,0
Glückauf II 1960/62		1640	68,4	68,4	1,0
Scado I		1814	73,2	73,2	1,0
Scado II		1818	73,7	73,7	1,0
Burghammer		1831	62,2	62,2	1,0

$$\eta_{T'} = \frac{\eta_{T1} \cdot Q_1 + \eta_{T2} \cdot Q_2 + \dots}{\eta_T \, (Q_1 + Q_2 + \dots)}$$

anschlusses, so ergibt sich folgendes Bild:

Gruppe 1

Kleinleipisch $\eta_i' = 0,788$
Klettwitz (neu) $\eta_i' = 0,802$
Sedlitz (1963) $\eta_i' = 0,855$

An die Förderbrücke Kleinleipisch sind drei Geräte angeschlossen, ein Sch Ss 900 im Hochschnitt und zwei D 1120 auf einem gemeinsamen Gleisrost im Tiefschnitt. Die beiden letztgenannten Geräte sind symmetrisch zur Brücke in einem Abstand von 100 m starr gekuppelt. Stillstände durch Strossenendbaggerung treten bei der Gewinnung des Sichelschnittes durch den Schaufelradbagger im Hochschnitt auf. Während dieser Zeit steht die Baggerseite der Brücke still; beide Tiefschnittgeräte sind außer Betrieb. Die Gewinnung der Massen im letzten Strossenabschnitt auf einer Länge von 100 m (Abstand der Tiefbagger) kann nur durch den am schwenkenden Ende eingesetzten D 1120 und den Hochschnittbagger erfolgen. Da in diesem Abschnitt der Tiefschnitt nur mit der Hälfte der verfügbaren Leistung arbeiten kann, die Schnitteinteilung aber entsprechend der vollen effektiven Leistung der Bagger erfolgt, nimmt die Gewinnung der Tiefschnittmassen mehr Zeit in Anspruch als die der Hochschnittmassen, so daß auch hier zum Teil nur ein Bagger in Betrieb ist.
Die Förderbrücken Klettwitz und Sedlitz sind mit je zwei Eimerkettenschwenkbaggern ausgerüstet. Die Geräte laufen auf einem gemeinsamen Gleisrost. Ihr Abstand ist in Sedlitz mit 100 m konstruktiv festgelegt. In Klettwitz dagegen ist ein Bagger über einen 50 m langen Baggerquerförderer frei beweglich. Der Abstand kann zwischen 202,5 und 252,5 m variiert werden. Bei Strossenendbaggerung steht jeweils ein Gerät, wenn das andere die Massen an der Kopfböschung im Sichelschnitt gewinnt. Auch bei der Arbeit im letzten Strossenabschnitt muß teilweise ein Gerät stehen. Nur etwa die Hälfte der Massen dieses Bereiches können im Zweibaggerbetrieb gewonnen werden.

Die großen Abstände der Geräte an diesen Förderbrücken sind von entscheidendem Einfluß auf die Größe des Kontinuitätsfaktors und damit auf die mögliche Leistung der Anlage. Dadurch wird der absolute Wert der im Einbaggerbetrieb zu gewinnenden Massen bestimmt. Ihr Anteil an der Gesamtabraumbewegung wird jedoch noch durch die Strossenlänge beeinflußt. Bei gleichem Baggerabstand wird er mit zunehmender Strossenlänge zurückgehen, und der Faktor η_r' nimmt zu. Der besonders niedrige Wert für die Förderbrücke Klettwitz ist dadurch bedingt, daß bei Beginn des Brückenbetriebes nur eine sehr kurze Strosse zur Verfügung stand, deren Länge im Minimum 700 m war.

Gruppe 2

Glückauf I	$\eta_r' = 0{,}902$
Spreetal I	$\eta_r' = 0{,}915$
Schlabendorf I	$\eta_r' = 0{,}878$

In dieser Gruppe sind alle 34-m-Einheitsförderbrücken mit einseitiger Baggeranordnung enthalten, die am Strossenende eingesetzt sind. Für die Strossenendbaggerung gelten die gleichen Gesichtspunkte, die für Sedlitz und Klettwitz bereits erläutert wurden. Ein quantitativer Unterschied besteht darin, daß die Abstände der Bagger wesentlich geringer sind und dadurch die absolute Größe der Massen für den Einbaggerbetrieb kleiner ist.

Gruppe 3

Spreetal II	$\eta_r' = 0{,}862$
Schlabendorf II	$\eta_r' = 0{,}912$

Diese Gruppe umfaßt solche Anlagen, die im Zweibrückenbetrieb auf der Drehpunktseite eingesetzt sind. Strossenendbaggerung als Ursache für die unterschiedliche zeitliche Auslastung entfällt hier. Technologisch bedingte Stillstandszeiten bei der Ausbaggerung des Drehpunktes gibt es nicht bzw. Stillstände dieser Art sind vermeidbar, wie später noch bewiesen wird.

Die relativ schlechte zeitliche Auslastung an diesen Brücken ist nur auf Störungen zurückzuführen, die jeweils ein Gerät betreffen und den weiteren Betrieb mit dem anderen Gewinnungsgerät nicht behindern. Die Verminderung der zeitlichen Auslastung bei den beiden Anlagen ist unterschiedlich. Infolge der relativ kurzen Betriebszeit können daraus noch keine allgemeinen Schlußfolgerungen gezogen werden. Man kann aber sagen, daß diese Werte besonders schwierige geologische Verhältnisse oder auch mangelhafte Reparaturorganisation in diesen Betrieben widerspiegeln. Als gegenseitige Beeinflussung bei mehreren angeschlossenen Gewinnungsgeräten werden als Erfahrungswert 5 % für jedes zusätzliche Gerät angegeben. Diese Größenordnung ist hier wesentlich überschritten.

Gruppe 4

Laubusch	$\eta_t' = 0{,}916$
Franz Mehring	$\eta_t' = 0{,}975$

Bei allen bisher behandelten Förderbrücken waren jeweils Geräte gleicher Leistung angeschlossen. Eine Ausnahme ist lediglich der Schaufelradbagger im Hochschnitt der Brücke Kleinleipisch. Bei den Förderbrücken dieser Gruppe trifft das jedoch nicht zu.
Die Förderbrücke Laubusch war mit zwei Geräten bei zweiseitiger Anordnung ausgerüstet. Der Abstand der beiden Bagger betrug etwa 50 m. Die effektive Leistung war unterschiedlich. Der am Schwenkende eingesetzte Ds 700 hatte im Jahre 1962 eine Leistung von 980 m^3/h, der drehpunktseitige D 700 dagegen kam infolge sechsfacher Schakung nur auf 532 m^3/h.
Ähnliche Verhältnisse liegen an der Förderbrücke Franz Mehring im Tagebau Niemtsch vor. Am schwenkenden Ende arbeitet ein Ds 1500 im Tiefschnitt mit einem Q_e = 2680 m^3/h. Als zweites Gerät ist ein D 650 mit einem Q_e = 1163 m^3/h auf der Drehpunktseite im Hochschnitt eingesetzt. Am schwenkenden Ende wird zur Verminderung von Verlusten durch Strossenendbaggerung ein Graben bis auf die Brückenarbeitsebene durch den

im Vorschnitt eingesetzten Eimerkettentiefbagger geschnitten. Das ist in diesem Betrieb möglich, weil die Mächtigkeit des Brückenhochschnittes nur gering ist. Objektiv bedingte Verluste treten dadurch nicht auf, lediglich die gegenseitige Beeinflussung durch Störungen vermindert die zeitliche Auslastung der Gewinnungsgeräte.
Betrachtet man die Förderbrücke Laubusch nach den gleichen Gesichtspunkten wie die Brücke Sedlitz, so müßte η_r' auch etwa die gleiche Größe erreichen. Der auftretende Unterschied ist jedoch offensichtlich auf die unterschiedliche Leistung der Geräte zurückzuführen. Der Einbaggerbetrieb wird durch das Gerät mit der größeren Leistung durchgeführt und der Kontinuitätsfaktor wird positiv beeinflußt.
Die gleichen Gesichtspunkte gelten auch für die Förderbrücke Grünewalde.

Gruppe 5

Bei den verbleibenden Förderbrücken handelt es sich um solche mit nur einem Gewinnungsgerät. Bagger und Brückenhauptband müssen immer die gleiche zeitliche Auslastung haben. Für die weiteren Untersuchungen brauchen deshalb diese Brücken nicht mehr herangezogen zu werden.

Aus der Analyse der zeitlichen Auslastung der eingesetzten Abraumförderbrücken kann man folgende Schlüsse ziehen:

1. Bei mehr als einem angeschlossenen Gerät treten neben der gegenseitigen Beeinflussung durch Störungen objektiv bedingte Stillstandszeiten auf.
2. Die absolute Größe dieser Teilstillstände wird bestimmt durch die Anordnung der Geräte, vor allem durch den minimal möglichen Abstand bei Strossenendbaggerung.
3. Die notwendige Zeit zur Gewinnung der Massen, die nur durch einen Bagger erreicht werden können, wird durch die Leistungsfähigkeit dieses einen Gerätes bestimmt.

4. Der Anteil dieser Stillstandszeiten an der Gesamtbetriebszeit der Brücke wird durch die Strossenlänge beeinflußt.
5. Durch Entlastungsbaggerung im Zugbetrieb im letzten Strossenabschnitt kann die kontinuierliche Auslastung einer Förderbrücke wesentlich verbessert werden.

1.2 Technologische Einsatzbedingungen und Baggeranordnung

Für die Anordnung der Gewinnungsgeräte sind neben den Gesichtspunkten zur Erzielung einer hohen zeitlichen Auslastung noch weitere Faktoren zu berücksichtigen, die sowohl durch die Tagebautechnologie als auch durch den Stand der Gerätetechnik bestimmt werden.
In der Geschichte des Förderbrückenbaues wurde die Anordnung der Bagger sehr unterschiedlich vorgenommen. Als Gewinnungsgeräte wurden zum größten Teil Eimerkettenbagger, in einigen Fällen auch Schaufelradbagger, eingesetzt. Die Gewinnung des Abraums erfolgte in der Regel in zwei Schnitten, bei größeren Abtragshöhen in drei und vier Schnitten. Als Eimerkettenbagger fanden starre Hoch- und Tiefschnittgeräte sowie Schwenkbagger Verwendung.
Für die Entwicklung nach 1945 wurde nach eingehenden Untersuchungen der Einsatz von Ds-Geräten festgelegt. Als Vorteile dieser Art des Geräteeinsatzes wurden von Fleischer [1] folgende angegeben:

1. Die Schnitteinteilung ist unabhängig von der Geräteleistung.
2. Bodenmangel kann restlos vermieden werden.
3. Bei Störungen können sich beide Geräte gegenseitig unterstützen.
4. Durch breiteres Vorland ist die Baggeraufstellung unbedingt rutschungssicher.
5. Verwendung von zwei vollkommen gleichen Geräten.

Aus der Analyse der Betriebsergebnisse geht aber hervor, daß ein restloses Vermeiden von Bodenmangel nicht möglich ist, wenn mehr als ein Gewinnungsgerät angeschlossen wird.

Die im Tagebau Skado eingesetzten Brücken sind als Vorläufer der späteren 34-m Brücken anzusehen und wurden nur mit je einem Ds 1120 ausgerüstet. Damit kann in jeder Situation die volle Kapazität der Brückenanlage zum Einsatz kommen, so daß die zeitliche und leistungsmäßige Auslastung maximale Werte erreichen kann. Nachteilig ist die relativ geringe Leistung bei Anschluß von nur einem Gerät, die je nach Typ mit 12 bis 18 Mm^3/a bei den bisher verfügbaren Geräten die Grenze erreicht hat. Bei dieser Größenordnung ist ein Übergang zum Zweibrückenbetrieb [2] unwirtschaftlich, da der Einbrückenbetrieb noch nicht seine wirtschaftliche Grenze erreicht hat. Deshalb muß der Übergang zum Mehrbaggerbetrieb erfolgen.
Förderbrücken mit zwei Gewinnungsgeräten wurden in den letzten Jahren in einer Anzahl vonTagebauen zum Einsatz gebracht. Dabei kann man zwei technologisch bedingte Arten der Baggeranordnung feststellen:

1. Beide Geräte sind auf einer Seite der Förderbrücke frei beweglich über einem Baggerquerförderer angeordnet. Der minimal mögliche Abstand während des Betriebes ist nur von der Länge ihrer Fahrwerke abhängig. Er beträgt bei der 34-m-Förderbrücke mit den Geräten Ds 1120 rd. 34 m, bei der 45-m-Brücke ca. 60 m für die eingesetzten Ds 1600.

   Die einseitige Anordnung der Gewinnungsgeräte gestattet nur das Freischneiden auf einer Seite der Brücke. Der Einsatz solcher Anlagen im Schwenkbetrieb ist unter der Bedingung

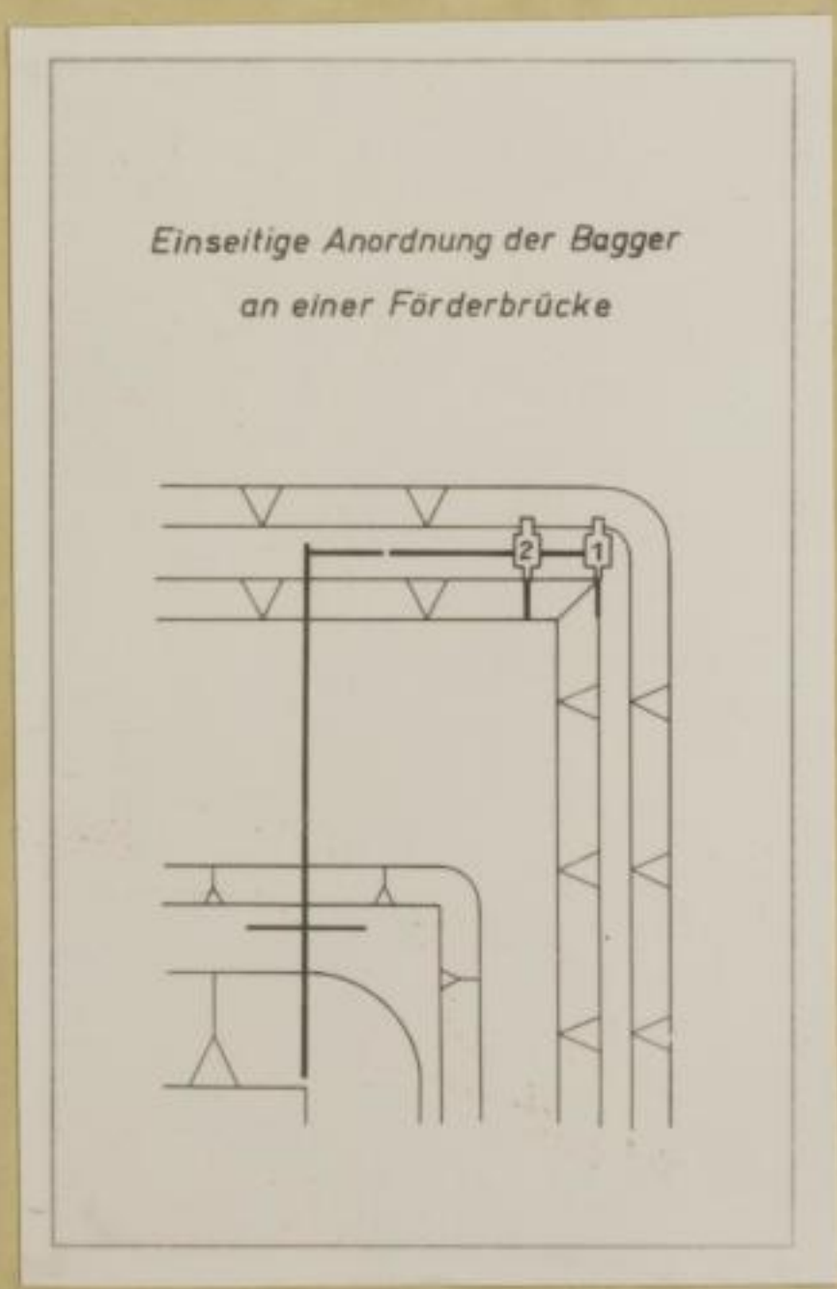


Bild 2

möglich, daß beim Aufschluß der Bereich des Drehpunktes so hergestellt wird, daß außerhalb der eigentlichen Strosse der notwendige Platz als Standort für die Förderbrücke vorgesehen wird, wenn die Bagger bis zum Strossenanfang fahren. Weiterhin muß der Drehpunkt für die gesamte Lebensdauer des Feldes unverändert bleiben. Können diese Bedingungen nicht eingehalten werden, so wird ein Sonderbetrieb zum Freischneiden notwendig. Der Einsatz einer solchen Brücke im Parallelbetrieb ist nicht möglich.

Aus den genannten Gründen werden Förderbrücken dieser Art im wesentlichen in solchen Betrieben verwendet, in denen ein Zweibrückenbetrieb vorgesehen war oder ist. In den Tagebauen Schlabendorf und Seese, die beide im Zweibrückenbetrieb betrieben werden, sind bei beiden Förderbrücken die Querförderer und Bagger in Richtung Schwenkende angeordnet. Voraussetzung dafür ist die Einhaltung der für den Drehpunkt genannten Bedingungen. In den Betrieben Glückauf und Spreetal dagegen sind die Bagger an der Brücke, die auf der Drehpunktseite eingesetzt ist, in Richtung Drehpunkt angeordnet. Das war notwendig, da dort in bestimmten Zeiträumen Parallelbetrieb bzw. Drehpunktverlegungen vorgesehen sind.

2. Die zweite Möglichkeit der Baggeranordnung ist die, beide Geräte auf verschiedenen Seiten der Förderbrücke anzubauen. Der Mindestabstand wird dann durch die Konstruktion der Förderbrücke bestimmt. Die Höhe des Hauptbandes über dem Arbeitsplanum, die notwendige Höhendifferenz für die Übergabestellen und die zulässige maximale Neigung der Baggerquerförderer bedingen einen bestimmten Mindestabstand. Diese Mindestabstände wurden für die Brücken Sedlitz und Klettwitz bereits genannt. Ist aus Gründen der Einhaltung des Strossenendwinkels ein größerer Abstand der Gewinnungsgeräte notwendig und wird dazu ein zusätzlicher Bagger-

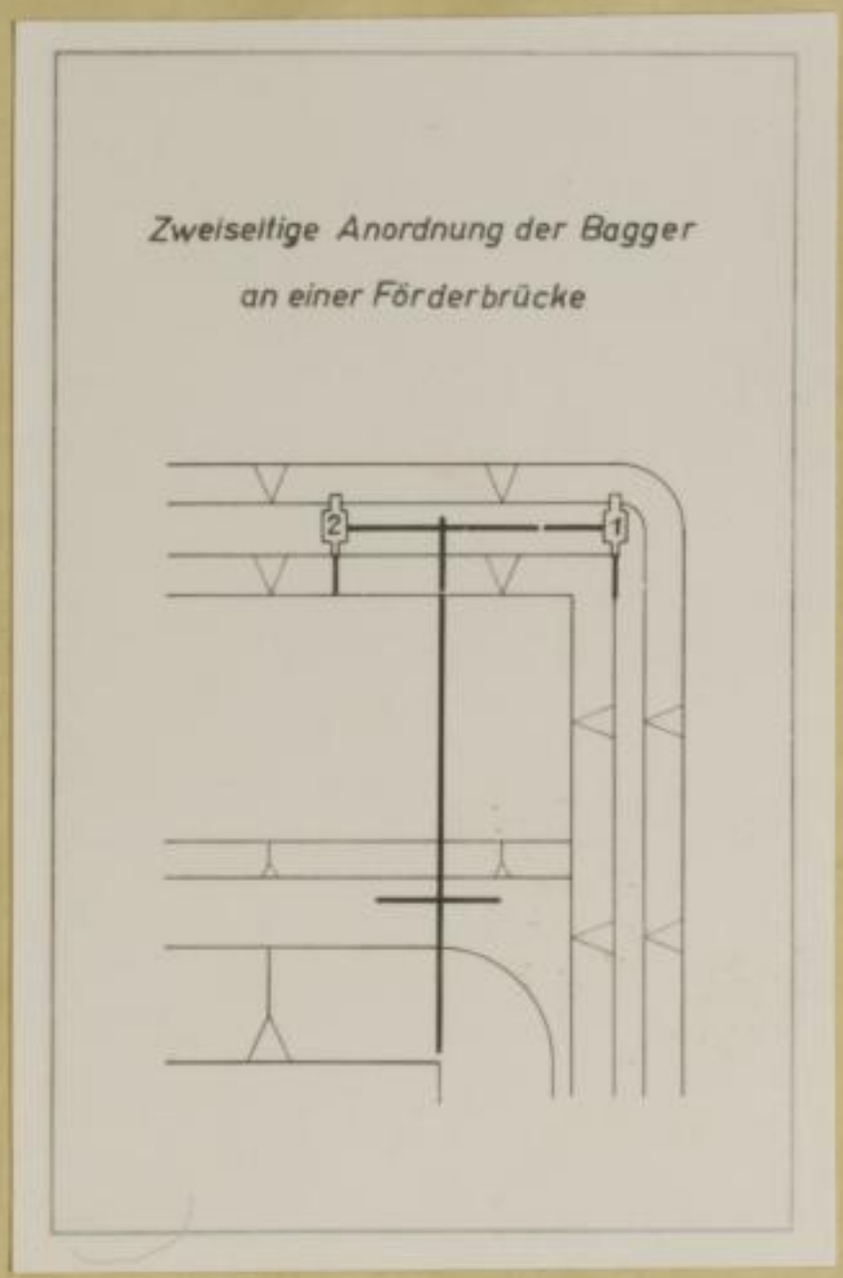


Bild 3

querförderer eingeschaltet, so wird der mögliche Mindestabstand an einem Strossenende noch weiter vergrößert.
Die zweiseitige Anordnung wird gewählt, wenn in einem Tagebau nur eine Förderbrücke zum Einsatz kommt.
Sie wird dann notwendig, wenn bei Schwenkbetrieb der Drehpunkt nicht für die gesamte Entwicklung beibehalten oder freigeschnitten werden kann und wenn der Tagebau ganz oder teilweise im Parallelbetrieb arbeitet.
Die kontinuierliche Auslastung einer Förderbrücke ist nicht nur von den bisher ermittelten Faktoren abhängig, sondern auch durch die Fahrweise zu beeinflussen. Es wurde bei der Untersuchung der zeitlichen Auslastung angegeben, daß bei der Baggerung im letzten Strossenabschnitt zeitweise nur ein Bagger in Betrieb ist. Um die Frage zu klären, ob dieser Zustand unvermeidbar ist oder durch eine geeignete Fahrweise vermieden werden kann, soll im folgenden an zwei Beispielen der Einfluß der Fahrweise deutlich gemacht werden.

1. Die Förderbrücke fährt am schwenkenden Ende kurz, die Länge des Abschnittes ist gleich dem Abstand der Geräte. Einbaggerbetrieb tritt dann nur bei der Gewinnung am Strossenende im Sichelschnitt und beim Herausfahren aus dem letzten Abschnitt auf, wenn das Gerät 1, das am Schwenkende steht, durch den bereits ausgebaggerten Abschnitt des Gerätes 2 fährt. Ist der drehpunktseitige Bagger

über einem Querförderer frei beweglich, so kann durch größere Fahrgeschwindigkeit und geringere Spanstärke die Gewinnung so gesteuert werden, daß auch bei der Rückfahrt für Gerät 1 noch Boden vorhanden ist und eine Leerfahrt vermieden wird. Bei dieser Arbeitsweise, die im Bild 4(b) dargestellt ist, sind also im Einbaggerbetrieb nur die Massen des Sichelschnittes zu gewinnen.

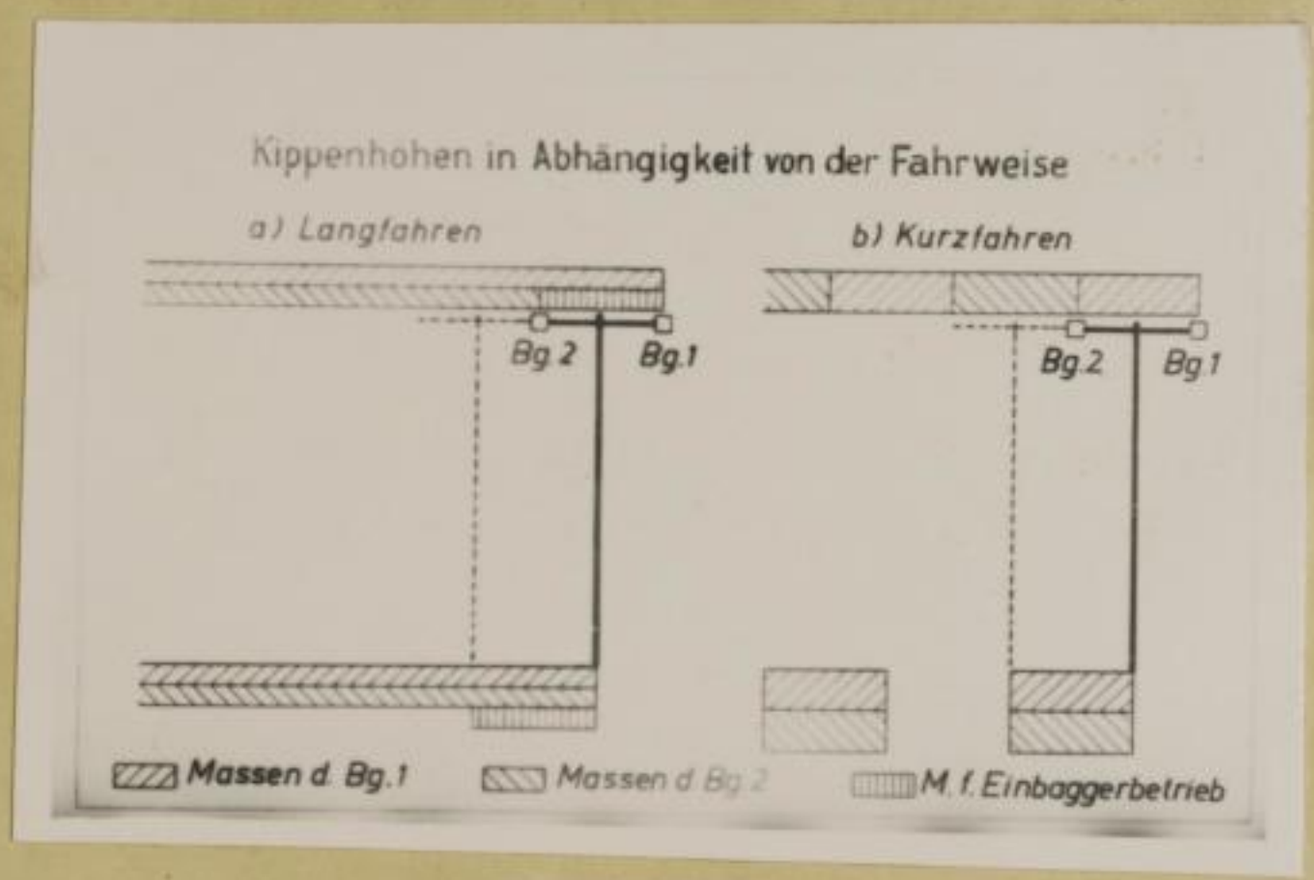


Bild 4

Diese Technologie bedingt jedoch den Betrieb auf einem sehr kurzen Strossenabschnitt. Dadurch tritt eine konzentrierte Kippenbelastung ein; die zulässige Belastungsgeschwindigkeit wird überschritten. Hinzu kommt, daß der auf zwei Baggerabschnitten gewonnene Boden kippenseitig auf einem Abschnitt untergebracht werden muß. Ein Teil dieses Bodens kann in die Kippenböschung am Strossenende eingebaut werden, eine weitere Verteilung ist möglich durch Ausnutzung der Verschwenkbarkeit der Brücke. Eine Massenzusammendrängung läßt sich bei großem Baggerabstand jedoch nicht vermeiden. Neben der hohen Belastungsgeschwindigkeit tritt also eine zusätzliche Auflast durch starke Überhöhung der Kippe ein. Ohne Inanspruchnahme der Verschwenkbarkeit liegt diese 100 % über dem Normalwert.

2. Bodenmechanisch wesentlich günstiger ist das Fahren der Förderbrücke auf langer Front (Bild 4). Dabei fährt die Brücke über einen längeren Abschnitt von 400 m oder mehr jeweils bis an die Markscheide und wieder zurück. Im letzten Abschnitt, der nur durch einen Bagger erreicht werden kann, bleibt der Anteil des Bodens für den Bagger 2 stehen, der nur durch Bagger 1 gewonnen werden kann. Während der Durchführung dieser Arbeit steht das drehpunktseitige Gerät still. Der Aufbau der Kippe erfolgt bei dieser Betriebsweise in der Form, daß bei dem Langfahren der Brücke die Kippe auf der gesamten Länge gleichzeitig aufgebaut wird. Bei der Gewinnung im letzten Abschnitt durch ein Gerät fallen ca.50 % der dort anstehenden Massen an, die zusätzlich noch unterzubringen sind und die Kippenhöhe ca.50 % über den Normalwert ansteigen lassen. Die Zahlenangaben sind gültig, wenn es sich um Bagger mit gleicher Leistung handelt.

Diese vergleichenden Betrachtungen zeigen, daß durch unterschiedliche Fahrweise die zeitliche Auslastung beeinflußt werden kann. Dabei ist jedoch festzustellen, daß mit steigendem η_r die Belastungsgeschwindigkeit auf der Kippenseite zunimmt und die Kippenhöhe wächst. Bei Berücksichtigung der aus bodenmechanischen und bergtechnischen Gründen erforderlichen Gesichtspunkte geht die zeitliche Auslastung zurück. Da für die Fahrweise einer Förderbrücke in erster Linie die Fragen der Sicherheit Berücksichtigung finden müssen, kann nur die unter Punkt 2 erläuterte Fahrweise praktisch zur Anwendung kommen. Damit ist auch festgelegt, daß der Betrieb einer Förderbrücke mit mehr als einem Bagger immer mit Stillständen eines oder mehrerer Geräte bei der Gewinnung der Massen am Strossenende verbunden ist.

Aus der Gegenüberstellung dieser beiden Fahrweisen ist zu erkennen, daß eine Beeinflussung der zeitlichen Auslastung unter bestimmten Bedingungen möglich ist, aber gleichzeitig Auswirkungen auf Belastungsgeschwindigkeit und Kippenaufbau entstehen.

2. Rechnerische Ermittlung der Ausfallzeiten bei Strossenendbaggerung

Die Analyse der Betriebsergebnisse der Förderbrückenbetriebe ergab eine unterschiedliche zeitliche Auslastung von Förderbrückenhauptband und angeschlossenen Baggern. Ein Vergleich der erreichten Kennziffern zeigte auch deutliche Abhängigkeiten von der jeweiligen Bauart. Als wichtigstes Merkmal wurde der bei Strossenendbaggerung minimal mögliche Baggerabstand erkannt. Im folgenden soll rechnerisch nachgewiesen werden, welchen Einfluß die Strossenendbaggerung auf die zeitliche Auslastung von Förderbrückenbaggern hat.

2.1 Förderbrücke mit zwei angeschlossenen Baggern

Für die Berechnung werden zunächst folgende Voraussetzungen angenommen:

1. Die Förderbrücke fährt grundsätzlich auf längeren Strossenabschnitten.
2. Zur Gewinnung sind zwei Geräte auf einem gemeinsamen Gleisrost eingesetzt. Dadurch kann nur ein Gerät das Strossenende erreichen.
3. Beide Geräte haben die gleiche Leistung.
4. Bei Frontbetrieb stehen die Eimerleitern rechtwinklig zur Böschung.
5. Die Abraummächtigkeit ist über die gesamte Strosse gleich.
6. Am Strossenende wird keine Entlastungsbaggerung durchgeführt.

Die unter Punkt 1 genannte Bedingung muß grundsätzlich für alle Förderbrücken gültig bleiben, da aus sicherheitstechnischen und bodenmechanischen Gründen eine andere Fahrweise nicht zugelassen werden kann. Die unter 2 bis 6 genannten Bedingungen treffen für viele Brückenbetriebe zu. Für die ersten analytischen Untersuchungen werden diese vereinfachenden Annahmen getroffen. Die Betriebe, die diesen Bedingungen nicht entsprechen, werden gesondert behandelt.

Die zeitliche Auslastung der Geräte wird neben plan-

mäßigen Stillständen und Störungen durch technologisch bedingte Ausfallzeiten bestimmt, die am Strossenende entstehen. Im Bild 5 ist schematisch der Massenanteil für beide Bagger im Parallel- und Schwenkbetrieb dargestellt.

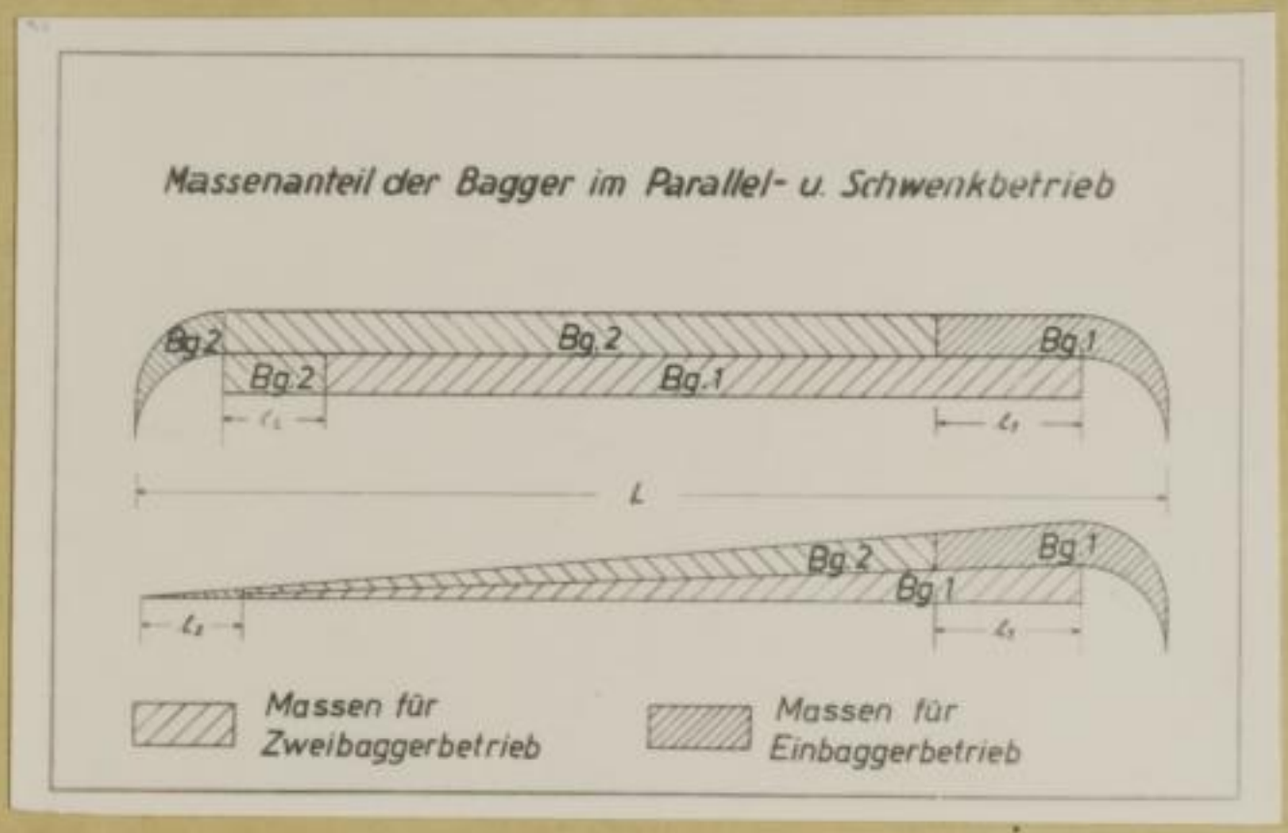


Bild 5

Bei Betrieb der Brücke auf dem mittleren Teil der Strosse haben beide Geräte die gleichen Einsatzbedingungen, gewinnen je zur Hälfte die anstehenden Massen und sind gleichzeitig in Betrieb. Die Hälfte der Massen auf dem letzten Abschnitt wird nur bei Betrieb eines Gerätes gewonnen. Die Länge dieses Abschnittes ist in Bild 5 mit l_1 bzw. l_2 bezeichnet. Diese Werte sind gleich, wenn beide Geräte starr mit der Brücke gekuppelt sind. Sind ein oder beide Geräte über einem Baggerquerförderer frei beweglich, so nehmen diese Längen unterschiedliche Werte an. Darüber hinaus muß noch der Einfluß des Geräteeinsatzes und der Bermenbreite berücksichtigt werden. Arbeiten beide Geräte gleichzeitig in einem Schnitt, so ist die Länge des letzten Abschnittes durch die maschinentechnische Konstruktion an dem Strossenende festgelegt, an dem der starre Bagger angeordnet ist. Am anderen Strossenende kann in Abhängigkeit vom Strossenendwinkel an verschiedenen Stellen des Baggerquerförderers die Beladung erfolgen. Bei maximaler Strossenverlängerung ist es notwendig, die Querfördererlänge voll auszunutzen und die Massenübergabe am äußersten Ende vorzunehmen. Der Geräteabstand

wird damit ein Maximum. Verringert sich der Strossenendwinkel, so kann der Querförderer durch das Baggerportal bis an das Gleisende geschoben werden und der Baggerabstand wird geringer. Arbeiten die Geräte in verschiedenen Schnitten, so hat die einzuhaltende Bermenbreite noch Einfluß auf die Länge. Das wird in der Regel nur auf einer Seite des Tagebaues der Fall sein, nämlich auf der Seite der Tagebauausfahrten. Am anderen Ende wird man aus Gründen eines möglichen günstigen Ar:K auf eine große Bermenbreite verzichten. Dabei ist zu beachten, daß die Berme dann einen Einfluß hat, wenn sie von der Breite des Abschnittes abweicht, der im Sichelschnitt gewonnen wird. Der Einfluß ist in Bild 6 dargestellt[6].

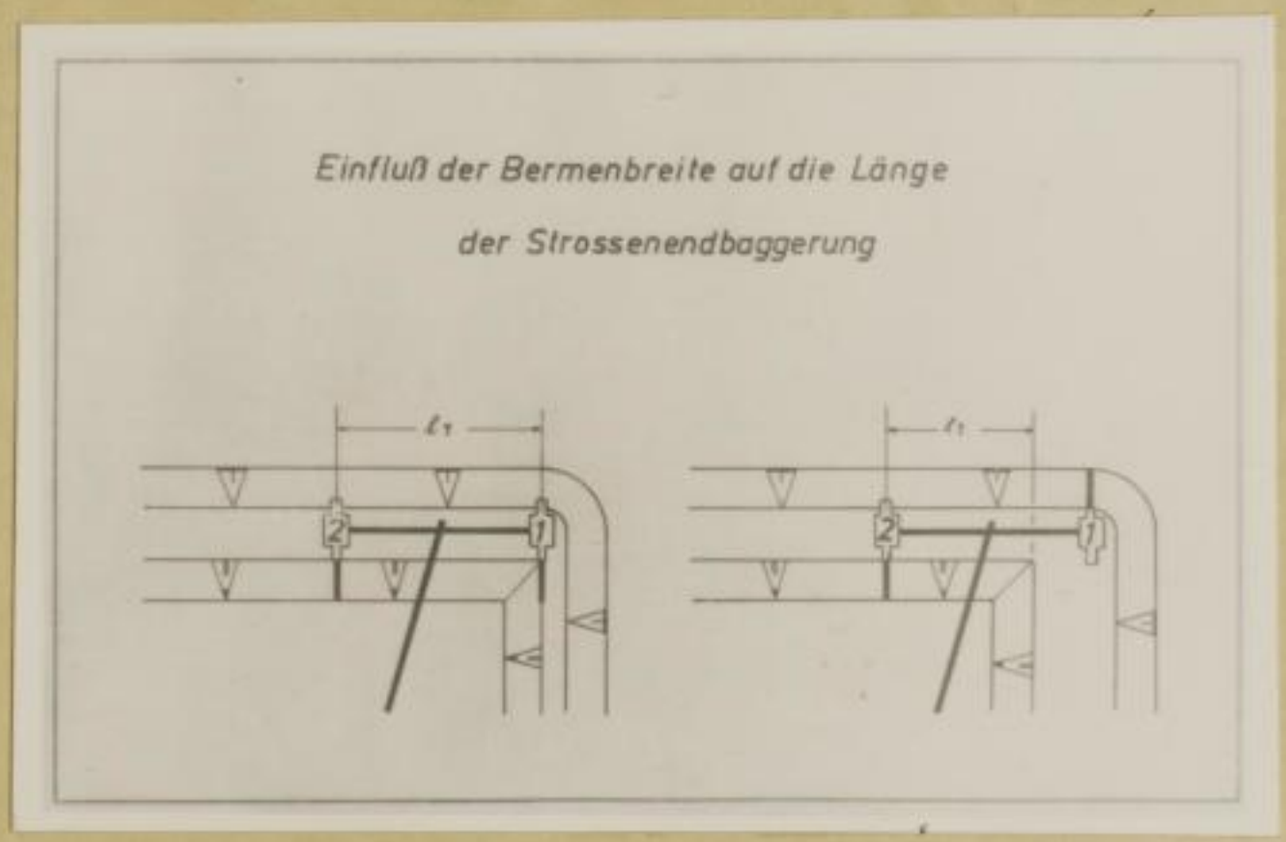


Bild 6

Bei großer Bermenbreite und richtigem Geräteeinsatz tritt eine Verkürzung von l_1 ein.

Neben diesen durch den Baggerabstand bedingten Ausfällen werden weitere wirksam beim Freischneiden der Kopfböschung im Sichelschnitt. Dieser Faktor tritt nur im Hochschnitt in Erscheinung. Der Umfang dieser Massen kann nicht beeinflußt werden. Er wird bestimmt durch den mittleren Abstand der Eimerleiter von der Schwenkachse des Baggeroberteiles (Bild 7) und vom Strossenendwinkel. Während der Gewinnung dieser Massen steht die Baggerseite der Brücke still.

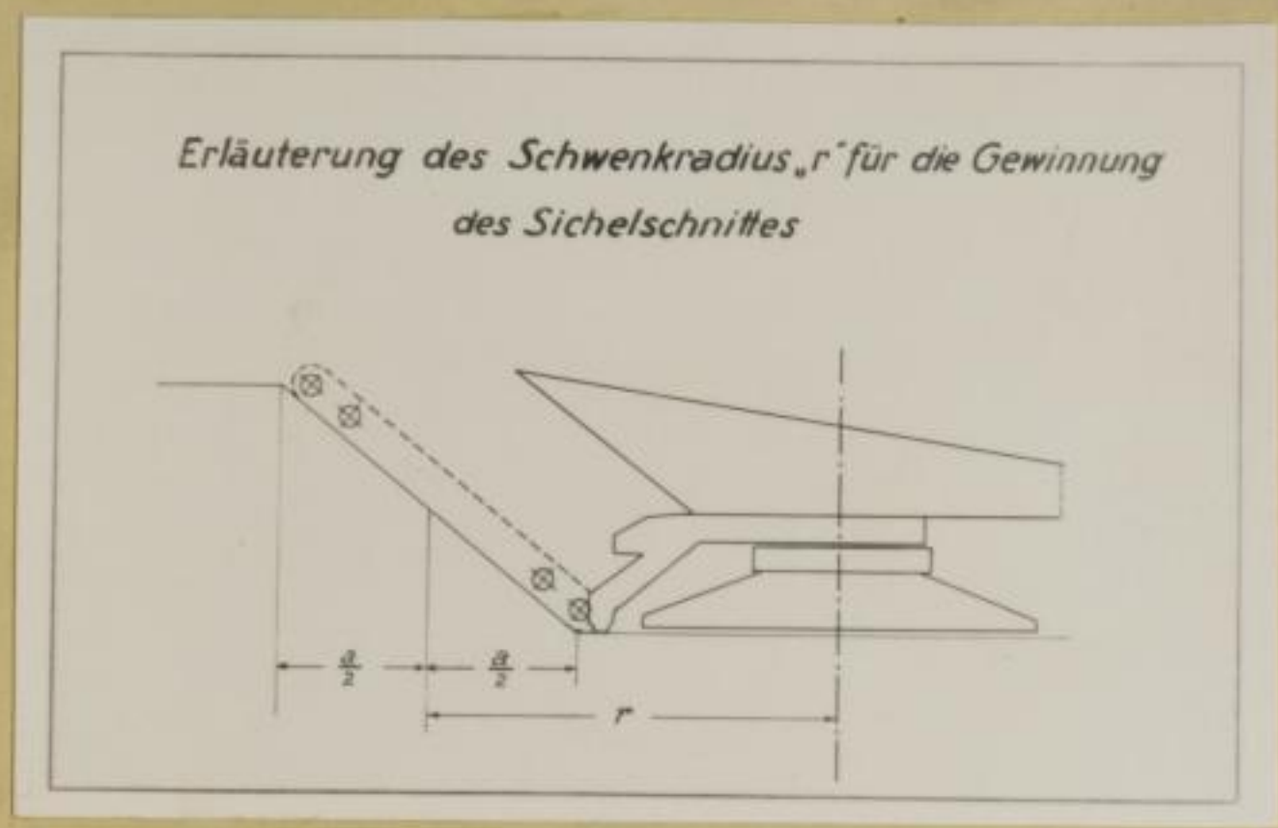


Bild 7

Parallelbetrieb

Wie aus Bild 5 zu erkennen ist, treten im Parallelbetrieb an beiden Strossenenden Massen für Einbaggerbetrieb auf. Sie setzen sich zusammen aus dem halben Masseninhalt auf der letzten Strossenlänge und den Sichelschnittmassen. Dafür läßt sich folgende Formel aufstellen:

$$(1) \qquad V_e = \frac{V_{f1}}{2} + V_s + \frac{V_{f2}}{2} + V_s$$

V_e = Gesamtmassen für Einbaggerbetrieb

$V_{f\,1,2}$ = Masseninhalt des letzten Strossenabschnittes

V_s = Masseninhalt des Sichelschnittes

Die Massen, die im letzten Strossenabschnitt anstehen, lassen sich wie folgt ermitteln:

$$(2) \qquad V_{f1,2} = l_{1,2} \cdot R \cdot M$$

$l_{1,2}$ = Wirksame Länge für Strossenendbaggerung

R = Rückbreite

M = Gesamtmächtigkeit des Brückenabraums

Zur Ermittlung der im Sichelschnitt anstehenden Massen wird folgender Weg beschritten.
Im Bild 8 ist die Grundfläche der im Sichelschnitt zu gewinnenden Massen dargestellt.

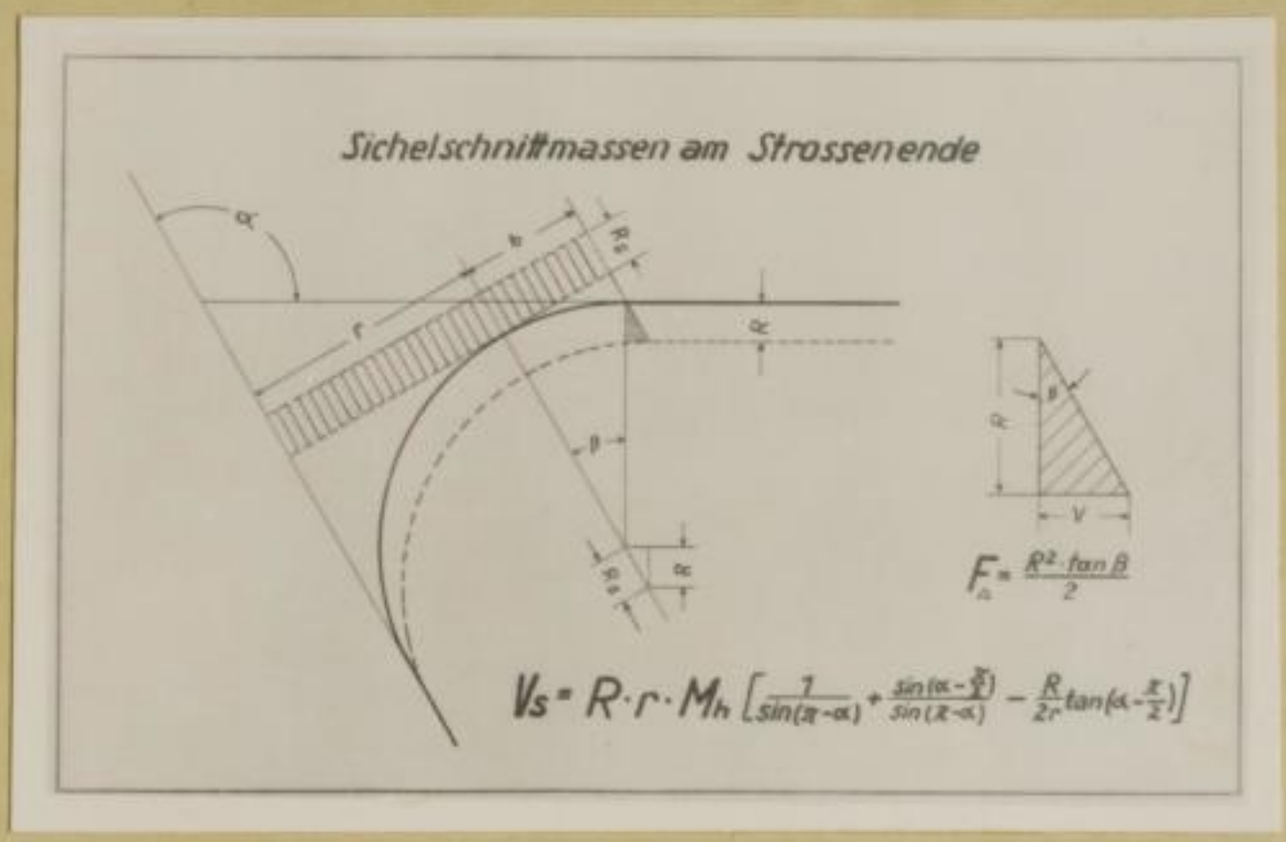


Bild 8

Zusätzlich zu den bereits genannten werden folgende Kurzzeichen eingeführt:

v = Strossenverlängerung je Rückbreite
α = Strossenendwinkel
R_s = Effektive Rückbreite im Sichelschnitt
r = Schwenkradius des Baggers
b = Projektion des Schwenkweges
M_h = Mächtigkeit des Hochschnittes

Bei der Gewinnung der Massen steht das Gerät still, die Eimerleiter bewegt sich auf einem Kreisbogen um die Schwenkachse des Baggers. Durch den Rückvorgang wird der Standort des Baggers um die Rückbreite R in Verhiebsrichtung und die Verlängerung v in Strossenrichtung verschoben. Daraus ergibt sich eine Gesamtverschiebung um R_s parallel zur Markscheide.

$$R_s = \frac{R}{\sin(\pi - \alpha)}$$

Aus der Verschiebung des Mittelpunktes ergibt sich, daß die Fläche des Sichelschnittes, parallel zur Markscheide gemessen, überall die gleiche Breite hat.
Die Projektion auf eine Gerade rechtwinklig zur Mark-

scheide ergibt die schraffiert dargestellte Fläche. Diese Rechteckfläche ist jedoch um die engschraffierte Fläche, die annähernd einem Dreieck entspricht, größer als die Sichelschnittfläche und muß entsprechend korrigiert werden. Die Dreieckfläche ist folgende:

$$F_\Delta = 0{,}5\ R^2 \tan\beta$$

Die Breite des Rechteckes ist R_s. Die Länge setzt sich aus zwei Größen zusammen. Für einen Winkel von 90° entspricht sie dem Schwenkradius r. Der Wert b repräsentiert die Abweichung des Strossenendwinkels von einem rechten Winkel.

$$b = r \sin\beta$$

Der Winkel β ist nicht bekannt, läßt sich aber aus den geometrischen Beziehungen einfach ermitteln.

$$\beta = \alpha - \frac{\pi}{2}$$

Die Fläche des Sichelschnittes ist dann

$$F = R_s\ (r + b) - F_\Delta$$

$$(3) \qquad = r\ R\left[\frac{1}{\sin(\pi - \alpha)} + \frac{\sin(\alpha - \frac{\pi}{2})}{\sin(\pi - \alpha)} - \frac{R}{2\ r} \tan(\alpha - \frac{\pi}{2})\right]$$

$$F = r\ R\ w$$

Der Einfluß des Strossenendwinkels wird durch den Faktor w ausgedrückt. Um die Arbeit mit dieser Größe zu vereinfachen, wurden die Werte für Winkel von 60 bis 150° errechnet und in einem Diagramm (Bild 9) dargestellt. Da w nicht nur vom Strossenendwinkel, sondern auch von R und r beeinflußt wird, kann dieser Wert nicht eindeutig angegeben werden. Für die Errechnung des Diagramms wurde eine Rückbreite von 5 m verwendet und der Schwenkradius für die Geräte Ds 1600 bzw. Ds 3150 und Ds 1120 eingesetzt. Man kann erkennen, daß der Einfluß von r nur gering ist.

Setzt man die in Gleichung 2 und 3 erhaltenen Werte in Gleichung 1 ein, so erhält man

$$(4) \quad V_e = \frac{l_1 \cdot R \cdot K}{2} + r \cdot R \cdot H_h \cdot w_1 + \frac{l_2 \cdot R \cdot K}{2} + r \cdot R \cdot H_h \cdot w_2$$

$$= V_{e1} + V_{e2}$$

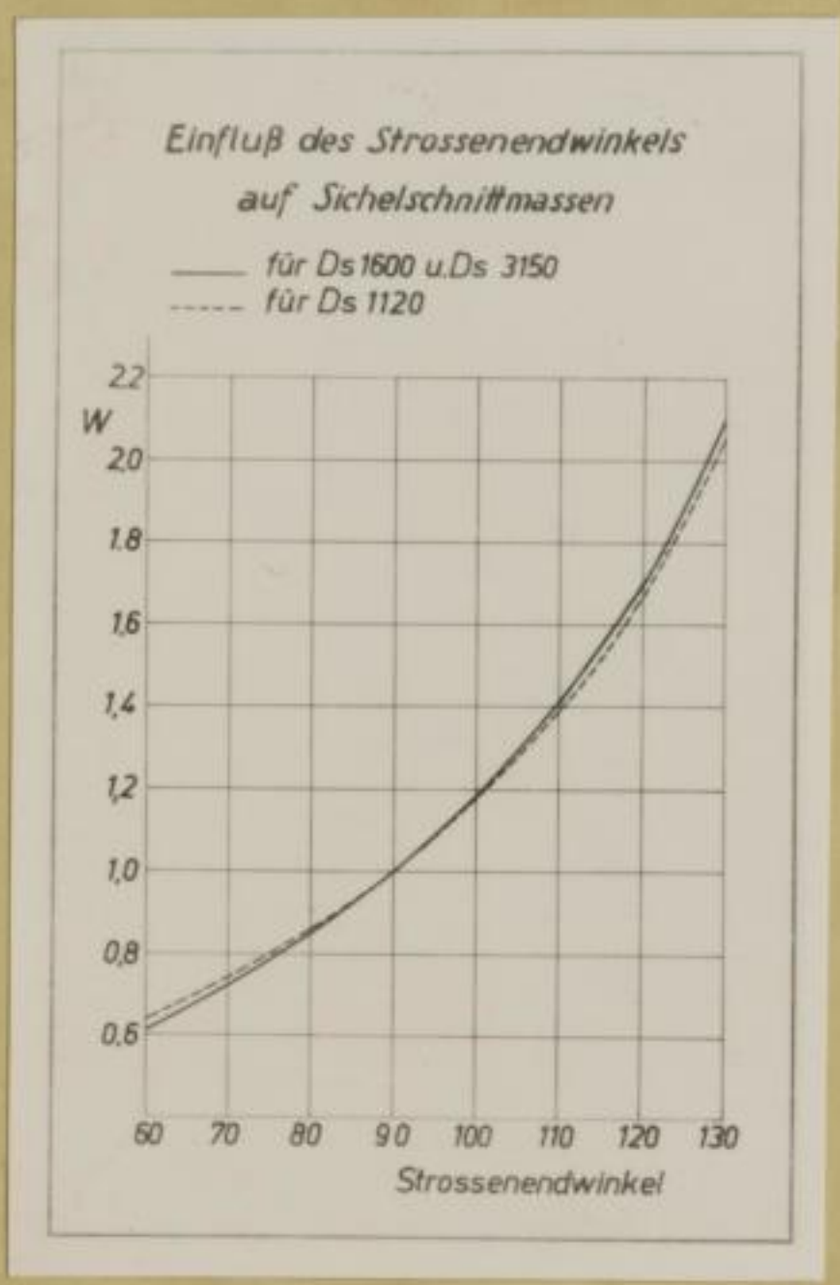


Bild 9

Es soll nun errechnet werden, welche Zeit für jedes Gerät notwendig ist, um die zugehörigen Massen zu gewinnen und welche Betriebszeit für die Förderbrücke notwendig wird. Die Gesamtmassen, die in einer Rückperiode anstehen, sind folgende:

$$(5) \quad V = L \cdot R \cdot M$$

V = Gesamtmassen einer Rückperiode

L = Strossenlänge

Bei der Festlegung der Strossenlänge ist die unterschiedliche Länge des Hoch- und Tiefschnittes zu berücksichtigen.

Die Förderbrücke hat die Gesamtmassen V zu bewegen. Für den Anteil $V - V_e$ steht die Leistung beider angeschlossener Geräte zur Verfügung. Für die Anteile $V_{e1} + V_{e2} = V_e$ dagegen jeweils nur ein Gerät.

Der Abraum, den die Bagger jeweils zu gewinnen haben, ist folgender:

Gerät 1 $\frac{V - V_e}{2} + V_{e1} = \frac{V - V_e + 2 V_{e1}}{2}$

Gerät 2 $\frac{V - V_e}{2} + V_{e2} = \frac{V - V_e + 2 V_{e2}}{2}$

Die Zeit, die für die Gewinnung des Bodens durch die Geräte bzw. für die Förderung durch die Bandanlagen der Brücke notwendig ist, läßt sich aus folgender Beziehung ermitteln.

(6) $$t_1 = \frac{V - V_e + 2 V_{e1}}{2\, Q_e}$$

(7) $$t_2 = \frac{V - V_e + 2 V_{e2}}{2\, Q_e}$$

$$t_b = \frac{V - V_e}{2\, Q_e} + \frac{V_{e1}}{Q_e} + \frac{V_{e2}}{Q_e}$$

(8) $$t_b = \frac{V + V_e}{2\, Q_e}.$$

In diesen Formeln bedeuten

t_1 = Betriebszeit des Baggers 1 (h)
t_2 = Betriebszeit des Baggers 2 (h)
t_b = Betriebszeit der Förderbrücke (h)
Q_e = Effektive Leistung eines Gerätes (m^3/h)

Die volle Leistung der Brücke wird nur in der Zeit

$$t = \frac{V - V_e}{2\, Q_e}$$

erreicht. Die übrige Zeit ist jeweils nur ein Gerät in Betrieb.

Die verwendete effektive Leistung ist ein Mittelwert, der durch Messung über längere Zeiträume ermittelt werden kann. Tatsächlich treten bei den unterschiedlichen Betriebsphasen abweichende Leistungswerte auf. Es sollen hier nur die Leistungsminderungen beim Anschneiden des Tiefschnittes und die unterschiedlichen Leistungen im Hoch- und Tiefschnitt erwähnt werden. Diese Abweichungen haben auf die Gültigkeit des Rechenganges keinen Einfluß. Es treten dadurch lediglich zeitliche Verschiebungen auf, d.h., es werden in gleichen Zeiträumen nicht immer die gleichen Massen bewegt.

Lediglich bei der Gewinnung des Sichelschnittes können geringe Abweichungen von den errechneten Werten auftreten. Es hängt hierbei von der Qualifikation des Baggerführers ab, ob die mittlere Leistung erreicht wird. Die objektiven Möglichkeiten sind gegeben, wenn nicht bei jedem Span bis zur Sichelspitze geschwenkt wird.

Der Einfluß dieser zeitweise unterschiedlichen Leistungen wird später noch untersucht. Aus dem ermittelten Zeitbedarf der einzelnen Teile des Brückenverbandes wird der Zeitanteil errechnet, den jedes Gerät an der Gesamtbetriebszeit der Brücke hat.

$$(9) \qquad t_1' = \frac{t_1}{t_b} = \frac{V - V_e + 2\,V_{e1}}{V + V_e}$$

$$(10) \qquad t_2' = \frac{t_2}{t_b} = \frac{V - V_e + 2\,V_{e2}}{V + V_e}$$

Daraus kann der mittlere Zeitanteil errechnet werden

$$t' = \frac{t_1' + t_2'}{2}$$

$$= \frac{V - V_e + V_{e1} + V_{e2}}{V + V_e}$$

Da $V_{e1} + V_{e2} = V_e$ ist, ergibt sich

$$t' = \frac{V}{V + V_e}$$

Dieser mittlere Zeitanteil ist ein wichtiges Maß für die mögliche Ausnutzung der Betriebszeit der Förderbrücke durch die einzelnen Geräte. Bei gleicher effektiver Leistung der Bagger gibt diese Kennziffer gleichzeitig die Leistungsfähigkeit eines solchen Brückenverbandes an.

Setzt man die Werte für V und V_e ein, so erhält man

$$(12) \qquad t' = \frac{L}{L + \frac{l_1 + l_2}{2} + 2\,r \cdot w_m \frac{H_h}{H}}$$

Aus dieser Gleichung kann man erkennen, daß

1. einen wesentlichen Einfluß auf die kontinuierliche Auslastung einer Förderbrücke die Strossenlänge hat. Mit zunehmender Länge werden die Zeitanteile der Geräte verbessert.
2. die wirksamen Längen für Einbaggerbetrieb l_1 und l_2 den Wert t' ungünstig beeinflussen, d.h., daß sie möglichst klein gehalten werden müssen.
3. die Gewinnung im Sichelschnitt durch drei Größen beeinflußt wird. Großer Schwenkradius des Baggers, große Hochschnittmächtigkeit und großer Strossenendwinkel beeinflussen die zeitliche Auslastung ungünstig.

Daraus lassen sich bereits Maßnahmen ableiten, um zu guten Betriebsergebnissen bei Förderbrücken zu kommen.

Schwenkbetrieb

Die Zusammensetzung der Massen für den Einbaggerbetrieb tritt im Schwenkbetrieb am Strossenende in ähnlicher Form auf wie im Parallelbetrieb. Am Drehpunkt dagegen

liegen völlig andere Verhältnisse vor. Zur Klärung der Frage, in welchem Umfang Leistungsausfälle an beiden Strossenenden entstehen, werden die auftretenden Rückflächen untersucht. Dabei wird vorausgesetzt, daß die Rückfläche die Form eines Dreiecks hat. Man wird natürlich im praktischen Betrieb nicht ständig die ideale Dreieckform rücken und so die errechneten Ausfälle bei jeder Strossenendbaggerung haben. Bei den einzelnen Rückperioden werden längere oder kürzere Abschnitte mehr oder weniger parallel gerückt mit den entsprechenden Einläufen. Nach einigen Rückperioden wird jedoch die Dreieckfläche erreicht und die errechneten Ergebnisse sind als Durchschnittswerte für diesen Zeitraum anzusehen. Abweichungen von der dreieckigen Rückfläche über einen längeren Zeitraum führen zu Kurvenbetrieb, der gesondert zu behandeln ist. Im Bild 10 sind die Rückflächen im Schwenkbetrieb dargestellt.

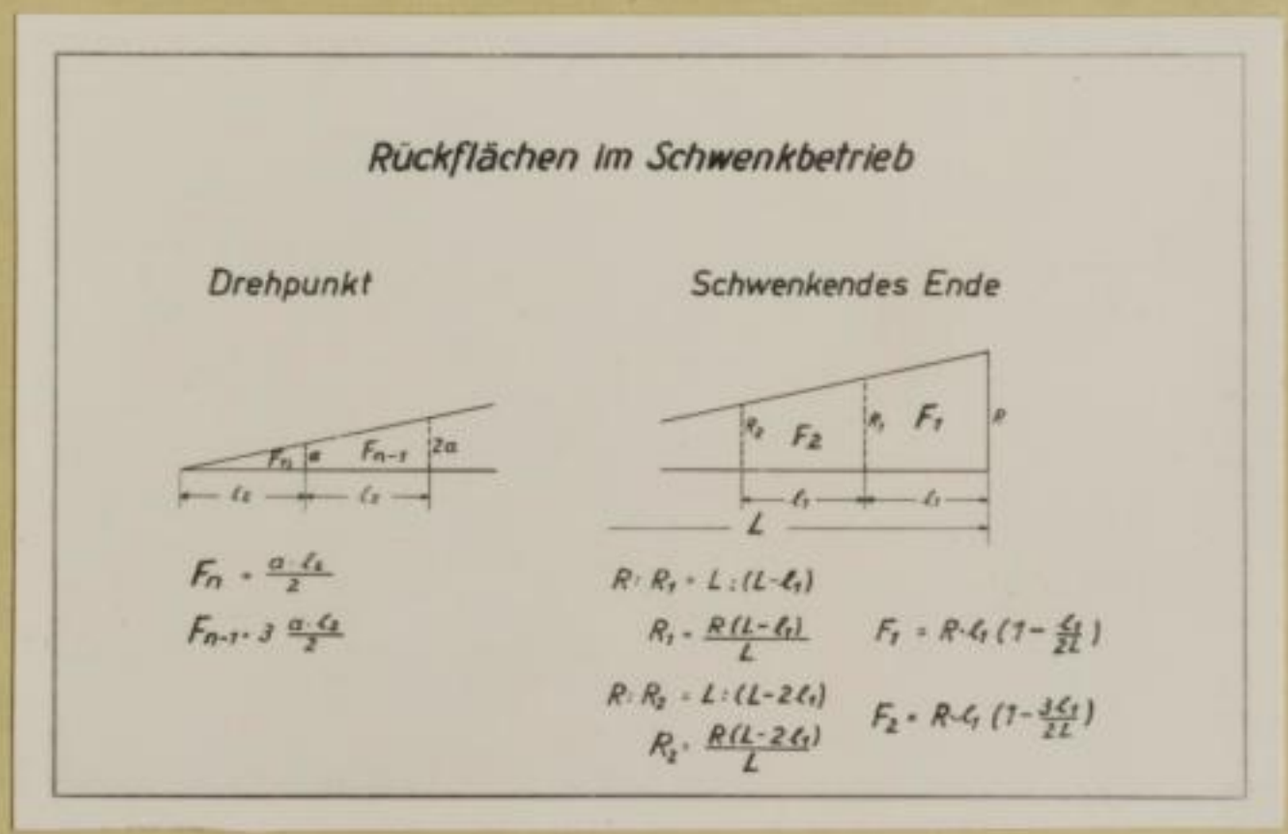


Bild 10

Die Rückbreite am schwenkenden Ende wird mit R bezeichnet. Das ist ein Maximum, das in Richtung Drehpunkt linear abnimmt und den Wert Null erreicht. Im Abstand l_2 vom Drehpunkt ist die Rückbreite a vorhanden, im Abstand $2 \cdot l_2$ ist sie dann entsprechend 2a. Die Rückflächen für diese beiden Abschnitte sind dann

$$F_n = \frac{a\ l_2}{2} \quad \text{und} \quad F_{n-1} = 3\ \frac{a\ l_2}{2}$$

Daraus ist bereits zu erkennen, daß die Rückfläche im vorletzten Abschnitt das Dreifache der des letzten Abschnittes beträgt, der letzte Abschnitt also immer früher ausgebaggert sein wird als der vorletzte. Damit kann ein Einbaggerbetrieb nicht auftreten. Stellen sich Ausfallzeiten bei der Arbeit am Drehpunkt trotzdem ein, so muß untersucht werden, welche Fehler bei der Rück- bzw. Baggertechnologie zu beseitigen sind. Verluste am Drehpunkt durch Einbaggerbetrieb sind auf jeden Fall vermeidbar.
Am schwenkenden Ende treten im Prinzip die gleichen Verhältnisse auf wie sie bereits beim Parallelbetrieb erläutert wurden. Hier muß jedoch beachtet werden, daß die Rückbreite am Strossenende am größten ist. Die Rückflächen in den letzten beiden Abschnitten sind damit nicht rechteckig sondern trapezförmig. Das bedeutet, daß ihre Größe unterschiedlich ist und damit auch die der anstehenden Massen. Zur Ermittlung des Bodens, der im letzten Abschnitt für den Einbaggerbetrieb verbleibt, gilt folgende Überlegung:
Während des Frontbetriebes mit zwei Geräten können im letzten Abschnitt halb soviel Massen gewonnen werden wie im vorletzten anstehen. Für den Einbaggerbetrieb verbleiben damit

$$(13) \quad V_e = V_1 - \frac{V_2}{2} + V_s$$

Zur Bestimmung des Masseninhaltes der einzelnen Abschnitte müssen zunächst die zugehörigen Rückflächen bestimmt werden.

Als Rückbreite R wird die am Ende des letzten Abschnittes bezeichnet. Im Abstand l_1 bzw. $2\,l_1$ treten die Rückbreiten R_1 und R_2 auf. Diese Größen können aus folgender Beziehung ermittelt werden.

$$R_1 = \frac{R\,(L - l_1)}{L}$$

$$R_2 = \frac{R\,(L - 2\,l_1)}{L}$$

Daraus lassen sich die Rückflächen errechnen

$$F_1 = \frac{R + R_1}{2} \cdot l_1$$

$$F_1 = R \cdot l_1 \left(1 - \frac{l_1}{2L}\right)$$

$$F_2 = R \cdot l_1 \left(1 - \frac{2l_1}{2L}\right)$$

Unter Verwendung dieser Ergebnisse wird V_e ermittelt.

$$V_e = R \cdot l_1 \cdot M \left(1 - \frac{l_1}{2L}\right) - \frac{R \cdot l_1 \cdot M}{2} \left(1 - \frac{2l_1}{2L}\right) + R \cdot r \cdot M_h \cdot w$$

$$= \frac{R \cdot l_1 \cdot M}{2} \left(1 + \frac{l_1}{2L}\right) + R \cdot r \cdot M_h \cdot w$$

$$(14) \quad V_e = \frac{V_1}{2} \cdot T + V_s$$

Die Gleichung unterscheidet sich von der für den Parallelbetrieb aufgestellten durch den Faktor T, der als Trapezfaktor bezeichnet wird. Damit wird der Einfluß der unterschiedlichen Rückbreiten erfaßt, durch den die einzelnen Strossenabschnitte Trapezform annehmen.

Aus der Gleichung für den Trapezfaktor

$$T = 1 + \frac{l_1}{2L} \tag{15}$$

erkennt man, daß durch diesen Einfluß der Einbaggerbetrieb im Schwenkbetrieb einen größeren Umfang hat als im Parallelbetrieb. Die Größe des Einflusses wird bestimmt durch Strossenlänge und wirksame Länge des Einbaggerbetriebes. In Tabelle 3 sind für die Bereiche von L und l_1, die praktische Bedeutung haben, die Werte für T zusammengestellt.

Trapezfaktor				
	l_1 (m)			
L (m)	30	50	100	200
1000	1,015	1,025	1,05	1,1
1500	1,01	1,016	1,033	1,066
2000	1,008	1,0125	1,025	1,05
2500	1,006	1,010	1,02	1,04
3000	1,005	1,0083	1,016	1,033
3500	1,004	1,0071	1,0143	1,0285
4000	1,004	1,0063	1,0125	1,025
4500	1,003	1,0056	1,011	1,0222

Für kleine Werte von l_1, d.h. für einseitige Baggeranordnung, erhält man für T 1 % und weniger. Bei großen Abständen dagegen tritt eine Vergrößerung der Massen gegenüber Parallelbetrieb ein, die in ungünstigen Fällen 10 % erreichen und übersteigen kann.
Um die praktische Handhabung zu vereinfachen, wurde zur Ermittlung des Trapezfaktors ein Nomogramm entworfen, aus dem sehr einfach der Wert T entnommen werden kann.
Aus Strossenlänge und Länge des Abschnittes für Einbaggerbetrieb erhält man einen Schnittpunkt. Verbindet man diesen mit dem Nullpunkt des Diagramms, so gibt der Schnittpunkt dieser Verbindungslinie mit der eingezeichneten Skala für T den entsprechenden Wert an.

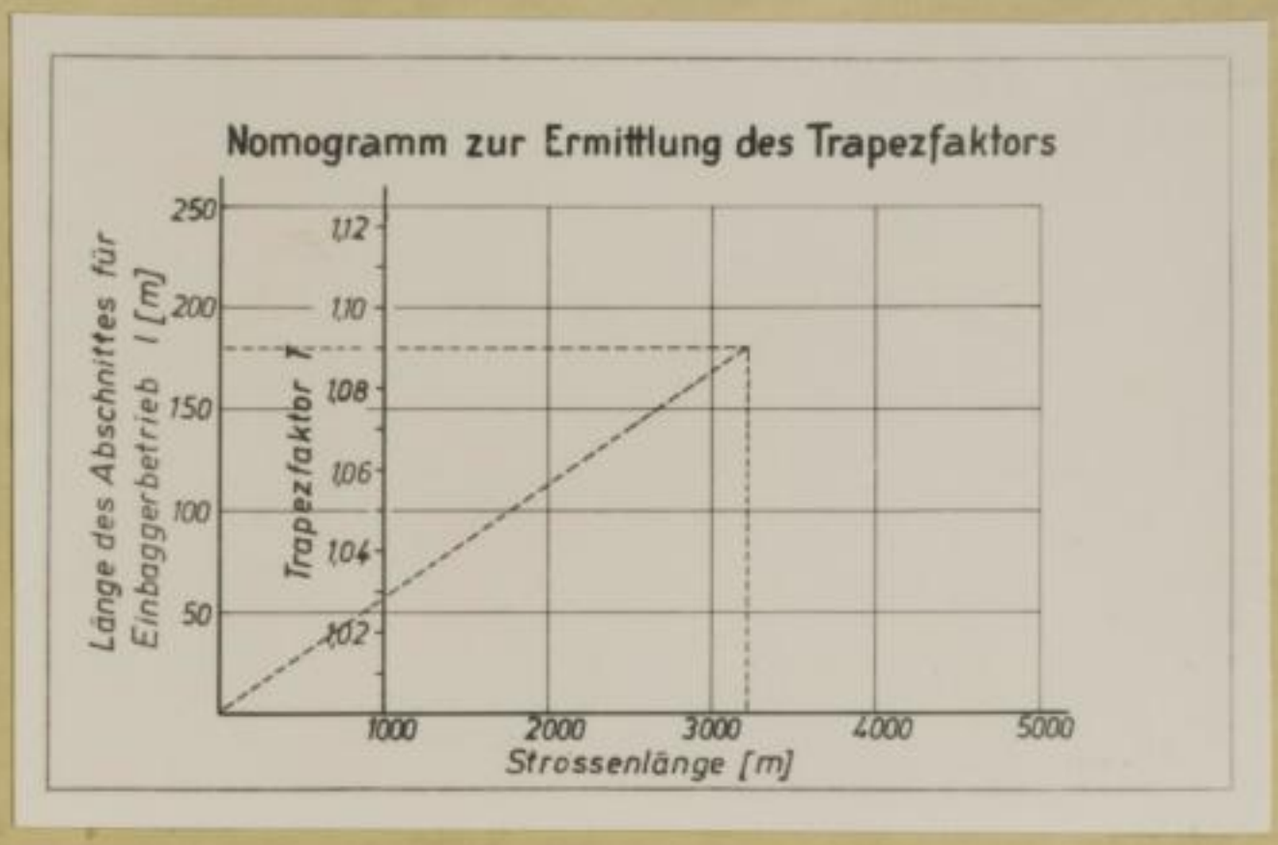


Bild 11

In Gleichung 14 wurde für die Sichelschnittmassen die im Abschnitt Parallelbetrieb entwickelte Formel verwendet. Bei exakter Betrachtung erkennt man auch hier einen Einfluß, der durch die Dreieckform der Rückfläche verursacht wird. Es wurde als Rückbreite R die festgelegt, die am Ende des letzten Strossenabschnittes erreicht wird. An dieser Stelle steht bei der Gewinnung der Sichelschnittmassen die Schwenkachse des Baggers, die Eimerleiter greift jedoch um den Abstand r darüber hinaus. Auch auf diesem Abschnitt ist die Dreieckform der Rückfläche wirksam und führt zu einer Vergrößerung der Massen. Die Größe dieses Einflusses kann auf die gleiche Weise ermittelt werden wie die des Trapezfaktors. Die Abweichungen gegenüber Parallelbetrieb sind jedoch nur sehr klein. Der auftretende Fehler ist

$$f = 1 + \frac{r}{2\,R} \qquad (16)$$

und übersteigt bei ungünstigen Verhältnissen kaum 1 %. Da sich der Fehler nur auf die Sichelschnittmassen bezieht ist sein Anteil an den Gesamtmassen für den Einbaggerbetrieb noch weitaus geringer. Betrachtet man aber die absolute Größe des Fehlers, so entspricht er einer Einsatzzeit des Baggers von höchstens einer Minute bei 5 m Rückbreite. Auf Grund des geringen Einflusses

wird auf eine Einführung in die Berechnungen verzichtet. Nach diesen Erläuterungen über die Besonderheiten bei Schwenkbetrieb wird mit der Ermittlung des Zeitbedarfes die Untersuchung fortgeführt. Die Gesamtmassen, die in einer Rückperiode anstehen, sind

$$(17) \qquad V = \frac{L\,R\,H}{2}$$

Für den Anteil $V - V_e$ steht wiederum die Leistung von zwei Geräten zur Verfügung, die Massen V_e können nur durch Bagger 1, der am Grossenende steht, gewonnen werden. Für das zweite Gerät tritt ein Einbaggerbetrieb nicht auf. Die notwendige Betriebszeit ist folgende:

$$t_1 = \frac{V - V_e}{2\,q_e} + \frac{V_e}{e}$$

$$(18) \qquad t_1 = \frac{V + V_e}{2\,q_e}$$

$$(19) \qquad t_2 = \frac{V - V_e}{2\,q_e}$$

Die Betriebszeit der Förderbrücke ist hier mit der des Baggers 1 identisch,

$$(2o) \qquad t_b = t_1$$

und damit wird der Zeitanteil dieses Gerätes $t_1' = 1$

Der Anteil des zweiten Gerätes ist

$$t_2' = \frac{t_2}{t_b} = \frac{V - V_e}{V + V_e}$$

Daraus ergibt sich ein mittlerer Zeitanteil beider Geräte von

$$(21) \qquad t' = \frac{V}{V + V_e}$$

Das Endergebnis ist also das gleiche wie bei Parallelbetrieb. Es muß aber beachtet werden, daß die Werte für V und V_e hier nach anderen Gesichtspunkten errechnet worden. Setzt man die entsprechenden Werte ein, so erhält man

$$(22) \qquad t' = \frac{L}{L + l_1 T + 2 r w \frac{h}{M}}$$

Wenn man von den möglichen Unterschieden zwischen l_1 und l_2 im Parallelbetrieb absieht, so ergeben sich zwischen beiden Betriebsarten lediglich Differenzen durch den Einfluß des Trapezfaktors. Die Schlußfolgerungen sind die gleichen wie bereits beim Parallelbetrieb erläutert.

Allgemeine Anwendbarkeit der Ergebnisse

Für die bisher durchgeführten Berechnungen wurden eine Reihe von Annahmen getroffen. Vergleicht man diese Bedingungen mit den praktischen Verhältnissen in den Betrieben, so muß man feststellen, daß sehr oft Abweichungen auftreten, welche die Genauigkeit der Berechnung mehr oder weniger beeinflussen. Ausgenommen bleibt hierbei die unter Punkt 1 genannte Festlegung, die aus sicherheitstechnischen Gründen immer eingehalten werden muß. Die zweite Bedingung braucht ebenfalls nicht näher untersucht zu werden, da sie für alle neuen Förderbrücken zutrifft. Von den Brücken, die heute noch in Betrieb sind, bildet lediglich die Brücke Hiemtsch eine Ausnahme. Sie stellt aber bereits 1965 ihre Arbeit ein. Ein erneuter Einsatz mit den gleichen Gewinnungsgeräten ist nicht vorgesehen.
Es wurde weiter angenommen, daß beide Geräte die gleiche Leistung haben. An alle Einheitsförderbrücken sind grundsätzlich zwei typengleiche Geräte angeschlossen. Es zeigt sich aber in der Praxis, daß die effektive Leistung durchaus nicht gleich sein muß.

In Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen sind die Leistungen im Hoch- und Tiefschnitt unterschiedlich. Werden die Geräte in verschiedenen Schnitten eingesetzt, wie das in einigen Tagebauen der Fall ist, so wird ständig eine Leistungsdifferenz vorhanden sein. Damit werden auch die Bodenanteile für die Bagger unterschiedlich. Im Bild 12 sind die auftretenden Verhältnisse dargestellt.

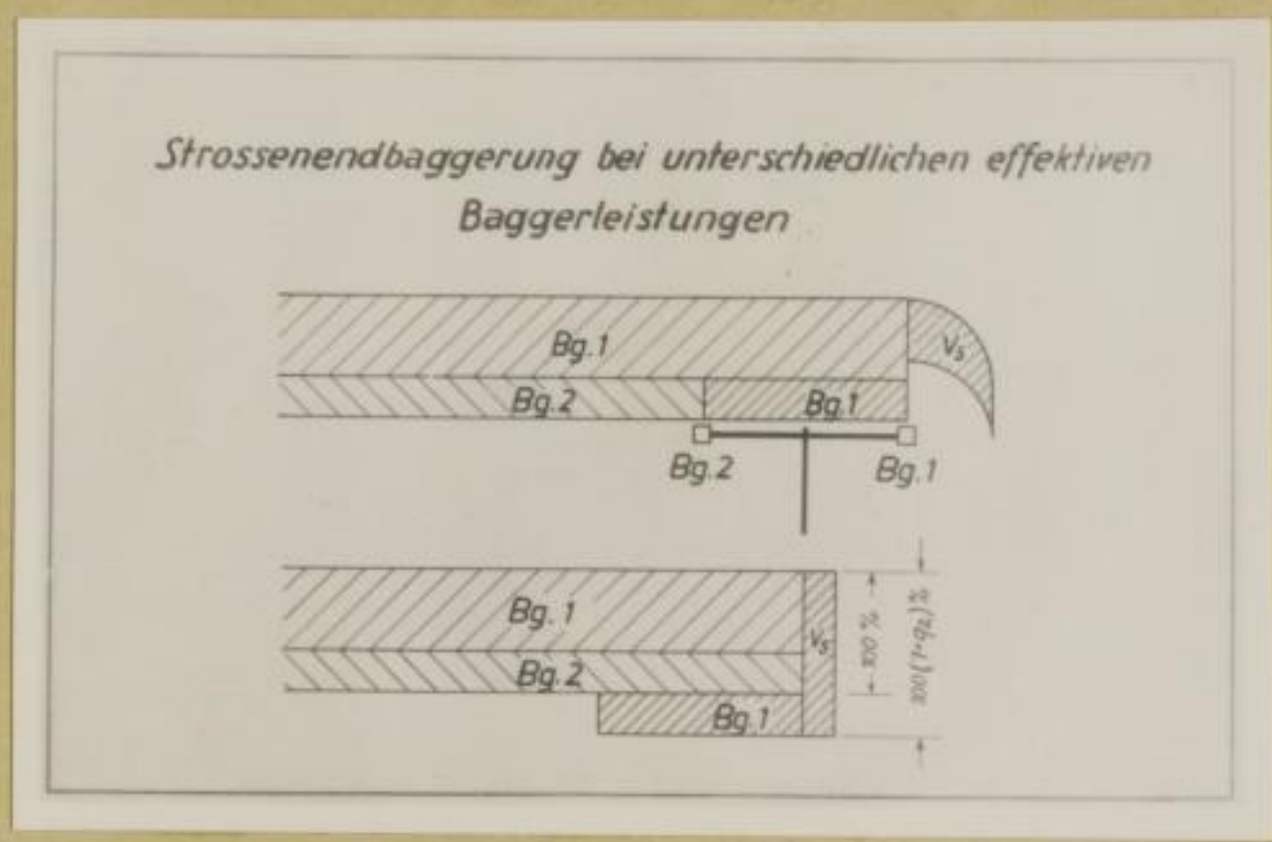


Bild 12

Dabei ist $Q_1 > Q_2$ und $Q_1 + Q_2 = Q_{ges}$
Die Anteile der Geräte an der Gesamtleistung sind dann

$$(23) \qquad q_1 = \frac{Q_1}{Q_{ges}}$$

$q_{1,2}$ = Leistungsanteil des Baggers 1 oder 2
Die für den Einbaggerbetrieb verbleibenden Massen sind dann nicht mehr die Hälfte der im letzten Strossenabschnitt anstehenden. Es verbleibt der Anteil des Baggers 2, der das Strossenende nicht erreichen kann. Die Errechnung erfolgt für den Parallelbetrieb nach folgender Gleichung:

$$(24) \qquad V_{e1} = l_1 \; R \; M \; q_2 + V_s = V_1 \; q_2 + V_s$$

Analog wird auch V_{e2} errechnet.
Für den Schwenkbetrieb gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

$$V_e = V_1 - V_2 \cdot q_1 + V_s$$

Diese Formel ist wie folgt zu erklären. Der Anteil, den Gerät 1 während des Zweibaggerbetriebes auf dem letzten Abschnitt gewinnen kann, ist gleich seinem Anteil am vorletzten Abschnitt. Das ist deshalb so, weil die Gewinnung dieser Massen in der gleichen Zeit erfolgen muß, in der Gerät 2 seinen Anteil aus dem vorletzten Abschnitt bewegt. Diese Zeit ist aber die gleiche, die Bagger 1 für seinen Anteil im vorletzten Abschnitt benötigt. Aus der Definition von q_1 und q_2 ergibt sich

$$q_1 + q_2 = 1$$
$$q_1 = 1 - q_2$$

Setzt man diese Beziehung in die obige Gleichung ein, so erhält man nach Umformung

$$V_e = V_1 \cdot q_2 \cdot T + V_s \tag{25}$$

Aus dieser Formel läßt sich wieder die notwendige Betriebszeit für beide Geräte bestimmen wie im folgenden am Beispiel des Schwenkbetriebes ausgeführt wird. Der Zeitbedarf für den Zweibaggerbetrieb wird durch die Summe der effektiven Leistungen bestimmt und läßt sich ohne weiteres ermitteln. Für den Anteil V_e muß jedoch beachtet werden, daß die Leistung Q_1 dafür nicht mehr zur Verfügung steht. Die höhere Leistung ist jeweils nur in einem Schnitt erreichbar. Bei der Gewinnung der Restmassen muß in den anderen Schnitt geschwenkt werden, und damit sinkt die Leistung auf Q_2 ab. Bei der Gewinnung der Sichelschnittmassen muß die im Hochschnitt auftretende Leistung eingesetzt werden. Wenn die höhere Leistung, wie das vielfach der Fall ist, im Hochschnitt erreicht wird, dann gilt für die Berechnung des Zeitbedarfes folgende Gleichung:

$$t_1 = \frac{V - V_e}{Q_1 + Q_2} + \frac{V_1 \, q_2 \, T}{Q_2} + \frac{V_s}{Q_1}$$

Unter Beachtung der Gleichung 23 kann man umformen.

$$(26) \qquad t_1 = \frac{V - V_s + V_1 T}{Q_{ges}} + \frac{V_s}{Q_1}$$

Man erkennt daraus, daß durch die unterschiedliche effektive Leistung in den einzelnen Schnitten bei der Arbeit im letzten Strossenabschnitt keine Veränderung des Zeitbedarfes eintritt. Lediglich bei der Gewinnung der Sichelschnittmassen ergibt sich eine Abweichung. Die effektiven Leistungen können um ca.15 bis 20 % differieren. Die Auswirkungen auf den mittleren Zeitanteil sind in ungünstigen Fällen 0,2 %, meistens aber kleiner als 0,1 %. Die weitere Berechnung erfolgt in der gleichen Weise, wie in den Abschnitten Parallel- und Schwenkbetrieb erläutert wurde.
Neben der Beeinflussung des mittleren Zeitanteils bei unterschiedlicher Leistung in den verschiedenen Schnitten tritt noch eine Veränderung der Kippenüberhöhung ein, wie später noch erläutert wird.
Bei älteren Förderbrücken waren teilweise zwei Geräte mit unterschiedlicher theoretischer und effektiver Leistung eingesetzt, wie das am Beispiel der Förderbrücke Laubusch bereits erläutert wurde. Dieser Leistungsunterschied ist also nicht durch die Einsatzbedingungen, sondern durch die Konstruktion verursacht und wird damit auch am schwenkenden Ende wirksam.
Die Massenanteile der Geräte sind durch die anteiligen Baggerleistungen q_1 und q_2 gegeben. Die Berechnung kann ebenfalls nach Gleichung 25 erfolgen. Für die Ermittlung der Baggerzeit muß beachtet werden, daß der Anteil des Baggers 2 im letzten Abschnitt durch den Bagger 1 mit seiner höheren effektiven Leistung gewonnen wird. Damit ändert sich Gleichung 26 wie folgt:

$$(27) \qquad t_1 = \frac{V - V_e}{Q_1 + Q_2} + \frac{V_1 \, q_2 \, T}{Q_1} + \frac{V_s}{Q_1}$$

Unter der Bedingung, daß $Q_1 > Q_2$ wird die Zeit für die Massengewinnung im letzten Strossenabschnitt gegenüber den bisher behandelten Fällen kürzer sein, und der mittlere Zeitanteil der Bagger nimmt zu. Er gibt in diesem Fall zwar einen Überblick über die zeitliche Auslastung, ist aber nicht repräsentativ für die Leistung eines Brückenverbandes. Will man für die erreichbare Leistung eine Kennziffer angeben, so muß das gewogene Mittel unter Berücksichtigung der Leistungsanteile der Bagger nach Gleichung 28 errechnet werden.

$$t_q' = t_1' \cdot q_1 + t_2' \cdot q_2 \qquad (28)$$

Dieser Wert t_q' gibt an, welcher Anteil der vollen Leistung in der verfügbaren Betriebszeit durchschnittlich erreicht werden kann.

Man erkennt aus diesen Betrachtungen, daß der Anbau unterschiedlicher Geräte an einer Förderbrücke sowohl Vorteile für die zeitliche Auslastung als auch für den Kippenaufbau aufweist. Förderbrücken dieser Art sind jedoch mit Ausnahme der Brücke Niemtsch nicht mehr in Betrieb und auch für die Perspektive nicht vorgesehen. Als weitere Bedingung für die Berechnung wurde festgelegt, daß die Eimerleitern rechtwinklig zur Böschung stehen. Es ist aber bei Hochschnittbaggerung üblich, den Bagger etwas einzuschwenken, so daß die Eimerleiter gegenüber der Normalstellung vorauseilt. Entscheidend für die zeitliche Auslastung ist, welche Stellung die Eimerleiter am Anfang des letzten Strossenabschnittes hat. Da die Eimerleitern bei jeder Fahrtrichtung vorauseilen, wird die Länge des letzten Abschnittes bei der Hinfahrt verkürzt und bei der Rückfahrt verlängert, so daß sich dieser Einfluß ausgleicht und keine Abänderung der Formeln notwendig wird.
Unter Punkt 5 und 6 wurden zwei weitere Bedingungen festgelegt. Abweichungen davon bringen jedoch keine grundsätzliche Änderung für die Anwendung der entwickelten Formeln. Die Grundgleichungen 11 und 21 für

Parallel- und Schwenkbetrieb können auch hier Anwendung finden. Die Werte V und V_e müssen lediglich auf markscheiderischem Wege ermittelt werden. Das kann für jeden beliebigen Zeitraum angewendet werden. Der gleiche Weg muß auch beschritten werden, wenn durch Kurvenbetrieb die Rückflächen solche Formen annehmen, daß sie mit einfachen Formeln nicht mehr zu erfassen sind. Im Zweibrückenbetrieb sind von den Gesamtmassen V die Anteile abzusetzen, die durch die zweite Brücke im vorderen Teil der Strosse gewonnen werden.

Bild 13

Es ist also unter allen Bedingungen möglich, die bei Strossenendbaggerung auftretenden Verluste rechnerisch zu erfassen. Abweichungen von der eingangs abgeleiteten Berechnungsmethode ergeben sich lediglich, wenn die effektive Leistung der angeschlossenen Geräte unterschiedlich ist. Sie treten bei den modernen Einheitsförderbrücken nur bei der Gewinnung der Massen im Sichelschnitt auf und bleiben unter 0,2 %. Es ist deshalb zu vertreten, bei Förderbrücken mit zwei typengleichen Gewinnungsgeräten auf die Berücksichtigung dieses Faktors zu verzichten.

Als allgemeine Gleichung bei Förderbrücken mit zwei typengleichen Geräten können also die Formeln 11 und 21 angegeben werden. Für gleichbleibende Abraummächtigkeiten und M_h = 0,5 M sind diese Beziehungen in den

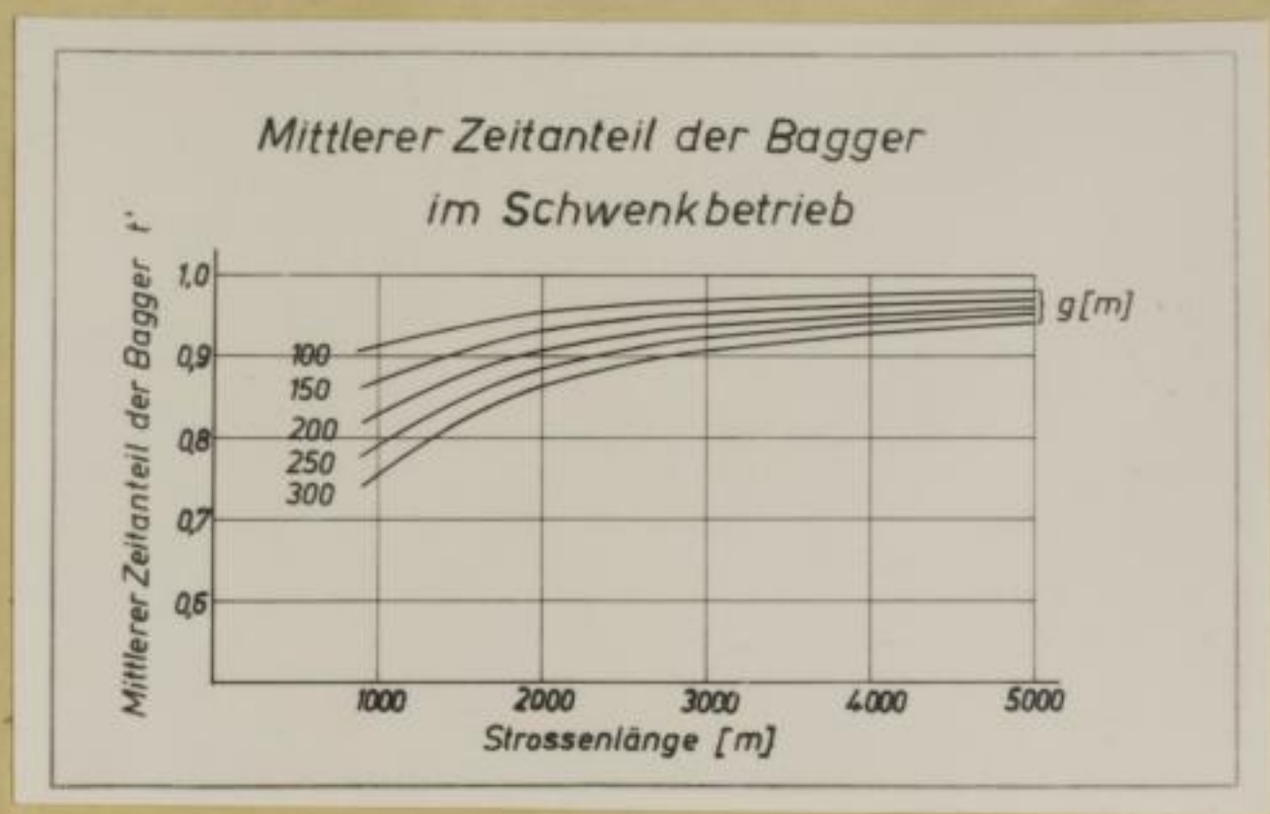


Bild 14

Bildern 13 und 14 dargestellt. Der verwendete Wert g ist wie folgt zu ermitteln:

Für Parallelbetrieb

$$(30\ a) \qquad g = \frac{l_1 + l_2}{2} + r\ w\ 2\ \frac{M_h}{M}$$

Für Schwenkbetrieb

$$(30\ b) \qquad g = l_1\ T + r\ w\ 2\ \frac{M_h}{M}$$

Der Einfluß des Faktors $M_h : M$ ist nur sehr gering, da die Hochschnittmächtigkeit meistens etwa der Hälfte der Gesamtmächtigkeit entspricht und damit dieser Faktor nahe 1 liegt.

Vergleich mit Betriebsergebnissen

Die mathematische Behandlung der Strossenendbaggerung erfaßte solche Ausfälle, die maschinentechnisch und technologisch bedingt sind. Im praktischen Betrieb stellen sich darüber hinaus noch Ausfallzeiten ein, die durch Störungen, zeitlich nicht zusammenfallendes Schwenken u.a. verursacht werden. Diese können nicht vorraus berechnet werden, da sie unregelmäßig auftraten. Einen Überblick über die Größenordnung kann man nur durch Analyse der Betriebsergebnisse gewinnen.

Um diese Einflüsse zu ermitteln, werden zunächst die erreichten Kennziffern der Förderbrücke Klettwitz des Jahres 1963 untersucht. In diesem Brückenbetrieb wurde im betrachteten Zeitraum die anfangs vorhandene Kurve aufgezogen. (Bild 15). Neben dem Verhieb am schwenkenden Ende trat auch ein geringer Abbaufortschritt im Bereich des Drehpunktes ein. Die Verhiebsfläche ist also nicht regelmäßig und nicht mit einfachen Formeln zu erfassen.

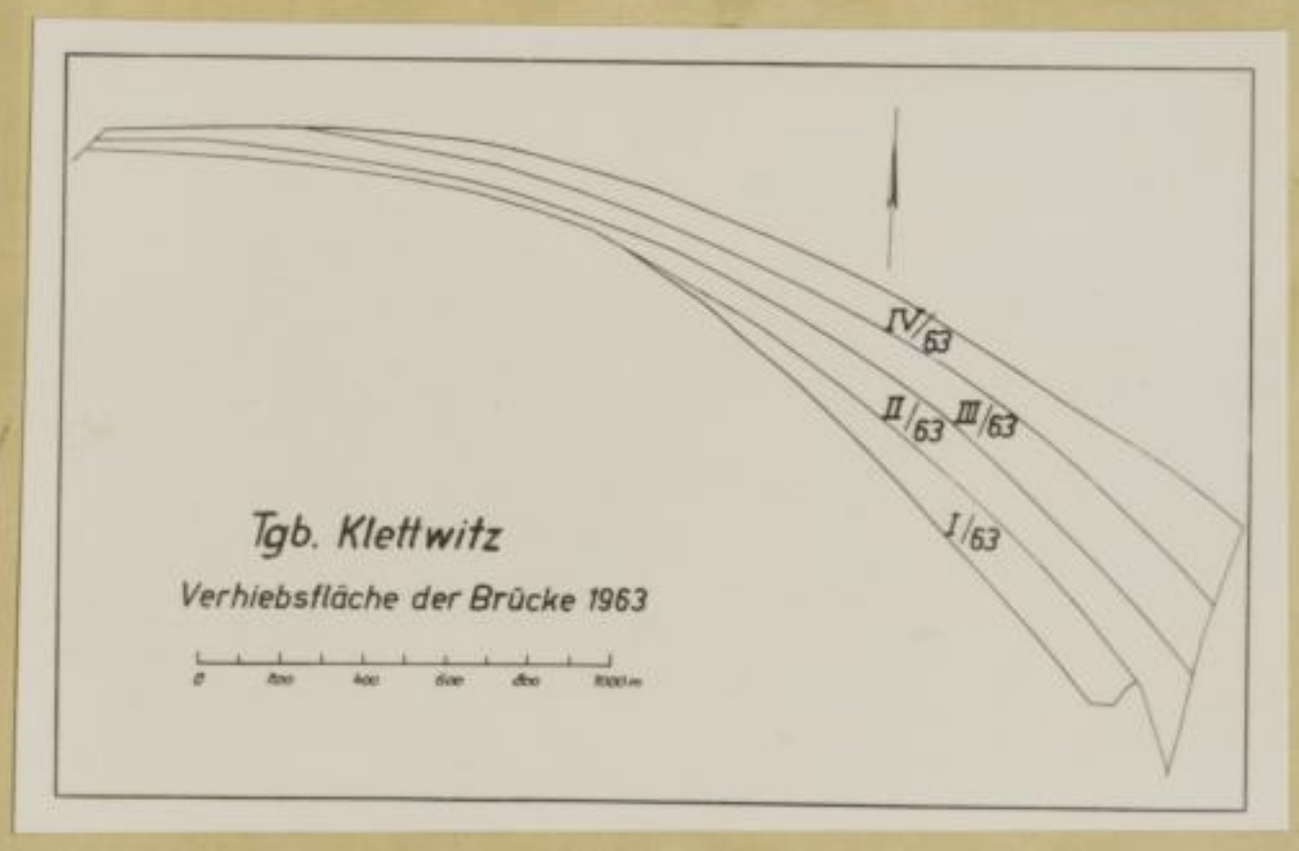


Bild 15

Für die rechnerische Ermittlung des mittleren Zeitanteils der Gewinnungsgeräte wird deshalb folgender Weg gewählt.

Die Gesamtabraumleistung ist durch das markscheiderische Aufmaß der Jahresscheibe bekannt. Aus Verhiebsfortschritt am schwenkenden Ende, Strossenendwinkel und den konstruktiven Daten des Brückenverbandes werden die Massen für die Strossenendbaggerung errechnet. Als Jahresdurchschnittswert erhält man t' = 0,92. Im Bild 16 sind die tatsächlichen Betriebsergebnisse graphisch dargestellt.

Das Gerät 647 arbeitet am schwenkenden Ende und muß nach den gewonnenen Erkenntnissen die bessere zeitliche Auslastung haben. Im Jahresdurchschnitt trifft das auch zu, in den einzelnen Monaten ist es jedoch teilweise umgekehrt. Das ist zurückzuführen auf längere Betriebsstörungen, die das Gerät 647 betrafen, den Gesamtbetrieb der Brücke aber nicht behinderten. Insbesondere

tritt das im Monat Juli auf. Besonders große Differenzen in der zeitlichen Auslastung und hohe Werte beim Gerät 647 zeigen größere Störungen beim Gerät 646 an.

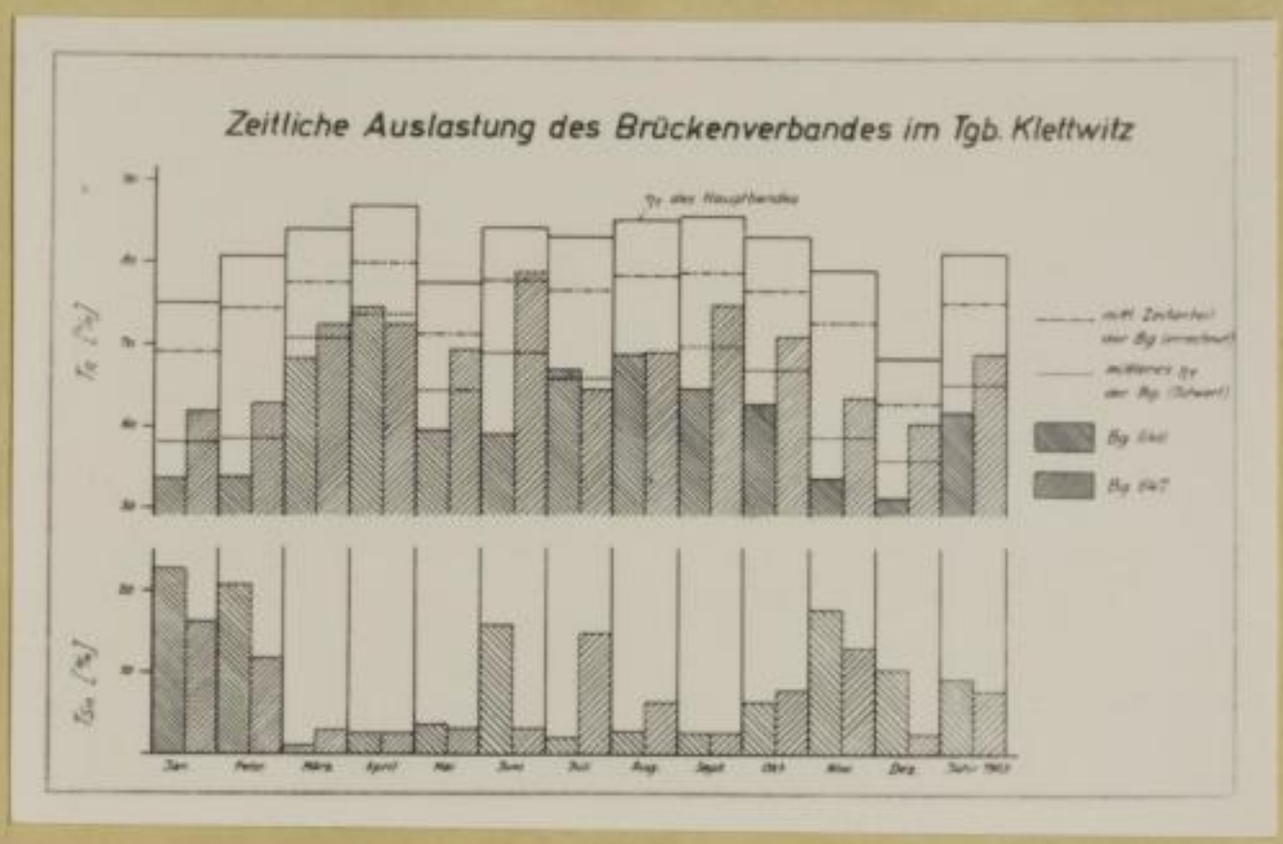


Bild 16

Bei der Auswertung der in der Statistik erfaßten technisch-wirtschaftlichen Kennziffern muß man allerdings feststellen, daß diese Unterlagen für eine exakte Untersuchung in der Regel nicht ausreichen und weitere Unterlagen hinzugezogen werden müssen. Im Bild 16 wurde für die einzelnen Monate auch die errechnete mittlere zeitliche Auslastung der Geräte eingetragen. Ein Vergleich mit den mittleren Ist-Werten zeigt, daß diese durchschnittlich 11 % niedriger liegen und in den einzelnen Monaten größere und kleinere Abweichungen auftreten. Die Differenzen $t' - \eta_r'$ sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Vergleicht man diese Werte mit dem Betriebsablauf, so muß man feststellen, daß in solchen Monaten, in denen die Unterschiede zwischen dem errechneten und dem Ist-Wert der mittleren zeitlichen Auslastung wesentlich über 6 % liegen, ein hohes Maß an Störungen zu verzeichnen ist. Die Förderbrücke Klettwitz ging mit den beiden Ds 1600 im Jahre 1962 als Erstgerät in Betrieb, und es war notwendig, auch noch im Jahre 1963 einige konstruktive Mängel zu überwinden, um auf ein normales Maß an Störungen zu kommen. Die hohe Störanfälligkeit, insbesondere der Bagger,

Tabelle 4

Differenzen $t' - \eta'$

an der Fürstenbrücke Klettwitz im Jahre 1963

Monat	t'	η'	$t' - \eta'$	
Januar		0,810	0,110	
Februar		0,762	0,158	
März		0,852	0,068	
April		0,856	0,064	
Mai		0,852	0,068	
Juni		0,833	0,087	
Juli	0,920	0,814	0,106	
August		0,715	0,095	
September		0,830	0,090	
Oktober		0,824	0,096	
November		0,780	0,140	
Dezember		0,850	0,070	
Jahr 1963		0,802	0,118	

führt hier zu einem Ergebnis, das vom übrigen VVB-Durchschnitt abweicht.
In Tabelle 5 sind die Ist-Werte für die Förderbrückenbetriebe der Lausitz, die im Jahre 1963 in Betrieb waren, den errechneten Werten gegenübergestellt. Die Differenzen liegen in geringen Grenzen. Man kann allgemein ableiten, daß die in der Literatur angegebenen Werte durch die erreichten Ist-Werte bestätigt werden. Für Förderbrücken mit zwei angeschlossenen Geräten treten Ausfallzeiten durch Störungen und andere Unregelmäßigkeiten von ca.5 % auf, an Brücken mit drei Geräten von ca.10 %. Man muß aber berücksichtigen, daß die Vergleiche mit Ausnahme der Förderbrücke Kleinleipisch für solche Anlagen durchgeführt wurden, bei denen die Bagger sich gegenseitig aushelfen können, d.h. bei denen ein Teilbetrieb mit einem Gerät möglich und sinnvoll ist. Die in der Tabelle 5 zum Teil ausgewiesenen höheren Differenzen sind durch Besonderheiten im Betrieb zu erklären. Für die Förderbrücke Klettwitz wurde das bereits erläutert.
Im Tagebau Sedlitz waren im Jahre 1963 besondere Schwierigkeiten mit der Massenzusammendrängung am schwenkenden Ende zu überwinden, und der Einbaggerbetrieb mußte zeitweise über die notwendige Mindestlänge hinaus vergrößert werden, um die Kippenhöhe beherrschen zu können. Außerdem waren Mängel in der Organisation vorhanden, welche die Ergebnisse ebenfalls ungünstig beeinflußten. An der Förderbrücke Kleinleipisch liegen die Abweichungen mit 13,9 % über dem Normalwert. Hier traten besondere Schwierigkeiten in den Wintermonaten auf, die sich insbesondere im Hochschnitt auswirkten und zum Aufleufen der Tiefbagger führten. In der nachfolgenden Periode mußte der erste Abraumschnitt forciert betrieben werden, um den normalen Abstand der Schnitte wieder herzustellen. Die beiden Tiefschnittgeräte konnten dabei nicht immer voll ausgelastet werden.
Die Förderbrücke Spreetal II arbeitet überwiegend in

Tabelle 5

Differenzen $t' - \eta_T'$ in Förderbrückenbetrieben

im Jahre 1963

Betrieb	η_T-Br.	η_T Bs. 1	η_T Bs. 2	η_T-Mittel	η_T'	t'	Differenz $t' - \eta_T'$
Klettwitz	80,9	68,3	61,3	64,8	0,802	0,920	0,118
Gedlitz	72,4	64,0	59,5	61,8	0,854	0,950	0,096
Kleinleipisch	76,5	66,4	59,7/59,2	61,3	0,804	0,943	0,139
Spreetal I	66,8	63,0	61,2	62,1	0,928	0,972	0,044
Glückauf I	69,5	65,6	64,0	64,8	0,933	0,968	0,035
Schlabendorf I	59,3	51,2	49,5	50,4	0,850	0,964	0,114
Spreetal II	55,2	45,8	49,0	47,6	0,886	1	0,114
Schlabendorf II	63,6	57,8	56,2	58,0	0,912	1	0,088
Mientsch	65,7	64,9	63,6	64,3	0,965	1	0,035

einem Steinhorizont. Die besonders hohen Beanspruchungen führten hier zu höheren mechanischen Störungen. Überschreitung der angegebenen Durchschnittswerte kann man auch bei den Förderbrücken Schlabendorf I und II feststellen. Hier waren es insbesondere Mängel in der Reparaturorganisation, die zu solchen Ausfallzeiten führten. Auch die Tatsache, daß durch die Minderabnahme der Kraftwerke der Tagebau nicht immer voll ausgefahren werden kann, führt sicher dazu, daß ein ständiges Streben nach maximaler Auslastung nicht in dem Maße im Mittelpunkt steht, wie das unter anderen Verhältnissen der Fall ist.
Man kann also feststellen, daß neben den errechneten Ausfallzeiten die empirisch ermittelten Werte für die gegenseitige Beeinflussung ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Die Summe dieser Ausfälle wird in der Kennziffer η_r' erfaßt, die aus nachfolgender Formel bestimmt werden kann.

$$\eta_r' = t - 0{,}05\,(n - 1) \tag{31}$$

n = Anzahl der angeschlossenen Bagger.
Damit kann man die Leistungsfähigkeit eines Brückenverbandes errechnen.

$$Q = Q_e \cdot T_K \cdot \eta_r \cdot \eta_r' \tag{32}$$

Neben einer hohen zeitlichen und leistungsmäßigen Auslastung kommt es also darauf an, die Anlage so zu projektieren, daß die Voraussetzungen für eine kontinuierliche Auslastung geschaffen werden und damit der Faktor η_r' möglichst groß wird.

Leistungsschwankungen durch unterschiedliche Einsatzbedingungen in einem projektierten Förderbrückenbetrieb

Aus den bisherigen Untersuchungen geht hervor, daß durch Baggerabstand und Strossenlänge die Leistung eines Brückenverbandes wesentlich beeinflußt werden kann.

Beide Größen sind aber nicht frei wählbar, sondern werden von Feldesform, festgelegter Aufschluß- und Betriebstechnologie und von konstruktiven Gesichtspunkten beeinflußt. Zur Sicherung guter Betriebsergebnisse ist es notwendig, bereits bei den ersten Entwürfen diese Einflußfaktoren zu beachten.
Welche Leistungsschwankungen durch nicht ausreichende Beachtung entstehen können, soll im folgenden am Beispiel eines Tagebaues nachgewiesen werden, der zur Zeit aufgeschlossen wird.
Der Tagebau wird in einem Feld betrieben, dessen Form durch frühere Tagebaue und Tiefbaubetriebe sehr kompliziert ist. In Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten wurde eine Aufschlußvariante festgelegt, die den Abbau des gesamten Feldes in mehreren Teilfeldern mit unterschiedlichen Drehpunkten und zum Teil im Parallelbetrieb vorsieht. Bei Einsatz der Förderbrücke in der Aufschlußfigur ist zunächst eine Strossenlänge von 700 m vorhanden. Es wird Schwenkbetrieb im Uhrzeigersinn durchgeführt, wobei die Strossenlänge bis 1800 m entwickelt wird. Es schließt sich über einen Zeitraum von 4 Jahren Parallelbetrieb mit gleichbleibender Strossenlänge und für eine kurze Periode nochmals Schwenkbetrieb an. Mit dem Übergang in ein neues Teilfeld wird über einen Zeitraum von einem Jahr Schwenkbetrieb entgegen dem Uhrzeigersinn mit einer Strossenlänge von 1000 bis 1600 m notwendig. Nach Erreichen des endgültigen Drehpunktes wird wieder im Uhrzeigersinn geschwenkt, wobei die Strossenlänge von 2000 auf 4200 m ansteigt und in den letzten Jahren wieder abnimmt. (Bild 17)
Um diese komplizierten Bedingungen mit einer Förderbrücke ohne Umbauten des Brückenverbandes und mit einem Minimum an Zugbetriebsabraum beherrschen zu können, wurde die 45-m-Brücke mit zwei Ds 1600 für zweiseitige Anordnung der Geräte vorgesehen. Dabei ist, wie im Tagebau Klettwitz, ein Bagger starr mit der Brücke verbunden, der andere dagegen über einem 50 m langen Baggerquerförderer frei beweglich. Beim Schwenken im Uhrzeigersinn ist das starr angebaute Gerät am Schwenk-

Bild 17

ende eingesetzt, bei entgegengesetzter Schwenkrichtung das andere.
Nachdem der Kippenaufbau unter Berücksichtigung der Verhältnisse am Strossenende exakt untersucht wurde, mußte für die erste Periode des Schwenkbetriebes festgelegt werden, am Strossenende den Brückenhochschnitt im Zugbetrieb abzufördern, da eine Unterbringung der Massen unter dem Förderbrückenausleger nicht möglich ist. Damit entfällt der Einbaggerbetrieb am Strossenende, und Leistungsverluste treten nicht auf. Diese extrem kurze Strosse läßt aber einen vollen Betrieb aus anderen Gründen nicht zu. Zeitbedarf für Gleisrücken und Verhiebsbeschränkungen werden hier die Leistung wesentlich mindern. Die Berechnung muß also für drei verschiedene Betriebszustände ausgeführt werden.
Am westlichen Strossenende entspricht die Bermenbreite dem Schwenkbereich des Baggers. Die Länge l ist durch die Konstruktion festgelegt und nicht zu beeinflussen. Am östlichen Strossenende dagegen ist die Breite der Berme größer als der Schwenkbereich und außerdem der beweglich angeordnete Bagger an der Endböschung. Der Strossenendwinkel und die Breite des offenen Streifens

Tabelle 6

Leistung einer 45 m-Förderbrücke mit zwei Ds 1600 unter verschiedenen Betriebsbedingungen

Betriebszustand	L (m)	r (m)	l_1 (m)	l_2 (m)	t'	$\eta_{T'}$	Q_{a_3} (10^6 m^3)	
Parallelbetrieb	1 000	44	202,5	252,5	0,860	0,819	30,3	
Schwenkbetrieb um Hilfsdrehpunkt	1 000 1 600	44 44	– –	252,5 252,5	0,752 0,835	0,702 0,785	26,0 29,0	
Schwenkbetrieb um endgültigen Drehpunkt	2 000 4 200	44 44	202,5 202,5	– –	0,885 0,944	0,835 0,894	30,9 33,1	

auf dem Liegenden legen fest, daß die Massenaufgabe des Baggers am Ende des Querförderers erfolgen muß. Für die Berechnung wird auch angenommen, daß beide Geräte in einem Schnitt arbeiten. Es wird weiter zugrunde gelegt ein Q_e = 2860 m^3/h, d.h. es wird mit einem η_B = 1,25 gerechnet. Die Gewinnung der Massen erfolgt im Hochschnitt mit 23 m und im Tiefschnitt mit 21 m Mächtigkeit. Der minimale Abstand der Geräte ist 202,5 m, der maximale 252,5 m. Der Schwenkradius für die Gewinnung im Sichelschnitt beträgt 44 m. Die zeitliche Auslastung der Förderbrücke wird mit 80 % angenommen.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 zusammengefaßt. Unter den gegebenen Bedingungen ist diese Förderbrücke in der Lage, im Parallelbetrieb bei 1800 m Strossenlänge 30,3 Mm^3/a zu bewegen. Bei Schwenkbetrieb um den Hilfsdrehpunkt ist das Leistungsvermögen anfangs 26,0 Mm^3/a und entwickelt sich bis 29,0 Mm^3/a. Der Schwenkbetrieb um den endgültigen Drehpunkt ermöglicht Jahresleistungen bei 2000 m Strossenlänge von 30,9 Mm^3, und im Maximum 33,1 Mm^3.

Diese Untersuchungen zeigen deutlich, welchen Einfluß die technologischen Einsatzbedingungen auf die Leistung einer Förderbrücke ausüben. Deshalb ist es notwendig, diese Erkenntnisse bereits bei der Planung und Projektierung auszuwerten, um die Voraussetzungen für eine maximale Auslastung der Brückenaggregate zu schaffen.

2.2 Förderbrücken mit mehr als zwei angeschlossenen Geräten

Neben den heute üblichen Förderbrücken mit zwei Gewinnungsgeräten waren und sind solche im Einsatz, die mit mehr als zwei Baggern verbunden sind. Mit Rücksicht darauf, daß solche Anlagen auch in der Perspektive zum Einsatz kommen werden, ist es notwendig, die Berechnung auch für solche Fälle durchzuführen.

Von der Vielzahl der eingesetzten Anlagen sollen nur einige herausgegriffen werden, die heute noch Bedeutung haben bzw. die wesentliche Erkenntnisse zulassen.

Die ehemalige Förderbrücke Klettwitz war mit zwei Verbundbaggern ausgerüstet, die auf verschiedenen Arbeitsebenen standen. Der Abraum wurde durch vier Eimerleitern in ebensoviel Schnitten gewonnen. Beide Geräte konnten am Strossenende die Markscheide erreichen. Technologisch bedingte Stillstände traten nur bei der Gewinnung der Sichelschnittmassen auf. Dadurch war es möglich, die vorhandene Gerätekapazität fast ständig voll einzusetzen und die Förderkapazität der Brücke hoch auszulasten. Nachteilig bei diesem Geräteeinsatz war, daß bei Ausfall eines Gewinnungsgerätes eine Hilfe durch andere nicht erfolgen konnte und damit der Betrieb der verbleibenden Geräte in jedem Fall beeinträchtigt wurde, auch wenn die Anlage noch weiter fahren konnte. Bei Wiederaufnahme der Gewinnung mußte das ausgefallene Gerät seine Massen vollständig nachträglich bewegen. Das hatte natürlich Auswirkungen auf den gesamten Verband. Dieser Nachteil läßt sich vermindern, wenn anstelle der Verbundbagger Ds-Geräte zum Einsatz kommen. Ein weiterer wesentlicher Nachteil war, daß für den gesamten Brückenverband vier Gleisroste auf getrennten Arbeitsebenen notwendig waren und damit ein höherer Aufwand an Gleismaterial sowie für Gleisrücken und Gleisunterhaltung.

Die Förderbrücke Espenhain ist mit drei Geräten ausgerüstet, von denen zwei als Tiefbagger in verschiedenen Schnitten und ein weiteres als Hochbagger eingesetzt sind. Trotz der äußerlich unterschiedlichen Geräteanordnung gelten hier die gleichen Vor- und Nachteile, wie sie für die Förderbrücke Klettwitz erläutert wurden. Für beide Brückenanlagen kann man sagen, daß die Vorteile der geringeren Stillstände bei Strossenendbaggerung durch eine Reihe von Nachteilen überdeckt werden und deshalb ein Neubau nicht mehr in Frage kommt.

Die Förderbrücke Espenhain wird mit dieser Geräteausrüstung auch nur noch einige Jahre betrieben. Nach 1970 werden zwei Ds 3150 an die Brücke angeschlossen. Baggeranordnungen dieser Art haben also für die Perspektive keine Bedeutung mehr.

Förderbrücke Kleinleipisch

Eine andere Form der Geräteanordnung, wie sie an der Förderbrücke Kleinleipisch vorhanden ist, muß jedoch untersucht werden, da diese noch längere Zeit im Einsatz sein wird und für die Förderbrücken mit mehr als 45 m Abtragshöhe eine ähnliche Konzeption vorgesehen ist. An dieser Brücke sind beidseitig mit einem Abstand von 100 m zwei D 1120 angeschlossen. Beide Geräte gewinnen den Tiefschnitt. Im Hochschnitt hat bisher ein Schaufelradbagger gearbeitet, der in diesem Jahre durch einen Ds 1120 ersetzt wurde (Bild 18). Der Tagebau arbeitet im Schwenkbetrieb.

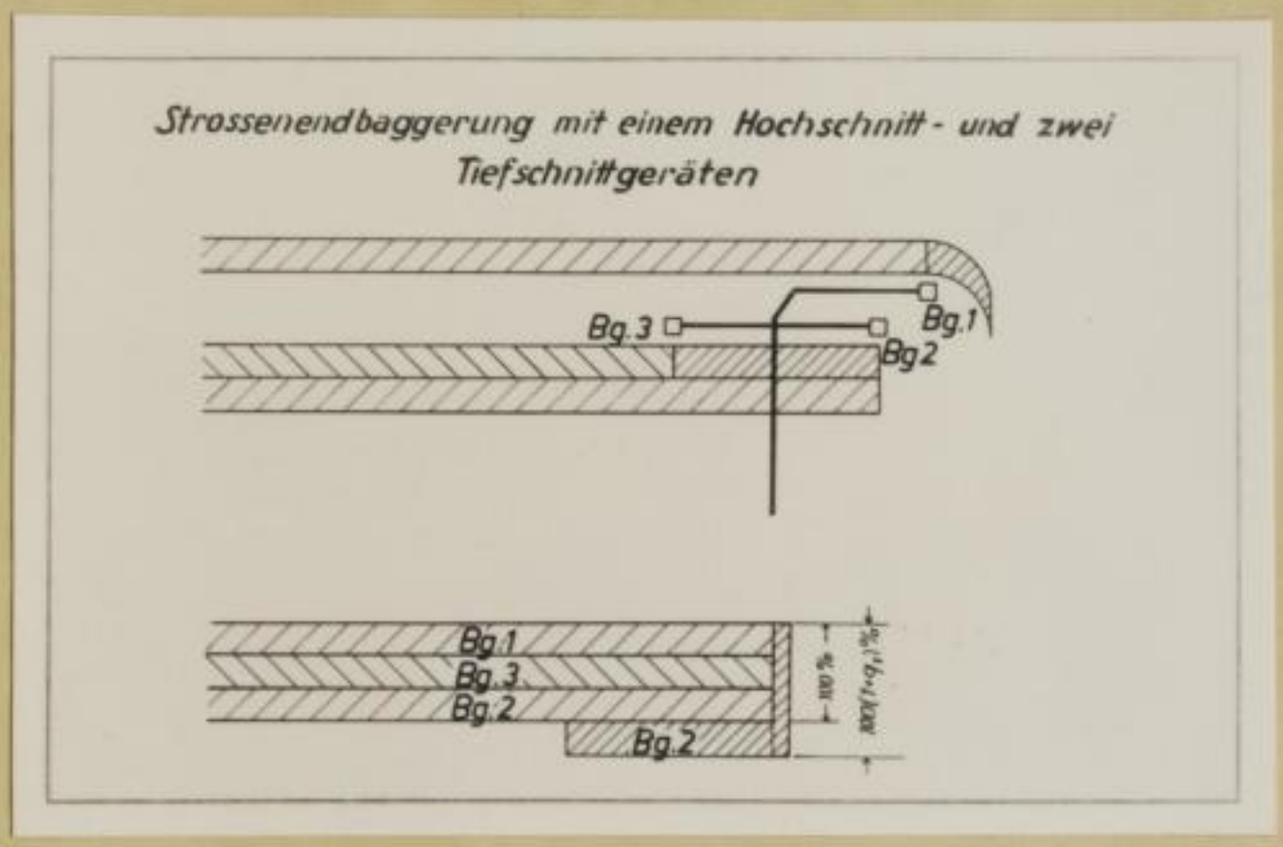


Bild 18

Der Hochschnittbagger muß die gesamten Massen dieses Schnittes allein bewegen, bei der Gewinnung der Sichelschnittmassen ist nur er in Betrieb. Die beiden typengleichen Tiefschnittgeräte nehmen je zur Hälfte den Tiefschnitt. Hier muß die Hälfte des Bodens auf den letzten 100 m wiederum durch einen Bagger allein gewonnen werden. Die Schnittmächtigkeiten sind nach den effektiven Leistungen der Geräte festgelegt. Das bedeutet, daß bei der Strossenendbaggerung im Tiefschnitt mit einem Gerät auch der Hochschnitt nicht mehr betrieben werden kann, da er bereits vorher während des Frontbetriebes mit allen Geräten seine Massen gewonnen

hat. Die Kapazität der Bandanlage kann also zeitweise nur zu etwa einem Drittel ausgenutzt werden. In den folgenden Ausführungen wird die Berechnung der Leistungsausfälle für diese Baggeranordnung entwickelt.
Der Massenanteil der Geräte ist

Bg.1 $$V_h = V_{hf} + V_s$$

Bg.2 $$\frac{V_t + V_{et}}{2}$$

Bg.3 $$\frac{V_t - V_{et}}{2}$$

V_h = Massen des Hochschnittes
V_t = Massen des Tiefschnittes
V_{hf} = Massen für Hochschnitt im Frontbetrieb
V_s = Sichelschnittmassen im Hochschnitt
V_{et} = Massen für Einbaggerbetrieb im Tiefschnitt

Es werden hier nur die Verluste erfaßt, die durch Strossenendbaggerung verursacht werden. Ungenügende Abstimmung der Schnittmächtigkeiten auf die Leistungsfähigkeit der Geräte führt zu weiteren Ausfällen.
Diese können als zusätzliche Stillstandszeiten einzelner Geräte auftreten oder auch in der Form, daß die Fahrweise den anstehenden Massen angepaßt wird und das weniger belastete Gerät mit verringertem η_B fährt.
Verluste bei Strossenendbaggerung dagegen treten immer in Form von Gerätestillständen auf.
Für die weiteren Berechnungen sind noch folgende Zusammenhänge von Bedeutung:

(33) $$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{ges}$$

(33 a) $$q_1 = \frac{Q_1}{Q_{ges}} \qquad q_2 = \frac{Q_2}{Q_{ges}} \qquad q_3 = \frac{Q_3}{Q_{ges}}$$

(33 b) $$q_1 + q_2 + q_3 = 1$$

Da die beiden Tiefschnittgeräte typengleich sind, ist

$Q_2 = Q_3$ und damit auch $q_2 = q_3$.

$Q_{1,2,3}$ = effektive Leistung der einzelnen Geräte

Q_{ges} = effektive Leistung des Brückenverbandes bei Vollbetrieb

$q_{1,2,3}$ = Leistungsanteile der Geräte an der Gesamtleistung

Die Bedingung, daß Leistungsverluste auf der Strosse durch ungenügende Abstimmung der Schnitte nicht eintreten, wird erfüllt, wenn die Massen, die im Frontbetrieb bei gleichzeitigem Einsatz aller Geräte gewonnen werden, der Leistung des zugehörigen Baggers proportional sind. Das wird durch folgende Gleichungen ausgedrückt:

$$V_{hf} = q_1 (V - V_e) \tag{34}$$

$$V_t = 2\, q_2 (V - V_e) + V_{et} \tag{35}$$

Es werden nun die Betriebszeiten für die einzelnen Geräte und nachfolgend die Zeitanteile an der Gesamtzeit errechnet.

$$t_1 = \frac{V_{ht} + V_s}{Q_1}$$

$$t_2 = \frac{V_t + V_{et}}{2\, Q_2}$$

$$t_3 = \frac{V_t - V_{et}}{2\, Q_2}$$

$$t_b = \frac{Q_1 (V_t + V_{et}) + 2\, Q_2\, V_s}{2\, Q_1\, Q_2}$$

$$t_1' = \frac{2\, Q_2 (V_{hf} + V_s)}{Q_1 (V_t + V_{et}) + 2\, Q_2\, V_s}$$

$$t_2' = \frac{Q_1 (V_t + V_{et})}{Q_1 (V_t + V_{et}) + 2\, Q_2\, V_s}$$

$$t_3' = \frac{Q_1 (V_t - V_{et})}{Q_1 (V_t + V_{et}) + 2 Q_2 V_s}$$

Setzt man für Q_i die Beziehung entsprechend Gleichung 33 a ein, so kann man durch Kürzung Q_{ges} beseitigen, und anstelle von Q_i tritt damit das zugehörige q_i. Aus den Zeitanteilen der einzelnen Geräte kann nun wiederum der mittlere Zeitanteil nach der Gleichung

$$(36) \qquad t' = \frac{t_1' + t_2' + t_3'}{3}$$

bestimmt werden. Dieser Wert gibt zwar den mittleren Zeitanteil der Bagger an, ist aber nur dann als Maß für die Leistung anzusehen, wenn die effektiven Leistungen der Geräte gleich sind, d.h.wenn

$$(36\ a) \qquad q_1 = q_2 = q_3 = \frac{1}{3}$$

Diese Bedingung wird jedoch nicht immer zutreffen. Um die Leistung des Brückenverbandes ermitteln zu können, muß eine leistungsbezogene Kennziffer nach Gleichung 37 verwendet werden, wie das bereits für Gleichung 28 erläutert wurde.

$$(37) \qquad t_q' = t_1' q_1 + t_2' q_2 + t_3' q_3$$

Die oben errechneten Werte werden eingesetzt, und man erhält:

$$t_q' = \frac{q_1 q_2 \left[2 (V_{hf} + V_s) + (V_t + V_{et}) + (V_t - V_{et})\right]}{q_1 (V_t + V_{et}) + 2 q_2 V_s}$$

Unter Verwendung der Gleichungen 33, 34 und 35 kann man weiterentwickeln und erhält:

$$(38) \qquad t_q' = \frac{V}{V + \frac{1 - q_2}{q_2} V_{et} + \frac{1 - q_1}{q_1} V_s}$$

Damit ist der durchschnittliche Leistungsanteil der Geräte während der Betriebszeit der Brücke ermittelt. Um einen Vergleich mit den vorher behandelten Brückentypen zu ermöglichen, wird der Sonderfall entsprechend Gleichung 36 a angenommen. Gleichung 38 erhält dadurch folgende Form:

$$t' = \frac{V}{V + 2\,V_e} \qquad (38\ a)$$

Gegenüber den Gleichungen 11 und 21 tritt hier der Wert V_e doppelt auf. Das ist dadurch bedingt, daß während des Strossenendbetriebes zwei Geräte stehen. Der mittlere Leistungsanteil ist also bei gleichen Einsatzbedingungen in diesem Falle niedriger als bei solchen mit zwei Geräten.

Förderbrücke für mehr als 45 m Abtragshöhe

Zur Zeit wird an der Entwicklung einer Förderbrücke für Abtragsmächtigkeiten von 45 bis 60 m gearbeitet. Die vorhandenen Baggertypen gestatten nicht, die Gesamtmächtigkeit des Abraums in zwei Schnitten abzutragen und damit die Grundkonzeption der bisher gebauten Einheitsförderbrücke beizubehalten. Die Brücke wird für eine sehr große Leistung ausgelegt und soll nach den ersten Vorschlägen mit drei Geräten des Typs Ds 3150 ausgerüstet werden. Zwei Bagger stehen auf einer Arbeitsebene 20 m über dem Kohlehangenden, auf der auch die Hauptbrücke abgestützt ist. Sie sind beidseitig angeordnet. Das dritte Gerät ist auf einem zweiten Planum, das 20 m über dem ersten liegt, eingesetzt und gibt seine Massen über eine Zubringerbrücke auf die Hauptbrücke auf. Die einseitige Anordnung des oberen Gerätes läßt den Einsatz der Brücke nur im Schwenkbetrieb zu. Bei Parallelbetrieb könnten an einem Strossenende die Massen nicht vollständig gewonnen werden, so daß ein Sonderbetrieb notwendig wäre. Die Bauweise dieses Brückenverbandes ist schematisch im

Bild 19 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß Strossenendbaggerung von beiden Arbeitsebenen aus durchgeführt werden muß. Im Bereich der unteren Arbeitsebene bleiben, wie bereits bekannt, die Massen des Baggers 3 im letzten Strossenabschnitt stehen, die Bagger 2 nachträglich gewinnen muß. Eine weitere Etappe der Strossenendbaggerung ist die Gewinnung des Sichelschnittes, der in zwei Schnitten ansteht und durch die Geräte 1 und 2 gleichzeitig gewonnen werden kann. In dieser Periode ist also nur ein Gerät ohne Boden. Wichtig ist hierbei, daß die in beiden Schnitten anstehenden Massen der jeweiligen effektiven Baggerleistung proportional sind. Nur dann kann die Gewinnung vollständig mit zwei Geräten erfolgen.

Die rechnerische Erfassung der Leistungsminderung am Strossenende wird nach den gleichen Methoden durchgeführt, wie bei den bereits behandelten Förderbrücken. Bei Schwenkbetrieb sind die Massen der einzelnen Gewinnungsgeräte folgende:

Bg.1 $V_{of} + V_{os}$

Bg.2 $\frac{V_u + V_{ue}}{2}$ $\qquad V_{ue} = V_{uef} + V_{us}$

Bg.3 $\frac{V_u - V_{ue}}{2}$ $\qquad V_e = V_{ue} + V_{os}$

V_o = Massen des oberen Schnittes

V_{of} = Massen des oberen Schnittes, die im Frontbetrieb zu gewinnen sind

V_{os} = Massen des oberen Sichelschnittes

V_u = Massen der unteren Schnitte

V_{ue} = Massen der unteren Schnitte für Strossenendbaggerung

V_{uef} = Massen der unteren Schnitte für Strossenendbaggerung, die im Frontbetrieb zu gewinnen sind

V_{us} = Massen des unteren Sichelschnittes

V_e = Gesamtmassen für Strossenendbaggerung

Der Zeitbedarf der Bagger ist

$$t_1 = \frac{V_{of} + V_{os}}{Q_1} \qquad t_2 = \frac{V_u + V_{ue}}{2\,Q_2} \qquad t_3 = \frac{V_u - V_{ue}}{2\,Q_2}$$

$t_b = t_2$. Auch hier gilt $Q_2 = Q_3$

Die Betriebszeit der Förderbrücke stimmt dann mit t_2 überein, wenn

1. durch richtige Schnitteinteilung am Bagger 1 oder 2 keine Ausfälle bei der Fahrt auf der Strosse eintreten.
2. die Zeit für die Gewinnung der unteren Sichelschnittmassen gleich oder größer ist als die für die oberen.

Trifft die zweite Bedingung nicht zu, so wird t_b um die Differenz des Zeitbedarfes für die Gewinnung der Sichelschnittmassen in beiden Schnitten größer, wie Gleichung 39 zeigt.

$$(39) \qquad t_b = t_2 + \frac{V_{os}}{Q_1} - \frac{V_{us}}{Q_2}$$

Bei der Projektierung von Förderbrückenbetrieben muß die Abstimmung so erfolgen, daß diese Differenz Null wird. Bei Einsatz von typengleichen Geräten in beiden Schnitten ist das in der Regel einzuhalten. Für die weiteren Betrachtungen wird $t_b = t_2$ gesetzt.

Die leistungsgerechte Schnitteinteilung wird dann erreicht, wenn die in den folgenden Gleichungen angegebenen Bedingungen erfüllt werden. Abweichungen davon bringen in jedem Fall zusätzliche Ausfälle.

$$(40\ a) \qquad V_{of} = q_1\,(V - V_e)$$

$$(40\ b) \qquad V_u = 2\,q_2\,(V - V_e) + V_{ue}$$

$$(40\ c) \qquad \frac{V_{os}}{Q_1} = \frac{V_{us}}{Q_2}$$

Der Zeitanteil der Bagger an der Betriebszeit der Förderbrücke ist .

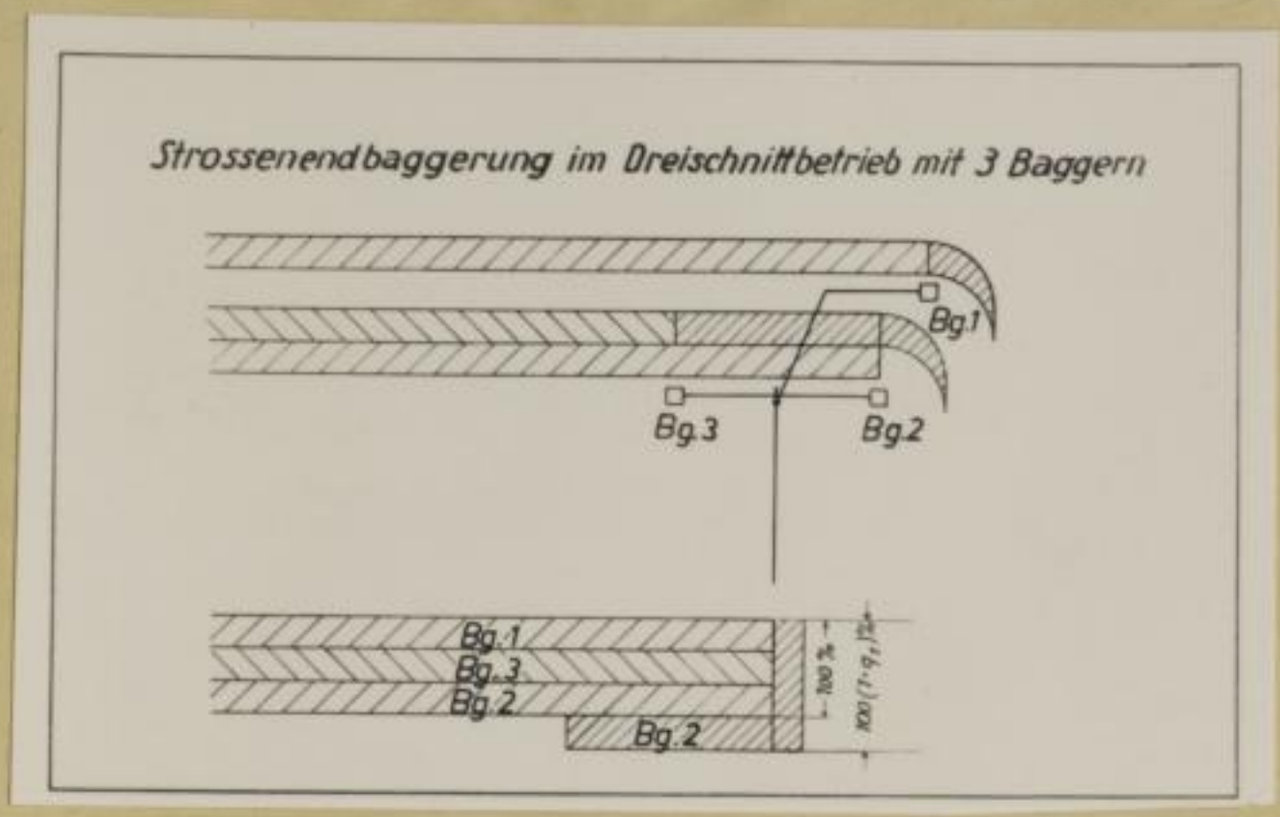


Bild 19

$$t_1' = \frac{(V_{of} + V_{os})\ 2\ Q_2}{(V_u + V_{ue})\ Q_1}$$

$$t_2' = 1$$

$$t_3' = \frac{(V_u - V_{ue})\ 2\ Q_2}{(V_u + V_{ue})\ 2\ Q_2}$$

Daraus wird nach Gleichung 37 und unter Beachtung der Gleichungen 40 a-c der mittlere Leistungsanteil der Geräte errechnet. Das Ergebnis ist

$$(41) \qquad t_q' = \frac{V}{V + \frac{1 - q_2}{q_2} V_{us} - V_{os}}$$

Setzt man auch hier die Geräteleistung gleich und legt fest, daß $V_{os} = V_{us}$ und $V_{os} + V_{us} = V_s$ so, erhält man:

$$(41\ a) \qquad t' = \frac{V}{V + 2\ V_{uef} + \frac{V_s}{2}}$$

Die Arbeit am Strossenende kann bei dieser Baggeranordnung aber auch so gesteuert werden, daß der Betrieb mit nur einem Bagger vermieden wird.

Dazu sind folgende Voraussetzungen notwendig:

1. Die Baggerung in den unteren Schnitten muß so erfolgen, daß die Massen für die Strossenendbaggerung im Hochschnitt stehen bleiben, d.h.daß der Bagger, der das Strossenende erreichen kann, die Gewinnung im Tiefschnitt und der nachfolgende im Hochschnitt übernehmen muß.
2. Der horizontale Abstand der Geräte auf der oberen und unteren Arbeitsebene muß so groß sein, daß bei gegeneinander geschwenkten Eimerleitern keine Kollision eintritt.

Unter diesen Bedingungen ist es möglich, für die Gewinnung der auf der letzten Länge der Strosse anstehenden Massen des Baggers 3 die Geräte 1 und 2 einzusetzen und damit die Zeit für die Strossenendbaggerung wesentlich zu verkürzen. Die analytische Untersuchung dieser Technologie führt zu folgendem Ergebnis:

Anstehender Abraum für die einzelnen Geräte

Bg.1 $V_o + V_{uef}\, p_1$

Bg.2 $\frac{V_u + V_{ue}}{2} - V_{uef}\, p_1$

Bg.3 $\frac{V_u - V_{ue}}{2}$

$p_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ = Anteil des Baggers 1 an den Massen, die bei Strossenendbaggerung durch Gerät 1 und 2 gewonnen werden müssen.

Die Zeitanteile der Gewinnungsgeräte an der Betriebszeit der Brücke sind

$$t_1' = \frac{(V_o + V_{uef}\, p_1)\, 2\, Q_2}{(V_u + V_{ue} - 2\, V_{uef}\, p_1)\, Q_1}$$

$$t_2' = 1$$

$$t_3' = \frac{V_u - V_{ue}}{V_u + V_{ue} - 2 \cdot V_{uef}\, p_1}$$

Diese Formeln gelten, wenn $t_2 > t_1$. Die Betriebszeiten der Geräte 1 und 2 können sich nur unterscheiden durch den Zeitanteil für die Gewinnung des Sichelschnittes. Entwickelt man diesen Rechengang weiter, so erhält man:

$$(42) \qquad t_q' = \frac{V}{V - V_{os} + \frac{1 - q_2}{q_2} V_{us} + p_2 V_{uef}}$$

Für den Sonderfall $q_1 = q_2 = q_3$ und $V_{os} = V_{us}$ ergibt sich

$$(42\ a) \qquad t' = \frac{V}{V + \frac{1}{2} V_e}$$

Damit ist deutlich der wesentliche Vorteil dieser Arbeitsweise gegenüber der zuerst beschriebenen bewiesen. Ergänzend muß bemerkt werden, daß die Massenüberdeckung auf der Kippenseite in beiden Fällen die gleiche ist.

Die Ausrüstung der 60-m-Förderbrücke mit drei Geräten hat den Nachteil, daß an einem Strossenende im oberen Schnitt die Markscheide nicht freigeschnitten wird und deshalb ein Sonderbetrieb mit Zug- oder Bandförderung eingerichtet werden muß, der wesentliche ökonomische Nachteile bringt. Da der Einsatz dieser großen Brückenanlagen überwiegend im Parallelbetrieb erfolgt, müssen Wege gefunden werden, die die vollständige Gewinnung der im Brückenschnitt anstehenden Massen durch die Förderbrückenbagger ermöglichen. Deshalb wurde als weitere Variante der Anschluß von vier Geräten vorgesehen, wie Bild 20 zeigt. Auf der oberen Arbeitsebene sind zwei Ds 1120 und auf der unteren zwei Ds 3150 beidseitig der Brücke angeordnet. Damit ist ein Freischneiden an beiden Strossenenden durchführbar. Eine gegenseitige Unterstützung der beiden am Strossenende stehenden Bagger ist hier nicht möglich, da diese auf beiden Arbeitsebenen sowohl im letzten Abschnitt als auch im Sichelschnitt auftritt.

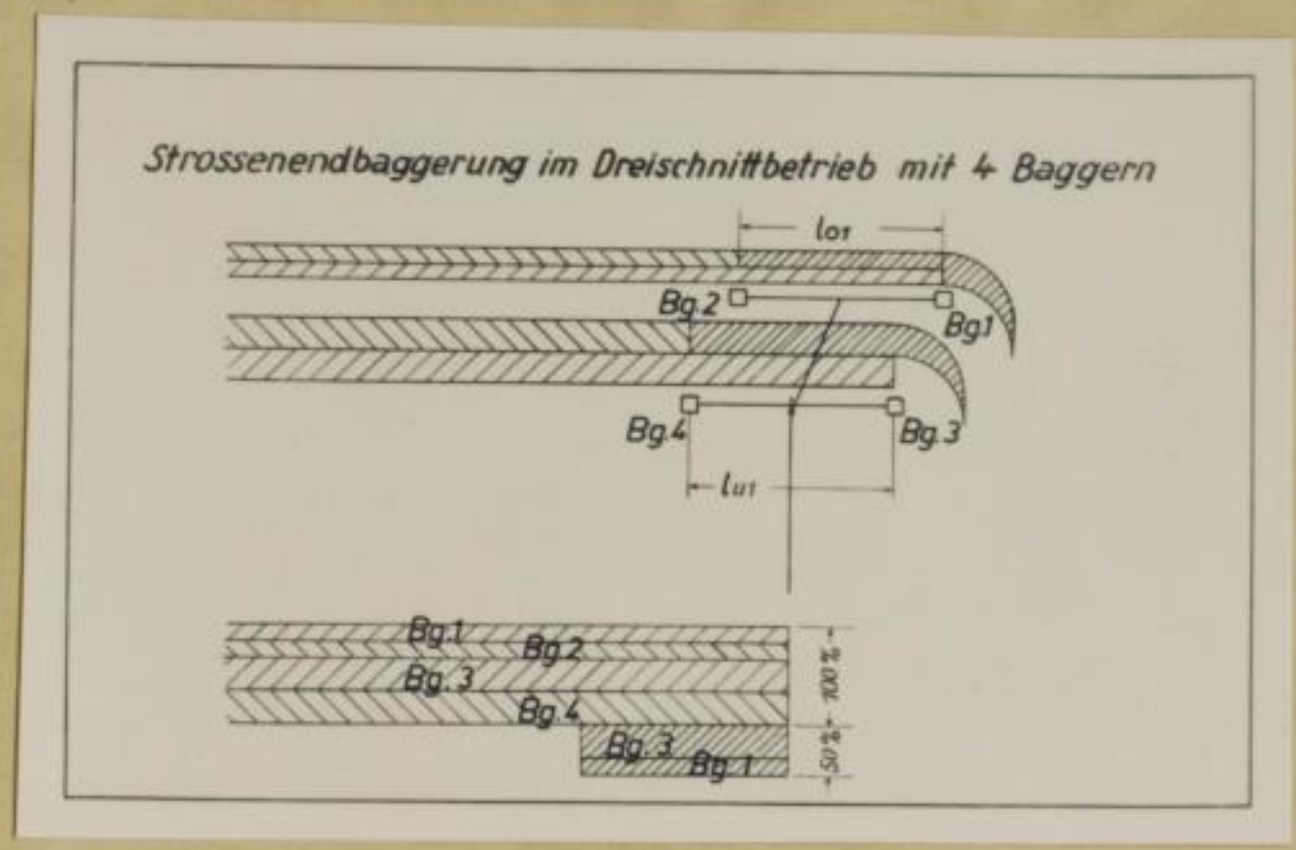


Bild 20

Die Berechnung der Leistungsausfälle und des mittleren Leistungsanteils der Geräte erfolgt nach den gleichen Gesichtspunkten wie für Parallelbetrieb mit zwei Geräten.

Anstehender Abraum für die einzelnen Bagger

Bg.1 $$\frac{V_o - V_{oe} + 2\,V_{oe1}}{2}$$

Bg.2 $$\frac{V_o - V_{oe} + 2\,V_{oe2}}{2}$$

Bg.3 $$\frac{V_u - V_{ue} + 2\,V_{ue1}}{2}$$

Bg.4 $$\frac{V_u - V_{ue} + 2\,V_{ue2}}{2}$$

V_o = Massen des oberen Schnittes

V_{oe} = Massen für Strossenendbaggerung im oberen Schnitt

$V_{oe1,2}$ = Massen für Strossenendbaggerung an je einem Strossenende im oberen Schnitt

Analog erfolgt die Bezeichnung im unteren Schnitt.

Der Zeitbedarf für die Förderbrücke läßt sich sowohl aus dem Bedarf der oberen als auch der unteren Geräte ermitteln.

$$(43\ a)\quad t_{ob} = \frac{V_o - V_{oe}}{2\,Q_1} + \frac{V_{oe1f}}{Q_1} + \frac{V_{os1}}{Q_1} + \frac{V_{oe2f}}{Q_2} + \frac{V_{os2}}{Q_2}$$

$$(43\ b)\quad t_{ub} = \frac{V_u - V_{ue}}{2\,Q_3} + \frac{V_{ue1f}}{Q_3} + \frac{V_{us1}}{Q_3} + \frac{V_{ue2f}}{Q_4} + \frac{V_{us2}}{Q_4}$$

Zur Sicherung einer maximalen zeitlichen Auslastung der Brückenbagger muß die Bedingung erfüllt werden

$$t_{ub} = t_{ob}$$

In den angegebenen Formeln erfolgte eine Aufgliederung der Massen der Strossenendbaggerung in solche Abschnitte, die zeitlich und örtlich getrennt gewonnen werden müssen. Deshalb müssen als zusätzliche Bedingungen die in den Gleichungen 43 a und b untereinanderstehenden Glieder gleich sein, da sie die Zeiten für die Abschnitte sind, die von beiden Arbeitsebenen aus gleichzeitig gebaggert werden müssen.

Neben der Abstimmung der Massen für den Vollbetrieb kommt es vor allem auf die Übereinstimmung der Strossenendbaggerung an. Für den Frontbetrieb auf den letzten Längen müssen folgende Abhängigkeiten erfüllt werden:

$$\frac{R\,l_{o1}\,M_o}{Q_1} = \frac{R\,l_{u1}\,M_u}{Q_3}\ ;\ \frac{R\,l_{o2}\,M_o}{Q_2} = \frac{R\,l_{u2}\,M_u}{Q_4}$$

Die Rückbreite R ist auf beiden Arbeitsebenen die gleiche. Die Längen l_{o1} und l_{u1} sind konstant und im wesentlichen durch den Baggerabstand bestimmt. Sie können unterschiedlich sein, wenn es möglich ist, z.B. mit den oberen Geräten eine höhere Fahrgeschwindigkeit als mit dem übrigen Brückenverband zu erreichen. Da der Einsatz der Geräte Ds 3150 bei einer guten leistungsmäßigen Auslastung fast nur die Höchstgeschwindigkeit von 9 m/s erfordert, scheidet diese Möglichkeit schon weitgehend aus. Hinzu kommt, daß bei einer solchen Fahrweise die Massen eines längeren Abschnittes der Baggerseite auf einem kürzeren Abschnitt kippenseitig untergebracht werden müssen und damit die Kippenhöhe weiter vergrößert wird. Aus diesen Gründen muß gefordert

werden, daß der für die Strossenendbaggerung wirksame Abstand der Geräte auf beiden Arbeitsebenen der gleiche ist, d.h.

$$(44) \qquad l_{o1} = l_{u1} \quad \text{und} \quad l_{o2} = l_{u2}$$

Damit muß zur Abstimmung der Massen in beiden Schnitten weiter eingehalten werden

$$(45) \qquad \frac{M_o}{Q_1} = \frac{M_u}{Q_3} \quad \text{und} \quad \frac{M_o}{Q_2} = \frac{M_u}{Q_4}$$

Die Bedingungen für die unmittelbar anschließenden Abschnitte des Sichelschnittbetriebes sind folgende:

$$\frac{R\ r_o\ M_o}{Q_1} = \frac{R\ r_u\ M_u}{2\ Q_3}$$

Der Faktor w, der den Einfluß des Strossenendwinkels berücksichtigt, kann unberücksichtigt bleiben, da er für beide Schnitte der gleiche ist. Das Verhältnis der Schwenkradien der Bagger im oberen und unteren Schnitt ist

$$(46) \qquad \frac{r_o}{r_u} = \frac{Q_1\ M_u}{2\ Q_3\ M_o}$$

Die Mächtigkeiten sind nicht mehr frei wählbar, da sie bereits durch die Gleichung 45 festgelegt sind. Vergleicht man die vorhandenen Schwenkradien der Geräte Ds 3150 und Ds 1120 mit den durch die Rechnung ermittelten notwendigen Werten, so ergibt sich keine exakte Übereinstimmung. Unter Berücksichtigung der anstehenden Massen und der effektiven Geräteleistungen erhält man $r_o : r_u = 1:2$. Aus den konstruktiven Daten der Geräte errechnet sich das gleiche Verhältnis mit 1:1,75. Das bedeutet, daß das obere Gerät für die Gewinnung der Sichelschnittmassen länger benötigen wird und damit die Förderbrücke für diese Zeit nur mit einem Ds 1120, d.h. mit ca. 15 % der Gesamtleistung in Betrieb ist. Der notwendige Zeitbedarf der oberen

Geräte ist damit auch bestimmend für die erforderliche Betriebszeit der Förderbrückenbänder, so daß für die weitere Formelentwicklung die Gleichung 43 a verwendet werden muß. Es ergeben sich die Zeitanteile der Geräte mit

$$t_1' = \frac{V_o - V_{oe} + 2\,V_{oe1}}{V_o + V_{oe}}$$

$$t_2' = \frac{V_o - V_{oe} + 2\,V_{oe2}}{V_o + V_{oe}}$$

$$T_3' = \frac{2\,Q_1\,(V_u - V_{ue} + 2\,V_{ue1})}{2\,Q_3\,(V_o + V_{oe})}$$

$$t_4' = \frac{2\,Q_1\,(V_u - V_{ue} + 2\,V_{ue2})}{2\,Q_3\,(V_o + V_{oe})}$$

Der mittlere Zeitanteil der Geräte ist dann

$$(47) \qquad t_q' = \frac{V}{V + \frac{1 - q_1}{q_1}\,V_{oe} - V_{ue}}$$

Zu Vergleichszwecken wird eine weitere Vereinfachung vorgenommen und festgelegt, daß

$$\frac{V_{oe}}{q_1} = \frac{V_{ue}}{q_3}$$

Man erhält

$$(47\ a) \qquad t' = \frac{V}{V + V_e}$$

Es ist die gleiche Formel, die bereits für den Betrieb mit zwei Baggern (Gleichung 11 und 21) gefunden wurde.

Eine Gegenüberstellung der drei Varianten zeigt die wesentlichen Differenzen, die bei gleicher bzw. nur wenig unterschiedlicher theoretischer Leistung in der möglichen Jahresleistung auftreten. Dabei wird einheitlich mit einem $\eta_B = 1{,}2$ und einem $\eta_T = 0{,}75$ gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengestellt. In der Jahresleistung treten Unterschiede von

Leistung einer 60-m-Brücke bei 3000 m Strossenlänge				
Bg.-Technologie	Q_{th} m^3/h	t'	η_r'	Q_a m^3/a
Drei Geräte auf zwei Arbeitsebenen und reinem Hochschnittbetrieb des oberen Baggers	13 200	0,920	0,820	85,4
Drei Geräte und Hoch- und Tiefschnittbetrieb des oberen Bg.	13 200	0,972	0,872	90,7
Vier Geräte auf zwei Arbeitsebenen	12 640	0,946	0,796	79,3

Tabelle 7

mehr als 10 Mm^3 auf. Es muß nochmals darauf hingewiesen werden, daß diese Leistungen nur dann erreicht werden, wenn keine Ausfälle bei Strossenbetrieb durch ungenügende Schnitteinteilung eintreten. Bei Anschluß von vier Baggern ist es außerdem notwendig, für die Strossenendbaggerung eine Reihe von Bedingungen einzuhalten, die im einzelnen erläutert wurden. Eine solche exakte Abstimmung dürfte schon bei der Projektierung Schwierigkeiten bereiten und im praktischen Betriebsablauf kaum möglich sein. Deshalb sind die angegebenen Leistungszahlen als obere Grenzwerte anzusehen, die nur bei einer genau abgestimmten Fahrweise erreicht werden können.

Gedanken zur konstruktiven Gestaltung der 60-m-Förderbrücke

Die Ausrüstung einer 60-m-Förderbrücke mit drei Ds 3150 hat den Nachteil, daß der Einsatz im Parallelbetrieb nur in Verbindung mit einem Sonderbetrieb möglich ist. Die Ausrüstung der Brücke mit vier Baggern dagegen bringt eine geringere Leistung und damit schlechtere ökonomische Ergebnisse. Auch die Untersuchung der

optimalen Strossenlängen und des Haldenaufbaues sprechen eindeutig für die Ausrüstung mit drei Geräten. Deshalb ist es notwendig, Wege zu finden, um die Brücke konstruktiv so zu gestalten, daß sie ohne zusätzliche Hilfe auch im Parallelbetrieb voll einsatzfähig wird. Vom PKB "Kohle", Aussenstelle Lausitz, liegt dazu ein Neuerervorschlag vor, der die Anordnung eines zum Querförderer parallelen Bandes im Portal des Baggers vorsieht. (Bild 21). Zwischen beiden liegt ein 50 m langes Verbindungsband. Ungewöhnlich ist die Länge des Parallelbandes mit 160 m, die aber m.E. konstruktiv zu lösen ist. Dieser Vorschlag ermöglicht ohne weiteres den Betrieb des oberen Ds 3150 auf beiden Seiten der Brücke und damit ein restloses Freischneiden an beiden

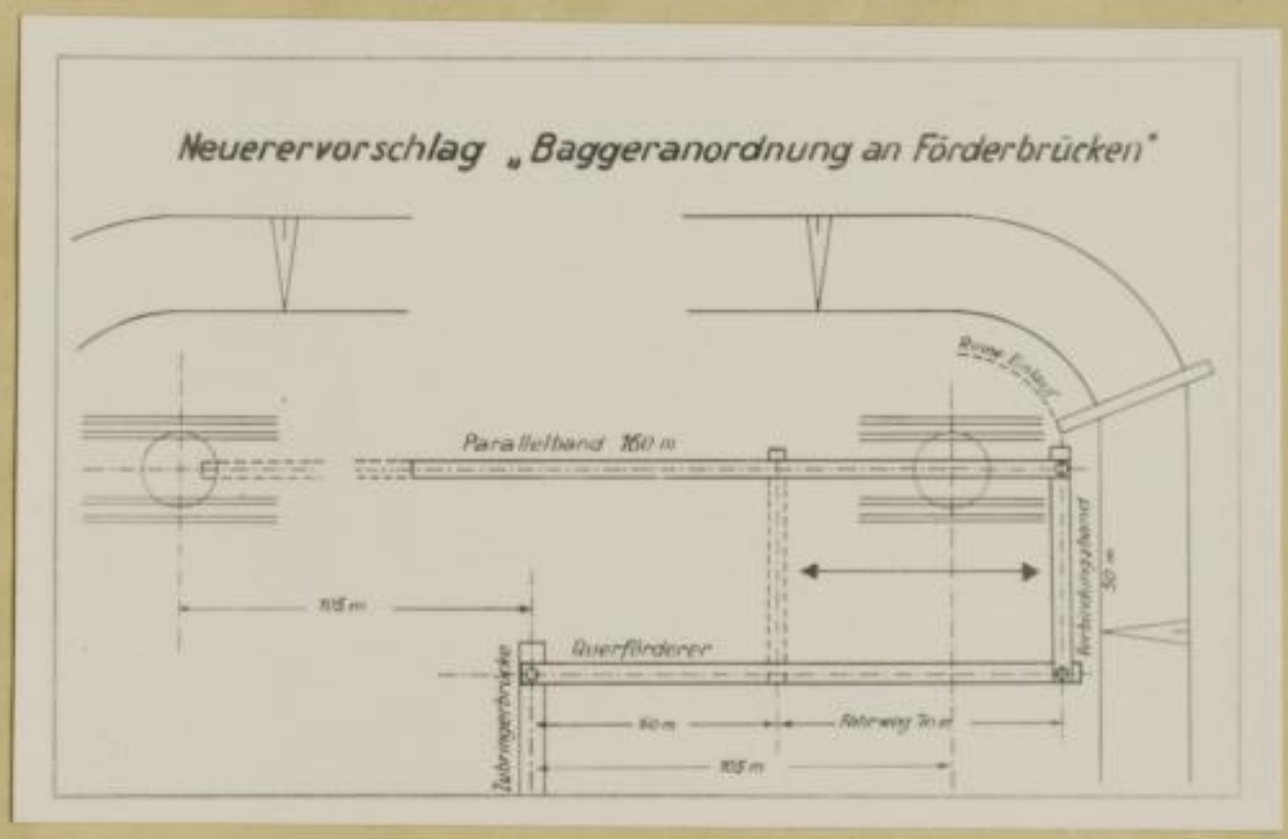


Bild 21

Strossenenden. Das obere Gerät kann jedoch nur im Hochschnitt eingesetzt werden, da auf dem Planum noch die Gleise für die Zubringerbrücke und den Querförderer nachfolgen. Der große Abstand von 50 m zwischen Parallelband und Querförderer wurde deshalb gewählt, weil der Ballast des Ds 3150 in 13 m Höhe rd. 50 m von Baggermitte erst endet. Damit bestehen für Querförderer und Zubringerbrücke in der Bauhöhe keine Begrenzungen.
Die optimale Betriebsweise in Form von Hoch-Tiefschnittbaggerung des oberen Gerätes auf den letzten Strossenabschnitten ist aber nicht gewährleistet. Deshalb er-

scheint es notwendig, in Ergänzung dieses Vorschlages noch einen weiteren Gedanken zur Diskussion zu stellen. Der Achsabstand zwischen Querförderer und Parallelband wird auf 20 m reduziert. Dadurch kommen die Abstützungen des Querförderers und der Zubringerbrücke in den Bereich des Baggervorlandes und eine Gewinnung im Tiefschnitt wird ermöglicht. Es entstehen aber Begrenzungen für die Abmessungen der Förderanlagen (Bild 22)
Der Querförderer wird einmal durch die äußere Begrenzung des Baggerportales und der Anbauten, zum anderen durch die Eimerrinne, die bei Tiefschnittbaggerung über diesem steht, in seinen Abmessungen begrenzt. Der Platz für den beladbaren Querförderer, in dessen Bereich die Tiefschnittbaggerung durchgeführt werden kann,

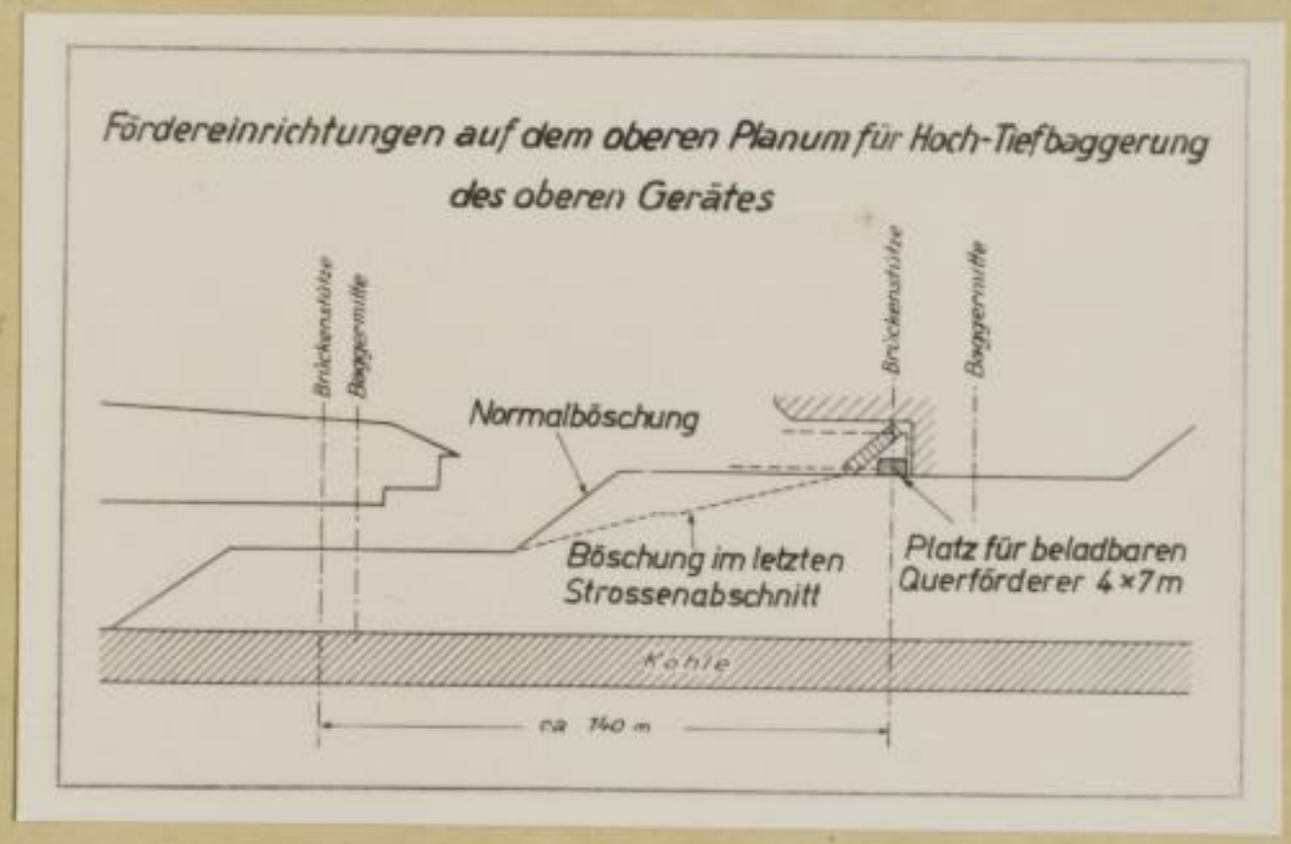


Bild 22

wird auf 4 m Höhe und 7 m Breite eingeengt, wobei auf allen Seiten ein freier Raum von 1 m vorhanden ist. Die Zubringerbrücke darf auf den ersten 30 m eine Höhe von 10 m nicht überschreiten, wenn man gewährleisten will, daß der Bagger bei Einsatz im Hochschnitt von einer Seite der Brücke zur anderen wechseln kann, ohne den Betrieb zu unterbrechen. Reicht diese Bauhöhe für die Ausbildung der Zubringerbrücke nicht aus, so kann der Seitenwechsel nur unter Inkaufnahme von Stillständen, d.h. durch Schwenken von Eimerleiter und Ballastausleger in Strossenrichtung erfolgen. Der

Zeitbedarf für einen solchen Transport wird etwa dem eines Schwenkvorganges von einem Schnitt zum anderen entsprechen.
Der wechselweise Einsatz im Hoch- und Tiefschnitt erfordert einen solchen Abstand der oberen und unteren Geräte, daß eine Berührung bei gegeneinandergeschwenkten Eimerleitern nicht erfolgen kann. Das bedeutet, daß der Abstand der baggerseitigen Stütze der Hauptbrücke und der Abstützung der Zubringerbrücke auf dem oberen Planum ca.140 m sein muß, und das wird etwa der notwendigen Spannweite der Zubringerbrücke entsprechen. Diese Länge wird gegenüber der zur Zeit vorliegenden Konzeption um ca.25 m vergrößert werden müssen.
Die Anordnung der Zubringerbrücke und des Querförderers in der beschriebenen Weise ermöglicht zunächst die Anwendung der optimalen Technologie bei Strossenendbaggerung. Darüber hinaus wird aber die Möglichkeit geschaffen, einen Massenausgleich zwischen den oberen und unteren Baggern vorzunehmen, wenn durch länger andauernde Störungen Diskrepanzen im Abbaufortschritt eingetreten sind. Auch unvermeidbare Disproportionen in der Schnitteinteilung durch Unebenheiten in der Geländeoberfläche oder Einmuldungen im Flözhangenden können ohne wesentliche Leistungsausfälle überwunden werden. Damit werden die Möglichkeiten einer weitestgehenden Freizügigkeit im Geräteeinsatz geschaffen, die eine notwendige Voraussetzung für eine hohe Auslastung eines Brückenverbandes sind.
Nach dem Wiederanfahren eines ausgefallenen Gerätes wird es in vielen Fällen möglich sein, sofort wieder mit voller Leistung die Brücke weiterzubetreiben. Schwierigkeiten bestehen nur noch im ersten Schnitt, da dort die anderen Geräte nicht aushelfen können. Diese können dadurch ausgeschaltet werden, daß auf der gesamten Strosse planmäßig für das obere Gerät ein geringer Massenanteil im Tiefschnitt vorgesehen wird, der im Bedarfsfall durch die unteren Geräte mit gewonnen werden kann.

2.3 Kippenaufbau am Strossenende

Die Fragen des Kippenaufbaues waren in der Vergangenheit nur wenig untersucht worden. In der Literatur [4] sind Berechnungsmethoden angegeben, nach denen die Kippenhöhe unter Berücksichtigung des Auflockerungsfaktors und der Massenzusammendrängung infolge Kurvenbetriebes oder Winkelstellung ermittelt werden kann. Einflüsse, die sich aus der Anordnung der Bagger und aus der Fahrweise der Brücke ergeben, wurden bisher nicht berücksichtigt. Diese Faktoren wurden erstmalig bei Betriebsuntersuchungen im Tagebau Sedlitz erkannt. Bei der Fahrweise auf langer Front tritt eine Überhöhung der Kippe im letzten Abschnitt ein, welche die Normalhöhe um ca.50 % übersteigt, wie im Bild 4 dargestellt wurde. Diese Erscheinung hat folgende Ursache:
Bei der Förderung des gewonnenen Bodens über die Bandanlagen der Förderbrücke tritt neben den Transport über den offenen Tagebau noch ein Seitentransport durch die Bagger- und Brückenquerförderer in Strossenrichtung ein. Dadurch werden Bodenmassen, die ursprünglich um die Länge des Baggerabstandes auseinanderlagen, an einer Stelle der Kippe abgesetzt. So kommen die Massen des vorletzten Abschnittes der Baggerseite, die durch Bagger 2 gewonnen werden, in den letzten Kippenabschnitt und füllen diesen bereits bis zur Normalhöhe auf. Der im Einbaggerbetrieb zu gewinnende restliche Abraum des letzten Abschnittes muß noch zusätzlich verkippt werden.
Auf diese grundsätzlichen Zusammenhänge wurde vom Verfasser in Auswertung der im Tagebau Sedlitz gewonnenen Erkenntnisse hingewiesen. Die notwendigen Berechnungsunterlagen dazu wurden von Mitarbeitern des PKB "Kohle", Aussenstelle Lausitz, ausgearbeitet und veröffentlicht [6].
Aus dieser Arbeit geht hervor, daß die disziplinierte Einhaltung der bei der Kippenberechnung angenommenen Fahrweise der Brücke eine unbedingte Notwendigkeit ist. Nichteinhalten der vorgeschriebenen Winkelstellung

im letzten Strossenabschnitt, zusätzliches Gewinnen von Boden durch Bagger 2 bei der Strossenendbaggerung (z.B.durch Absenken der Eimerleiter im Hochschnitt), führen zu Abweichungen von der berechneten Kippenhöhe, die unter Umständen nicht mehr beherrscht werden können. Die verschiedenen bei der Strossenendbaggerung auftretenden Probleme und Varianten wurden in dieser Arbeit eingehend behandelt, so daß darauf verwiesen werden kann.

Es wurden auch Möglichkeiten untersucht, die eine Verschiebung der Massenüberschneidung auf der Kippe zum Ziel haben. Das kann notwendig werden, wenn infolge eines großen Strossenendwinkels oder eines offenen Schlauches die Unterbringung des Bodens nicht mehr gesichert werden kann. Eine solche Verschiebung, die ganz oder teilweise möglich ist, erreicht man dadurch, daß Bagger 2 im vorletzten Strossenabschnitt bereits vollständig oder teilweise leer mitfährt. Dadurch wird der Seitentransport des Bodens in Richtung schwenkendes Ende in den gefährdeten Abschnitten unterbunden oder vermindert.

Diese Betriebsweise ist aber stets mit einem größeren Stillstand des drehpunktseitigen Gerätes verbunden, und die für den Einbaggerbetrieb verbleibenden Massen werden vergrößert. Der Kontinuitätsfaktor wird kleiner, und die mögliche Leistung der Brücke geht zurück.

Im Interesse einer guten Auslastung der vorhandenen Anlagen muß deshalb jeder Betrieb so angelegt werden, daß die Massenunterbringung bei normaler Fahrweise gesichert wird.

In der Arbeit von Krause und Hannusch wird darauf [6] hingewiesen, "daß die Massenhäufung auf der Brückenkippe an beiden Strossenenden in Erscheinung tritt, gleichgültig, ob im Parallel- oder Schwenkbetrieb gearbeitet wird."

Dieser Hinweis trifft zwar für den Parallelbetrieb zu, kann aber für den Schwenkbetrieb nicht anerkannt werden. Bei Schwenkbetrieb hat die Rückfläche bekanntlich die Form eines Dreiecks. Am Drehpunkt ist die Rückbreite Null

und nimmt bis zum schwenkenden Ende stetig zu. Im Abschnitt Schwenkbetrieb wurde durch Berechnung der Rückflächen der ersten beiden Strossenabschnitte am Drehpunkt nachgewiesen, daß ein Einbaggerbetrieb nicht auftritt, wenn die Dreieckform der Rückfläche eingehalten wird. Eine Kippenüberhöhung entsteht aber nur dann, wenn ein Bagger die Massen des anderen, die von diesem nicht erreicht werden können, zusätzlich bewegen muß. Das ist aber am Drehpunkt nicht der Fall. Die Formulierung muß so lauten, daß die Massenanhäufung auf Brückenkippen an den Strossenenden in Erscheinung tritt, an denen im letzten Strossenabschnitt mehr Massen anstehen als der dort arbeitende Bagger während des Vollbetriebes der Brücke bewegen kann.
Die Größe der Massenüberschneidung wurde bisher mit 50 % angegeben, wie das bei Einheitsförderbrücken mit zwei typengleichen Geräten auf einem Gleisrost auch annähernd zutrifft. Genaue Überlegungen führen jedoch zu dem Ergebnis, daß diese genannten 50 % nur als Näherungswert anzusehen sind. Zur Ermittlung des genauen Wertes muß man von der Entstehungsursache ausgehen. Der Umfang der im Einbaggerbetrieb zu gewinnenden Restabraummenge wird bestimmt durch den Anteil der Leistung des Baggers, der das Strossenende nicht erreichen kann. Bei typengleichen Geräten und Einsatz derselben im gleichen Schnitt ist auch die effektive Leistung gleich und der Anteil beider Bagger ist 50 %. Bereits bei Einsatz in verschiedenen Schnitten können die Leistungen bis zu 20 % differieren. Das bedeutet, daß die Massenüberdeckung auf der Kippe von 45 bis 55 % schwanken kann. Noch größere Abweichungen sind möglich, wenn Bagger mit unterschiedlicher theoretischer Leistung an der Brücke angeschlossen sind. Die Schlußfolgerung daraus muß sein, die Gewinnung so zu lenken, daß das Gerät am schwenkenden Ende in dem Schnitt arbeitet, in dem die höhere effektive Leistung erreicht wird und damit weniger als 50 % im letzten Strossenabschnitt für den Einbaggerbetrieb verbleiben.

Die auftretenden Höhen der Kippen sind aus der folgenden Gleichung zu ermitteln:

(48) $$H_{ges} = H_N (1 + q_2)$$

H_{ges} = Gesamte Kippenhöhe einschließlich Massenüberdeckung

H_N = Normalhöhe der Kippe

Diese Gleichung gilt für Förderbrücken mit zwei angeschlossenen Geräten, ist aber sinngemäß auch für alle anderen Bauarten anwendbar. Anstelle von q_2 ist der Leistungsanteil des Gerätes einzusetzen, welches das Strossenende nicht erreichen kann. Die Formeln lauten dann:
Für Förderbrücken mit drei Baggern (entsprechend Abschnitt 2.2)

(49) $$H_{ges} = H_N (1 + q_3)$$

Für Förderbrücken mit vier Baggern (60-m-Brücke)

(50) $$H_{ges} = H_N (1 + q_2 + q_4)$$

Auch hier ist die entstehende Kippenhöhe von der Fahrweise abhängig. Steigerung der zeitlichen Auslastung durch Kursfahren und größere Haldenhöhen hängen unmittelbar zusammen.
Vergleicht man die Gleichungen 49 und 50, so stellt man auch hier einen wesentlichen Unterschied zwischen den erläuterten Varianten für die 60-m-Brücke fest. Die Massenüberdeckung ist bei Einsatz von vier Baggern größer als bei drei Geräten. Die Unterschiede in der Fahrweise, die für die Brücke mit drei Geräten anhand von zwei Varianten erläutert wurde, wirken sich hier nicht auf den Haldenaufbau aus, da der stehenbleibende Restabraum im letzten Abschnitt in beiden Fällen der gleiche ist. Bei diesen großen Abtragshöhen ist die Differenz in der Kippenhöhe allein durch die unter-

schiedliche Geräteanordnung ca.12 m. In den Bildern 19 und 20 wurden diese Unterschiede mit dargestellt. Auch unter diesen Gesichtspunkten erweist sich der Anschluß von drei Gewinnungsgeräten als die bessere Lösung.

2.4 Optimale Strossenlängen für Brückenbetriebe

Aus den bisherigen Untersuchungen ging bereits die Bedeutung der Strossenlänge hervor. Es ist die Frage zu beantworten, welche optimale Länge eine Brückenstrosse haben muß, die sowohl eine hohe Leistung zuläßt als auch ein Minimum an Kosten verursacht.

Technologische Forderungen

Für die richtige Dimensionierung ist es notwendig, drei Einflußfaktoren zu berücksichtigen:

1. Die Länge soll möglichst groß sein, um den prozentualen Anteil der Massen der Strossenendbaggerung gering zu halten und dadurch eine weitgehend kontinuierliche Auslastung zu erreichen.
2. Die Strosse muß so lang sein, daß durch das Gleisrücken keine Behinderung des Betriebes entsteht und Ausfälle vermieden werden.
3. Bei voller Leistung der eingesetzten Förderbrücken darf die zulässige Verhiebsgeschwindigkeit und damit die Belastungsgeschwindigkeit des Liegenden nicht überschritten werden.

Die durchgeführten Untersuchungen lassen die Abhängigkeiten erkennen, die zwischen Strossenlänge und zeitlicher Auslastung bestehen. In den Bildern 13 und 14 ist die Entwicklung des mittleren Zeitanteils dargestellt. Bei Längen unter 3000 m tritt ein wesentlicher Abfall ein, der um so schneller verläuft, je größer der wirksame Baggerabstand ist. Daraus geht klar hervor, daß Strossenlängen angestrebt werden müssen, die je nach den eingesetzten Brückentypen zwischen 2000 und 3000 m liegen werden. Zu kurze Strossen können sehr

viel Leistung kosten. Bei Brücken mit zweiseitiger Baggeranordnung wird die mögliche Förderung bei Strossenlängen von 1000 bis 2000 m auf 75 bis 90 % reduziert. In verschiedenen Tagebauen mußte die Erfahrung gemacht werden, daß bei zu kurzer Strosse die Brückenleistung nicht voll ausgeführen werden konnte.
Im Tagebau Skado war zum Zeitpunkt des Einsatzes der zweiten Abraumförderbrücke eine Strosse von 650 m vorhanden, die sich im Laufe von 18 Monaten auf 2100 m verlängerte. Aus den betrieblichen Ergebnissen [2] ist eine Abhängigkeit bis zum Erreichen einer Länge von 1650 m zu erkennen. Diese kann unter den Bedingungen des Tagebaues Skado als Mindeststrossenlänge angesehen werden. Das wird dadurch begründet, daß zu diesem Zeitpunkt beide Brücken die Kennziffern erreichten, die vorher von einer Brücke bei einer Strossenlänge von 650 m gebracht wurden, und die trotz steigender Länge der Strosse bei sonst gleichen Bedingungen keine wesentliche Erhöhung mehr erfahren haben. Schwierigkeiten in der Betriebsorganisation traten aber noch auf. Das betraf insbesondere das Zusammenspiel zwischen dem Abraum- und Grubenbetrieb. Erst mit weiterer Verlängerung der Strosse konnten diese gemildert werden.
Bei Einsatz der ersten Förderbrücke im Tagebau Glückauf war die Strosse rd.1000 m lang, im Jahresmittel betrug sie 1300 m [3]. Diese Brücke hat die gleiche Leistung wie beide Skado-Brücken zusammen. Die vorhandene Strossenlänge war auch hier für ein derartiges Brückenaggregat zu kurz. Es kam erschwerend hinzu, daß die mittlere Abraummächtigkeit nur 20 m betrug. Die Leistung lag im ersten Jahr bei 17,4 Mm^3, eine volle Auslastung wurde also nicht erreicht.
Ähnliche Erfahrungen wurden mit der Inbetriebnahme der Brücken Schlabendorf gemacht. Es muß noch erwähnt werden, daß Leistungsausfälle infolge Strossenendbaggerung im Tagebau Skado nicht auftreten, da an jeder Brücke nur ein Bagger angeschlossen ist, im Tagebau

Glückauf nur in geringem Umfange infolge der einseitigen Baggeranordnung und des daraus resultierenden geringen Abstandes der Geräte. Die im Abschnitt 2.1 untersuchten Ausfälle haben hier also keinen entscheidenden Anteil daran.

Besondere kritische Verhältnisse stellten sich bei der Inbetriebnahme der Förderbrücke Klettwitz ein. Entwicklungsbedingt stand anfangs nur eine Strossenlänge von 700 m zur Verfügung. Erst nach Monaten gelang es, eine Strosse bis 2000 m nutzbar zu machen und damit die Voraussetzung für eine bessere Auslastung zu schaffen.

Unter Berücksichtigung der in den einzelnen Betrieben anstehenden Abraummächtigkeit und Leistungsfähigkeit der Förderbrücken kommt man zu dem Ergebnis, daß Verhiebsgeschwindigkeiten bis zu 3 m/d organisatorisch noch beherrscht werden können. Bei Werten, die darüber liegen, kann das Gleisrücken nur noch mit erhöhtem Aufwand oder gar nicht mehr so gelenkt werden, daß ständig gerückte Strossenabschnitte für einen reibungslosen Betrieb zur Verfügung stehen. Selbst dann, wenn die bodenmechanischen Bedingungen eine höhere Belastungsgeschwindigkeit zulassen, ist es also nicht zweckmäßig, betrieblich so zu fahren. Es treten dann erhöhte Ausfälle bei Strossenendbaggerung und Schwierigkeiten in der Bereitstellung von gerückten Strossenabschnitten auf. Die notwendigen Mindeststrossenlängen bei einer Verhiebsgeschwindigkeit von 3 m/d sind in Abhängigkeit von Brückenleistung und Abraummächtigkeit im Bild 23 für Schwenkbetrieb dargestellt.

Die Arbeitsbereiche liegen nur bei geringen Leistungen unter 3000 m Strossenlänge, d.h.dann, wenn in einem Tagebau nur eine Brücke zum Einsatz kommt. Alle Zweibrückenbetriebe und die geplante 60-m-Brücke erfordern Werte, die im Schwenkbetrieb zwischen 3000 und 5000 m liegen. Solche extrem großen Strossenlängen bringen jedoch erhöhten Aufwand in den Gleis- oder Bandanlagen in allen Abraumschnitten und in der Grube mit sich, so daß bei hohen Leistungen geprüft werden muß, ob die Anwendung von Schwenkbetrieb ökonomisch noch

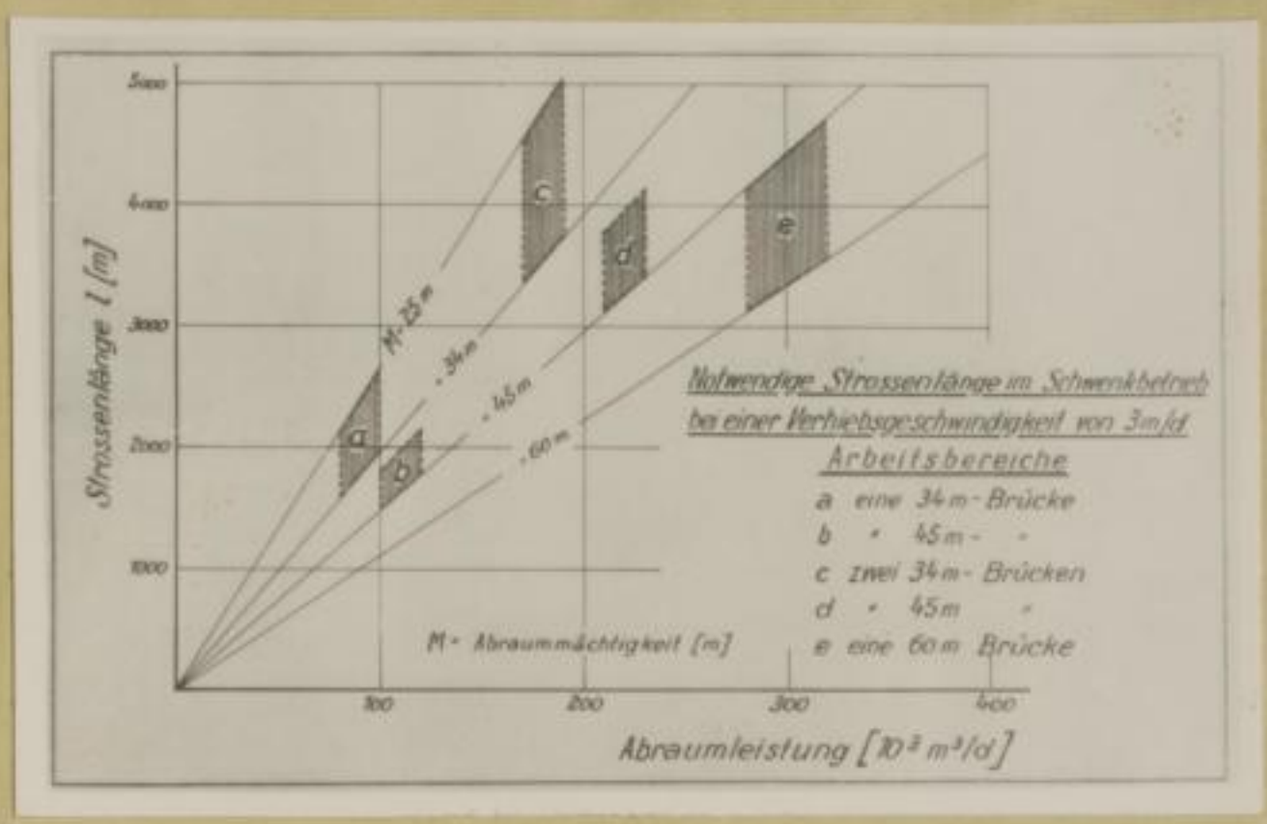


Bild 23

vertretbar ist oder ob zum Parallelbetrieb übergegangen werden muß, bei dem nur die halbe Strossenlänge bei gleicher Verhiebsgeschwindigkeit erforderlich ist. Beschränkungen des Abbaufortschrittes aus bodenmechanischen Gründen führen zu weiterer Vergrößerung der Mindeststrossenlänge.

Kostenentwicklung bei unterschiedlichen Strossenlängen

Aus technischen und technologischen Gründen ist es also notwendig oder erwünscht, möglichst große Strossenlängen zu erreichen. Dem steht aber entgegen, daß mit zunehmender Länge des Tagebaues die Anlagekosten durch den erhöhten Aufwand für die Gleisroste ansteigen und damit die Forderungen begrenzt werden. Es muß deshalb untersucht werden, wie sich die Kosten eines Brückenbetriebes in Abhängigkeit von der Strossenlänge verändern, um daraus die notwendigen Erkenntnisse für richtige Entscheidungen zu gewinnen.
Für die Kostenermittlung stehen einmal die Ist-Werte der vergangenen Jahre aus den laufenden Förderbrückenbetrieben zur Verfügung. Diese sind aber nur noch zum Teil richtig, da durch die ab 1.4.64 wirksam gewordene

Industriepreisreform verschiedene Änderungen eingetreten sind. Zum anderen liegen die Plankosten auf der Basis der neuen Berechnungsmethoden und Abschreibungssätze vor. Praktische Erfahrungen über die Auswirkung dieser Preisreform gibt es noch nicht. Es kommt hinzu, daß eine zweite Phase folgen wird und damit weitere kostenverändernde Faktoren wirksam werden. Für die Ermittlungen wurden die Plankosten der Förderbrückenbetriebe für den Zeitraum vom 1.4. bis 31.12.64 zugrunde gelegt. Nachfolgende ökonomische Betrachtungen werden deshalb eine gewisse Unsicherheit bezüglich der absoluten Höhe der Kosten aufweisen.

Es war zunächst zu untersuchen, welche spezifischen Kosten in den Förderbrückenbetrieben auftreten. Dabei mußten, durch die verschiedenen betrieblichen Verhältnisse bedingt, zum Teil erhebliche Unterschiede festgestellt werden, die sich insbesondere im Verbrauch an Hilfsmaterial, in den Reparaturleistungen und in den fremden Leistungen äußern. Hier spiegeln sich solche Einflüsse wider, die durch unterschiedliche geologische Bedingungen und den daraus resultierenden Verschleiß der Maschinenteile, ungleichen Einsatz von eigenen oder fremden Arbeitskräften für Reparaturen, Gleisarbeiten und dergleichen entstehen. Weitere Differenzen ergeben sich durch die Strompreise, die für Eigenerzeugung und Fremdbezug nicht gleich sind.

Für die weiteren Betrachtungen wurde ein mittlerer Kostenaufwand zugrunde gelegt, der den durchschnittlichen Einsatzbedingungen in der Niederlausitz entspricht. Vergleicht man die Selbstkostenentwicklung mit der Produktionshöhe in den einzelnen Betrieben, so kann man feststellen, daß Strom- und Materialkosten und im gewissen Umfange die Reparaturkosten bei Veränderung der Leistung spezifisch gleich bleiben. Alle übrigen Kostenarten werden durch Leistungsänderungen nicht beeinflußt. Aus den geplanten Selbstkosten der Betriebe konnte ermittelt werden, daß der Anteil der proportionalen Kosten am Gesamtaufwand ca.26 % beträgt und 74 % für konstante Ausgaben verwendet werden müssen.

Dieses Verhältnis wird für eine Strossenlänge von 3000 m zugrunde gelegt. Abweichungen von dieser Länge haben Veränderungen im Anlagewert der Gleisroste und damit auch eine Verminderung oder Erhöhung des konstanten Kostenanteils zur Folge.
In Tabelle 8 ist die Berechnung für eine 34-m-Brücke mit zweiseitiger Baggeranordnung (Bild 24, Kurven B) enthalten. Die unterschiedlichen Strossenlängen bewirken Veränderungen der Leistung, die nach den entwickelten Gesetzmäßigkeiten errechnet wurden. Man erkennt deutlich, daß die mögliche Leistung des Brückenverbandes zunächst schnell zunimmt und mit dem weiteren Anwachsen der Strossenlänge der Anstieg immer geringer wird. Die absoluten Kosten dagegen nehmen proportional zur Strossenlänge zu. Das ist bedingt durch die lineare Zunahme der Abschreibungen. In den Berechnungen wurden für normalspuriges Baggergleis ein Anlagewert von 200,-- DM/m und ein Abschreibungssatz für rückbare Bandanlagen von 13 % verwendet. Alle übrigen Kostenpositionen wurden konstant gelassen. Es wird angenommen, daß auch die Löhne keine Veränderung durch die Leistungsdifferenzen erfahren. Das trifft dann zu, wenn die Normen den jeweiligen Betriebsbedingungen angeglichen werden. Der Arbeitskräftebedarf wurde unverändert gelassen, da eine kurze Gleisanlage zwar weniger Unterhaltungsaufwand erfordert, andernfalls aber häufiger gerückt werden muß als eine längere und dadurch ein gewisser Ausgleich eintritt.
Aus Jahresleistung und konstantem jährlichen finanziellen Aufwand wurden die zugehörigen spezifischen Werte errechnet. Der proportionale Kostenanteil wird dazu addiert und man erhält die spezifischen Gesamtkosten. Auf die gleiche Weise wurden die Berechnungen für alle anderen Förderbrückentypen durchgeführt.
Die so ermittelten Kosten sind in den Bildern 24 bis 27 dargestellt. Man kann feststellen, daß sie bei kurzen Strossen und niedriger Leistung relativ hoch liegen und mit Zunahme der Strossenlänge zunächst absinken. Bei weiterer Verlängerung verringert sich der Leistungs-

Tabelle 8

Kostenentwicklung an einer 34 m-Brücke bei unterschiedlichen Strossenlängen

L (m)	t'	η_T'	Q_a (Mio m^3/a)	Konst.Kosten (Mio DM/a)	Konst.Kosten (Pf/m^3)	Prop.Kosten (Pf/m^3)	Ges.Kosten (Pf/m^3)
1000	0,857	0,807	24,4	7,7	31,6	10,5	42,1
2000	0,925	0,875	26,4	7,9	29,9	10,5	40,4
3000	0,950	0,900	27,2	8,1	29,8	10,5	40,3
4000	0,962	0,912	27,6	8,3	30,1	10,5	40,6
5000	0,969	0,919	27,8	8,5	30,6	10,5	41,1

Gültig für zweiseitige Anordnung von 2 Ds 1120.2 bei einem Abstand von 100 m

zuwachs, während die Steigerung der Anlagekosten im gleichen Maße weitergeht. Dadurch tritt bei größeren Längen wiederum ein mehr oder weniger großes Ansteigen der Kosten ein. Im einzelnen ergibt sich dabei folgendes Bild:

Die 34-m-Brücke mit einseitiger Anordnung der Gewinnungsgeräte zeigt bereits bei Strossenlängen von 1000 bis 2000 m ein nahezu konstantes Kostenbild. Die errechneten Vergleichswerte liegen bei etwa 39,5 Pf/m^3, bei ansteigender Strossenlänge über 2000 m tritt eine fast lineare Zunahme der spezifischen Kosten ein. Eine wesentliche Erhöhung der Leistung ist nicht zu erreichen. Wird die Förderbrücke mit zweiseitiger Anordnung der gleichen Gewinnungsgeräte eingesetzt, so kann man zwischen 1000 und 2000 m ein starkes Abfallen der Kosten feststellen, während zwischen 2000 und 3000 m kaum eine Veränderung eintritt. Bei weiterer Zunahme der Strossenlänge tritt wieder ein Anstieg ein, und zwar etwa im gleichem Maße wie bei der zuerst genannten Brücke, wobei die spezifischen Kosten allerdings ca. 0,5 Pf/m^3 höher liegen. Die vorhandene Brücke dieser Art ist jedoch nicht mit den gleichen Geräten ausgerüstet. Im Tagebau Sedlitz sind zwei Ds 1120.1 angeschlossen, deren theoretische Leistung niedriger ist; sie beträgt 1680 m^3/h im Gegensatz zum Ds 1120.2 mit 1920 m^3/h. Die wesentlich schwächeren Antriebe gestatten auch nicht, den gleichen Baggereffekt zu erzielen. Die Leistung liegt dadurch bei sonst gleichen Bedingungen um 7 bis 8 Km^3/a niedriger, und die Selbstkosten sind um mehr als 10 Pf/m^3 höher. Aus dem Kurvenverlauf (Bild 24) kann man auch erkennen, daß in diesem Fall eine Veränderung der Strossenlänge stärkere Auswirkungen hat als bei der Brücke mit höherer Leistung. Da die 34-m-Brücken meist in Zweibrückenbetrieben zum Einsatz gekommen sind, ist es erforderlich, auch die Kostenentwicklung bei dieser Technologie zu untersuchen (Bild 25). Die Leistungskurve entspricht dem zweifachen Wert der Kurve A in Bild 24. Für die Kostenermittlung wurden ebenfalls die doppelten Aufwendungen

Für die 60-m-Brücke wurden die im Abschnitt 2.2 bereits erläuterten drei Varianten der Baggertechnologie durchgerechnet. Kostenbeeinflussende Faktoren sind wiederum Leistung und Strossenlänge, aber auch die unterschiedlichen Abschreibungen, die sich aus der verschiedenen Anzahl der notwendigen Gleise ergeben. Bei Variante C wurden auch die geringeren Gerätegewichte beachtet. Man kann mit Sicherheit annehmen, daß zwischen den Varianten A und B ebenfalls Gewichtsdifferenzen auftreten. Da hierüber aber noch keine Angaben vorliegen, wurde notgedrungen mit gleichen Abschreibungssätzen gerechnet. Es soll lediglich erwähnt werden, daß eine Gewichtserhöhung von 1000 t eine Kostenerhöhung um ca.0,4 Pf/m^3 zur Folge hat. Veränderungen in dieser Größenordnung sind bei Variante B zu erwarten.
Der Anbau von drei Gewinnungsgeräten des Typs Ds 3150 und Einsatz des oberen als reines Hochschnittgerät ergibt Kosten, die für 1000 m Strossenlänge über 50 Pf/m^3 liegen, die dann stark abfallen und erst bei mehr als 5000 m einen etwa konstanten Verlauf erreichen. Mit dem Einsatz von vier Gewinnungsgeräten zeigt die Kurve ein ähnliches Verhalten. Der Kostenabfall verläuft allerdings flacher und eine Konstanz wird zwischen 4000 und 5000 m erreicht. Im Gegensatz zu der zuerst beschriebenen Variante müssen hier pro Kubikmeter Abraum ca.2 Pf mehr aufgewendet werden. Das günstigste Kostenbild wird wiederum mit drei Geräten und Hoch- und Tiefschnittbetrieb des oberen Ds 3150 erreicht. Die niedrigsten Aufwendungen treten bei Strossenlängen zwischen 2000 und 3000 m auf. Mit einer weiteren Verlängerung steigen die Kosten an.
Es muß hervorgehoben werden, daß diese Kostenvergleiche in Abhängigkeit von der Strossenlänge sowohl für den Schwenkbetrieb als auch für den Parallelbetrieb Gültigkeit haben, da bei beiden Technologien der Kontinuitätsfaktor für gleiche Werte von L und l annähernd derselbe ist. Unterschiede treten nur durch den Einfluß der dreieckförmigen Rückfläche beim Schwenkbetrieb und der damit verbundenen Trapezform der letzten Strossen-

abschnitte auf. Dadurch ergeben sich jedoch nur geringfügige Veränderungen, die die Aussagekraft dieser Ermittlungen nur unwesentlich beeinflussen.
Auf eine Ungenauigkeit in der Berechnung muß jedoch noch hingewiesen werden. Es wurden in allen Fällen die Leistungen verwendet, die sich analytisch aus den abgeleiteten Formeln unter Berücksichtigung der Strossenendbaggerung ergeben. Es wurde aber auch erläutert, daß bei Verhiebsgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/d, soweit sie bodenmechanisch zulässig sind, Schwierigkeiten in der Organisation des Betriebes eintreten, die zeitweilig Brückenstillstände zur Folge haben können.
Das bedeutet, daß in den Bereichen, die unter der erforderlichen Mindeststrossenlänge liegen, die in den Diagrammen angegebenen Leistungen nicht erreicht werden können und die Kosten damit ansteigen. Der gültige Bereich kann allerdings nicht eingezeichnet werden, da er bei Parallel- und Schwenkbetrieb unterschiedlich ist und außerdem durch die Mächtigkeit des Brückenabraums beeinflußt wird. Bei kurzen Strossenlängen treten also Kosten auf, die über den errechneten Werten liegen. Die Notwendigkeit der Beachtung der Mindeststrossenlänge wird damit nochmals unterstrichen.

Optimale Strossenlänge

Ein Vergleich der Kostenentwicklung in Abhängigkeit von der Strossenlänge für die verschiedenen Förderbrückentypen mit den erforderlichen Mindeststrossenlängen führt zu Schlußfolgerungen, die für die Dimensionierung eines Tagebaues und die Wahl der Tagebautechnologie von Bedeutung sind. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen sind in Tabelle 9 gegenübergestellt.
Bei der 34-m-Brücke liegen beide Werte in einer Größenordnung, so daß man den Bereich zwischen 2000 und 3000m als optimale Strossenlänge bezeichnen kann. Dabei ergeben sich für die verschiedenen Bauarten nur geringe Unterschiede. Auch für den Zweibrückenbetrieb kann man

Tabelle 9

Strossenlängen in Förderbrückenbetrieben

Brückentyp	Mindeststrossenlänge im Parallelbetrieb	Mindeststrossenlänge im Schwenkbetrieb	Optimale Strossenlänge Einseitige Anordnung	Optimale Strossenlänge Zweiseitige Anordnung
eine 34 m-Brücke	1 000	2 000	1 000 - 2 000	2 000 - 3 000
zwei 34m-Brücken	2 000	4 000	1 000 - 3 000	-
eine 45 m-Brücke	950	1 900	2 000 - 3 000	4 000 - 5 000
zwei 45 m-Brücken	1 900	3 800	-	-
eine 60 m-Brücke				
Technologie A	2 000	4 000	-	5 000
Technologie B	1 950	3 900	-	2 000 - 3 000
Technologie C	1 800	3 600	-	4 000 - 5 000

Übereinstimmung feststellen, da die Kosten bis 4000 m nahezu konstant bleiben.
Für Förderbrücken mit 45 m Abtragsmächtigkeit wurden die günstigsten ökonomischen Ergebnisse bei einseitiger Baggeranordnung und 2000 bis 3000 m Strossenlänge ermittelt. Auch hier ist eine Übereinstimmung mit der Mindeststrossenlänge vorhanden. Für zweiseitige Anordnung dagegen treten die günstigsten Kosten bei 4000 bis 5000 m auf. Damit wird die notwendige Mindestlänge weit überschritten. Setzt man diese Förderbrücken, sowie das technologisch möglich ist, im Parallelbetrieb ein, so wäre bodenmechanisch eine Strosse mit einer Länge von etwa 1000 m noch ausreichend. Die Kostenentwicklung zeigt aber, daß der Einsatz der Brücke unter diesen Bedingungen nicht mehr vertretbar ist. Hier ist es also zweckmäßig, die Strossen mit 3000 m und mehr festzulegen. Der damit eintretende geringere Verhieb bringt weitere Vorteile für die Betriebsorganisation. Der Zweibrückenbetrieb braucht hier nicht untersucht zu werden, da Brücken mit zwei Ds 1600 in solchen Betrieben nicht zum Einsatz kommen.
Wesentliche Gegensätze zwischen Technologie und Kostenentwicklung ergeben sich für die 60-m-Brücke. Der Brückenverband, der für Parallelbetrieb geeignet ist, erreicht die niedrigsten Kosten erst bei 4000 m. Das entspricht der Mindeststrossenlänge für Schwenkbetrieb. Bei Anschluß von drei Geräten und optimaler Fahrweise ist es umgekehrt. Förderbrücken dieses Typs werden jedoch vorwiegend im Parallelbetrieb bei Strossenlängen von 2000 bis 3000 m zum Einsatz kommen. In diesem Bereich treten zwischen den drei erläuterten Varianten Kostenunterschiede auf, die im ungünstigsten Falle 3,5 Pf/m^3 ausmachen und eindeutig für den Einsatz der Brücke mit drei Baggern sprechen.
Bei der Festlegung der Abmessungen eines Tagebaues müssen neben den Gesichtspunkten des Förderbrücken-

betriebes noch die Belange der Grube und des Vorschnittbetriebes berücksichtigt werden. Wird in diesen Betriebsteilen Zugförderung angewendet, so stellt sich eine ähnliche Kostenentwicklung ein wie bei den Förderbrücken. Wendet man aber Bandförderung an, so sind die Abschreibungen erheblich größer, und mit zunehmender Strossenlänge ergibt sich auch ein schnellerer Kostenanstieg.[7] In Bandbetrieben müssen also die Strossen möglichst kurz gehalten werden, wenn man noch vertretbare ökonomische Ergebnisse erreichen will. Förderbrücken müssen so gebaut werden, daß bei Strossen von 2000 bis 3000 m bereits hohe und kontinuierliche Auslastungen gesichert werden können und in diesem Bereich auch das Kostenminimum liegt. Kleinere Leistungen können noch im Schwenkbetrieb beherrscht werden, für große Brükken und Zweibrückenbetriebe ist es dagegen zweckmäßig, den Parallelbetrieb zu wählen.

2.5 Umbau von Brückenverbänden

Die technologischen Einsatzbedingungen für Förderbrücken sind in der Regel nicht frei wählbar, sondern durch die örtlichen Bedingungen im gewissen Umfange festgelegt. Es wird also nicht möglich sein, die in den Untersuchungen erkannten idealen Verhältnisse in jedem Falle in der Praxis zu realisieren. Den entscheidenden Einfluß auf die Gestaltung des Aufschlusses und der Feldesentwicklung wird nach wie vor die Form der Lagerstätte haben. Man muß aber den jeweiligen Bedingungen entsprechend die optimale Technologie zur Anwendung bringen. Am Beispiel eines im Aufschluß befindlichen Tagebaues wurde erläutert, daß unter Berücksichtigung der dort vorhandenen Gegebenheiten eine Förderbrücke mit zweiseitiger Anordnung der Bagger gewählt wurde. Daraus ergeben sich zum Teil sehr ungünstige Betriebssituationen. Deshalb muß untersucht werden, unter welchen Bedingungen es wirtschaftlich vertretbar ist, die Förderbrücken

entsprechend den wechselnden technologischen Einsatzbedingungen auf die jeweils günstigste Bauweise umzustellen. Im einzelnen werden dabei drei prinzipielle Umbauten behandelt. Die notwendigen Angaben dazu wurden vom BFG Lauchhammer zur Verfügung gestellt.

1. Umsetzung eines 50 m langen Baggerquerförderers an einer 45-m-Brücke auf die andere Seite.
   Ein solcher Umbau wird notwendig, wenn eine Brücke mit zweiseitiger Anordnung der Gewinnungsgeräte mit entgegengesetztem Schwenksinn weiter betrieben werden soll. Dabei können alle Maschinenbauteile weiter verwendet werden, Neulieferungen sind nur im geringen Umfange notwendig. Die Kosten für eine solche Umsetzung betragen 350 TDM, der Zeitbedarf wird mit 5 Wochen angegeben.
2. Umbau einer 45-m-Förderbrücke von zweiseitiger auf einseitige Baggeranordnung. Hierbei können zwei Varianten unterschieden werden:
   a) Die vorhandenen Brückenquerförderer werden abgebaut und durch einen mit doppelter Leistung sowie einen zusätzlichen Baggerquerförderer ersetzt. Die Kosten für diesen Umbau betragen 5,7 Mio DM, die Umbauzeit ist 18 Wochen. Nachteilig ist eine Verringerung des Brückenauszugs um ± 0,5 m. Das ist bedingt durch die größeren Abmessungen des leistungsstärkeren Querförderers.
   b) Neben dem Anbau eines neuen Querförderers wird ein Umbau des baggerseitigen Endes der Hauptbrücke vorgenommen, um damit den Brückenauszug weiterhin in der gleichen Größe zu ermöglichen, wie es bei zweiseitiger Anordnung der Geräte der Fall war. Die Kosten betragen dann 7,1 Mio DM, die Zeitdauer für den Umbau ist 24 Wochen.
3. Umbau einer 34-m- Brücke von zweiseitiger auf einseitige Baggeranordnung.
   Hier sind ebenfalls die vorhandenen Brückenquerförderer abzuwerfen und durch einen neuen einschließlich des zugehörigen Baggerquerförderers

zu ersetzen. Die Kosten für diesen Umbau sind 2,6 Mio DM, die Zeitdauer ist 12 Wochen.

In der Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammengefaßt. Für die Ermittlung des Leistungsausfalles wurde dabei die notwendige Umbauzeit um vier Wochen verringert, da jährlich ohnehin eine Generalreparatur mit etwa diesem Zeitaufwand notwendig wird und der Umbau stets mit einer solchen verbunden sein wird. Die Leistungsausfälle wurden in Abhängigkeit von der Strossenlänge auf der Basis der bis zum Umbau vorhandenen Technologie ermittelt. Stellt man diesen Ausfällen die Produktionssteigerung durch die veränderte Baggertechnologie gegenüber, so kann man ermitteln, welche Betriebszeit der Förderbrücke nach dem Umbau notwendig wird, um die entgangene Abraumbewegung wieder aufzuholen. Erst nach Ablauf dieser Zeit tritt eine effektive Mehrleistung gegenüber einem Betriebszustand ohne Umbau ein.

Auf die gleiche Weise wurde über die Differenz in den spezifischen Abraumkosten die jährliche Verbesserung des Betriebsergebnisses errechnet, um daraus auf die notwendige Amortisationszeit schließen zu können. Wie aus der Tabelle hervorgeht, erfordern die einzelnen Umbauvarianten sehr unterschiedliche Zeiträume.

Am günstigsten und in fast allen Fällen zu empfehlen, ist die Umsetzung des Baggerquerförderers bei zweiseitiger Geräteanordnung. Der Leistungsausfall wird bei den üblichen Strossen in ein bis zwei Jahren aufgeholt; die Ergebnisverbesserung bringt in ca. zwei Jahren den Ausgleich für die aufgetretenen Kosten. Dieser Umbau lohnt sich also, auch wenn die Umstellung auf einen anderen Schwenksinn nur für wenige Jahre erfolgt. Er ist deshalb immer ein geeignetes Mittel, um auf einfachem Wege zu besseren ökonomischen Ergebnissen zu kommen.

Die Veränderung einer Brücke von zweiseitiger auf einseitige Anordnung der Geräte ist dagegen wesentlich aufwendiger, da hier neue Querförderer angeschafft werden müssen. Die Zeit für das Aufholen der

Tabelle 1o

Umbau von Förderbrücken

Umbauvariante	Umbaukosten (TDM)	Umbauzeit (Wochen)	Strossenlänge (m)	Leistungsausfall durch Umbau $1o^3 m^3$	Leistungserhöhung $Miom^3/a$	Aufholezeit für Leistungsausfall (a)	Ergebnisverbesserung Pf/m^3	Ergebnisverbesserung TDM/a
1. 45m-Brücke Umsetzung des 5om-Querförders	35o	5	1 000	565	1,1	o,5	1,6	435
			2 000	64o	o,6	1,1	o,7	216
			3 000	67o	o,4	1,7	o,5	16o
			4 000	685	o,3	2,3	o,3	99
			5 000	695	o,2	3,5	o,2	67
2a. 45m-Brücke Neubau der Querförderer für einseitige Baggeranordnung	5 7oo	18	1 000	7 9oo	4,2	1,9	5,1	1 6oo
			2 000	8 95o	2,4	3,7	2,5	83o
			3 000	9 38o	1,7	5,5	1,7	58o
			4 000	9.58o	1,1	8,7	1,1	37o
			5 000	9.73o	o,8	12,2	o,7	24o
2b. 45m-Brücke Neubau der Querförderer und Umbau des Brückenendes	7 1oo	24	1 000	11 7oo	4,2	2,8	5,1	1. 6oo
			2 000	12 8oo	2,4	5,3	2,5	83o
			3 000	13 4oo	1,7	7,9	1,7	58o
			4 000	13 7oo	1,1	12,5	1,1	37o
			5 000	13 9oo	o,8	17,4	o,7	24o
3. 34m-Brücke Neubau der Querförderer für einseitige Baggeranordnung	2 6oo	12	1 000	4 35o	1,7	2,6	2,5	65o
			2 000	4 55o	o,9	5,o	o,9	25o
			3 000	4 64o	o,6	7,7	o,6	17o
			4 000	4 66o	o,4	11,7	o,5	14o
			5 000	4 8oo	o,3	14,o	o,4	11o

Leistungsverluste ist ebenfalls wesentlich länger und beträgt bei der 45-m-Brücke und Umbau nach der Variante a je nach Strossenlänge 2 bis 12 Jahre. Die Umbauvariante b erfordert einen noch höheren Zeitraum, der im ungünstigsten Fall bis 18 Jahre anwachsen kann. Ein ähnliches Bild ergibt die Ermittlung der Amortisationsdauer, die ebenfalls 10 bis 20 Jahre Einsatzzeit nach dem Umbau erfordert. Diese Ergebnisse zeigen, daß eine solche Maßnahme nur beim Übergang in ein neues Baufeld mit einer ausreichenden Lebensdauer lohnend ist. Diese Verhältnisse werden nicht immer gegeben sein, so daß hier abzuwägen ist, ob die bessere Lösung nicht der Weiterbetrieb der Brücke mit zweiseitiger Baggeranordnung unter Inkaufnahme der schlechteren ökonomischen Ergebnisse ist. Ähnliche Relationen enstehen beim Umbau einer 34-m-Brücke von zweiseitiger auf einseitige Baggeranordnung.

Eine weitere Variante, die hier nicht untersucht wurde, muß aber noch erwähnt werden, und das ist die Umsetzung der Gewinnungsgeräte und Querförderer bei einer Förderbrücke mit einseitiger Anordnung auf die andere Seite der Brücke. Kosten und Zeitbedarf dafür sind nicht genau bekannt. Man kann aber ungefähr angeben, daß die Aufwendungen etwa das Doppelte bis Dreifache der Umbaukosten für die Umsetzung des 50-m-Baggerquerförderers betragen werden. Der Zeitbedarf wird nicht im gleichen Maße ansteigen, da die Arbeiten zum Teil parallel durchgeführt werden können. Dieser Umbau wird dann notwendig, wenn eine solche Förderbrücke in einem Kohlefeld zum Einsatz kommt, in dem der Drehpunkt nicht für die gesamte Lebensdauer der Brücke beibehalten werden kann. Diese Verhältnisse könnten ohne Umbau durch eine Brücke mit zweiseitiger Anordnung beherrscht werden. Die Ergebnisverbesserung und die Leistungsdifferenz entsprechen demnach den unter 2 a genannten Werten. Man kann ohne genauere Berechnung bereits feststellen, daß hierbei erhebliche ökonomische Vorteile auftre-

ten. Die Amortisationszeiten werden die für Variante 1 genannten Zeiträume nicht überschreiten, wahrscheinlich aber darunter liegen.
Zusammenfassend kann man feststellen, daß die günstigste Technologie bei Einsatz einer Brücke in einem Tagebau in jedem Fall mit einseitiger Anordnung der Gewinnungsgeräte erreicht wird und nur unter bestimmten Bedingungen, insbesondere dann, wenn zeitweise Parallelbetrieb durchgeführt werden muß, die zweiseitige Anordnung ihre Berechtigung hat. Letztere sollte aber weitestgehend vermieden werden. Zur Beherrschung der wechselnden Abbaubedingungen in den einzelnen Feldesteilen ist es vertretbar, auch bei Betriebsperioden, die nur wenige Jahre andauern, einen Umbau durchzuführen. Die Anschaffung eines Brückenverbandes mit zweiseitiger Anordnung und nachträglicher Umbau auf die einseitige Ausführung ist sehr aufwendig und dürfte nur in wenigen Fällen die bessere Lösung sein.

3.0 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Eine Analyse der Betriebsergebnisse zeigte, daß zwischen Förderbrücken und angeschlossenen Baggern mehr oder weniger große Unterschiede in der zeitlichen Auslastung bestehen. Ursache dafür ist die Anordnung der Gewinnungsgeräte. Der mögliche Mindestabstand bei der Arbeit am Strossenende, die Größe des Schwenkradius eines Baggers und technologische Faktoren bestimmen den Umfang der Massen, bei deren Gewinnung das drehpunktseitige Gerät außer Betrieb ist. Die Stillstandzeiten, die auf diese Ursachen zurückzuführen sind, können auf mathematischem Wege ermittelt werden, die dazu notwendigen Berechnungsmethoden wurden abgeleitet. Man erkennt, daß außer den am Strossenende wirksamen Faktoren auch die längere Strosse einen entscheidenden Einfluß hat, daß mit ihrer Zunahme der Anteil der Stillstände an der Betriebszeit der Brücke zurückgeht und damit die Leistungsfähigkeit steigt. Neben diesen analytisch zu erfassenden Ausfällen treten im Betriebsablauf noch weitere auf, die auf Störungen, Disproportionen in der Schnitteinteilung u.ä. zurückzuführen sind. Ein Vergleich der errechneten mittleren Zeitanteile mit den erreichten Ist-Werten, die als Kontinuitätsfaktoren bezeichnet wurden, ergab, daß die in der Literatur genannten Erfahrungswerte mit den wirklichen Verhältnissen annähernd übereinstimmen und für jeden zusätzlichen Bagger der errechnete mittlere Zeitanteil um 0,05 verringert werden muß. Anhand einiger Beispiele konnte nachgewiesen werden, daß sowohl die Bauweise als auch die gewählte Aufschluß- und Betriebstechnologie des Tagebaues erheblichen Einfluß auf die Leistung haben. Durch ungenügende Beachtung dieser Einflüsse können Leistungsausfälle entstehen, die für die heute vorhandenen Förderbrücken bis 8 Mm^3/a betragen können. Bei den geplanten 60-m-Brücken wird diese Größenordnung noch überschritten.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Kippenaufbau am Strossenende. Die aus der Literatur bekannten Berech-

nungsmethoden wurden einer kritischen Betrachtung unterzogen und ergänzt. Es konnte nachgewiesen werden, daß die Überhöhung der Kippen auf dem letzten Strossenabschnitt von konstruktiven und technologischen Faktoren beeinflußt wird.

Aus Betriebserfahrungen ist bekannt, daß die Strossenlänge für die Leistungsfähigkeit einer Förderbrücke von wesentlicher Bedeutung ist. Neben den erläuterten Ausfällen bei Strossenendbaggerung kann es zu Minderleistungen kommen, wenn der Verhieb aus bodenmechanischen Gründen beschränkt werden muß. Es konnte aber auch festgestellt werden, daß Verhiebsgeschwindigkeiten von mehr als 3 m/d organisatorisch nur noch schwer beherrscht werden können und deshalb vermieden werden sollten.

Die unterschiedlichen Ergebnisse in der Abraumbewegung mit typengleichen Förderbrücken haben naturgemäß auch Abweichungen in den Selbstkosten zur Folge. Die Untersuchung dieser Zusammenhänge ergab, daß für jede Förderbrücke bei einer bestimmten Strossenlänge ein Kostenminimum auftritt. Verlängerungen oder Verkürzungen verursachen stets eine Erhöhung des finanziellen Aufwandes.

Um Kostenminimum, Mindeststrossenlänge und lagerstättenbedingte Besonderheiten in Übereinstimmung zu bringen, ist es notwendig, bei wechselnden Einsatzbedingungen den Brückenverband durch Umbau entsprechend anzupassen. An vier Beispielen wurde der Nutzen einer solchen Maßnahme dargelegt.

Für die Planung und den Betrieb von Förderbrückenbetrieben müssen eine Reihe von Gesichtspunkten beachtet werden, um ein Maximum an Ergebnissen zu erreichen. Zusammengefaßt sind es folgende:

1. Die Konstruktion eines Brückenverbandes muß so erfolgen, daß das Kostenminimum bei einer Strossenlänge von 2000 bis 3000 m erreicht wird. Das ist die Länge, die in der Praxis am häufigsten auftritt und die für Tagebaue mit großen Förderleistungen auch technologisch notwendig ist. Dazu ist erforderlich,

die Geräte auf einer Seite der Brücke anzubauen, um so den Umfang der Massen für Strossenendbaggerung gering zu halten. Für die 60-m-Förderbrücke ist die konstruktive Lösung des erläuterten Vorschlages über die Ausbildung der baggerseitigen Förderanlagen herbeizuführen.

2. Die Projektierung von Tagebauen muß so erfolgen, daß mittlere Brückenbetriebe im Schwenkbetrieb und Großbetriebe im Parallelbetrieb arbeiten. Damit wird erreicht, daß die technologisch notwendige Mindeststrossenlänge mit dem Kostenminimum in Übereinstimmung gebracht wird. Zur Bewältigung der zum Teil schwierigen Feldesformen ist eine Aufgliederung in Teilfelder so vorzunehmen, daß Förderbrücken mit einseitigem Baggeranschluß zum Einsatz kommen können und in möglichst großen Zeitabständen Umbauten vorgenommen werden. Die einseitige Bauweise mit langen Querförderern hat auch den Vorteil, daß aus einer kurzen Aufschlußfigur heraus eine schnelle Verlängerung bis zum Erreichen des Optimalwertes durchgeführt werden kann.
3. Die Organisation in Förderbrückenbetrieben muß darauf gerichtet sein, die Verlustzeiten auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu ist auf der Drehpunktseite die Dreieckform der Rückfläche einzuhalten, um Einbaggerbetrieb in diesem Bereich zu vermeiden. Am Strossenende muß bei frei beweglichen Geräten der Mindestabstand konsequent eingehalten werden. Der Einsatz in den verschiedenen Schnitten ist so festzulegen, daß die wirksame Länge für Strossenendbaggerung kleiner als der minimale Baggerabstand wird. Bei schmalen Bermenbreiten sollte das Gerät am Strossenende in dem Schnitt arbeiten, in dem die höhere effektive Leistung erreicht werden kann, da dann die Kippenüberhöhung reduziert wird.

Die genannten Faktoren sind entscheidend für eine weitgehend kontinuierliche Auslastung von Abraumförderbrücken. Durch Realisierung der optimalen Variante in einem Tagebaubetrieb ist es möglich, ohne jeden Mehr-

aufwand höhere Leistungen in den Abraumbetrieben zu erzielen als in der Vergangenheit und Gegenwart in verschiedenen Betrieben erreicht werden konnten. Es ist auch möglich, die Kapazität von Förderbrückenverbänden exakter als bisher vorauszuberechnen. Damit können bessere Voraussetzungen für eine Perspektivplanung geschaffen und Fehlplanungen vermieden werden. Schließlich wird es auch gelingen, den Forderungen der Volkswirtschaft besser gerecht zu werden, die von der Kohleindustrie eine Steigerung der Energiedarbietung mit einem minimalen Aufwand an Investitions- und Betriebsmitteln verlangt.

Literaturverzeichnis

[1] Fleischer: Entwicklung einer Einheitsförderbrücke für Niederlausitzer Tagebaue unter maßgebenden bergmännischen Gesichtspunkten (Bergbautechnik 6/1954)

[2] Bernstein: Die Wirtschaftlichkeit von Zweibrückenbetrieben (Dissertation)

[3] Bialecki: Zwei Jahre Betriebserfahrungen mit einer 34-m-Einheitsförderbrücke (Bergbautechnik 12/1961)

[4] Härtig/Ciesielski: Berechnungsgrundlagen für den Braunkohlentagebau

[5] FKB Kohle: Unveröffentlichte Arbeitsunterlagen über technologische Untersuchung der 60-m-Förderbrücke

[6] Krause/Hannusch: Über die Massenzusammendrängung an den Strossenenden von Förderbrückenkippen (Bergbautechnik 12/1963)

[7] Ballmann: Wirtschaftlichkeit des Massentransports bei Zug-und Bandförderung im Abraumbetrieb der Braunkohlentagebaue (Freib.Forschungsheft A 240)

Alphabetisches Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen

a	= Rückbreite im Schwenkbetrieb im Abstand l_2 vom Drehpunkt	m
F	= Rückfläche	m^2
f	= Auftretender Fehler durch Näherungsrechnung	
C	= Summe der Einflußfaktoren für Strossenendbaggerung	
H_N	= Normalhöhe der Kippe	m
H_{ges}	= Gesamtkippenhöhe einschließlich Massenüberdeckung	m
L	= Strossenlänge	m
$l_{1,2}$	= Wirksame Länge für Strossenendbaggerung	m
$l_{o1,2}$	= Wirksame Länge für Strossenendbaggerung auf dem oberen Planum	m
$l_{u1,2}$	= Wirksame Länge für Strossenendbaggerung auf dem unteren Planum	m
M	= Gesamte Abraummächtigkeit	m
M_h	= Mächtigkeit des Hochschnittes	m
M_o	= Mächtigkeit des oberen Abraumschnittes	m
M_u	= Mächtigkeit der unteren Abraumschnitte	m
n	= Anzahl der angeschlossenen Bagger	
$p_{1,2}$	= Anteil eines Baggers an der Leistung in den durch ihn erreichbaren Schnitten	
$Q_{1,2}$	= Effektive Leistung der einzelnen Geräte	m^3/h
Q_{ges}	= Effektive Leistung des Brückenverbandes bei Vollbetrieb	m^3/h
$q_{1,2}$	= Leistungsanteile der Geräte an der Gesamtleistung	
R	= Rückbreite	m

R_s	= Effektive Rückbreite im Sichelschnitt	m
r	= Schwenkradius des Baggers	m
r_{os}	= Schwenkradius des Baggers im oberen Schnitt	m
r_{us}	= Schwenkradius des Baggers im unteren Schnitt	m
T	= Trapezfaktor	
$t_{1,2}$	= Betriebszeit eines Baggers	h
t'	= Mittlerer Zeitanteil der Geräte an der Betriebszeit der Brücke	
t_q'	= Mittlerer Leistungsanteil der Geräte an der vollen effektiven Leistung der Brücke	
t_{ob}	= Betriebszeit der oberen Bagger	h
t_{ub}	= Betriebszeit der unteren Bagger	h
V	= Gesamtmassen einer Rückperiode	m^3
V_e	= Gesamtmassen für Einbaggerbetrieb	m^3
V_s	= Masseninhalt des Sichelschnittes	m^3
$V_{f1,2}$	= Masseninhalt des letzten Strossenabschnittes	m^3
$V_{e1,2}$	= Massen für Einbaggerbetrieb an einem Strossenende (für Brücke Kleinleipisch)	m^3
V_h	= Massen für Hochschnitt	m^3
V_{hf}	= Massen für Hochschnitt im Frontbetrieb	m^3
V_t	= Massen für Tiefschnitt	m^3
V_{et}	= Massen für Einbaggerbetrieb im Tiefschnitt (für 60 m-Brücke mit drei Bg.)	m^3
V_o	= Massen des oberen Schnittes	m^3
V_{of}	= Massen des oberen Schnittes, die im Frontbetrieb zu gewinnen sind	m^3
V_{os}	= Massen des oberen Sichelschnittes	m^3
V_u	= Massen der unteren Schnitte	m^3
V_{ue}	= Massen der unteren Schnitte für Strossensandbaggerung	m^3

V_{uef}	= Massen der unteren Schnitte für Strossenendbaggerung, die im Frontbetrieb zu gewinnen sind	m^3
V_{us}	= Massen des unteren Sichelschnittes (für 60 m-Brücke mit vier Bg.)	m^3
$V_{oe1,2}$	= Massen für Strossenendbaggerung an einem Strossenende im oberen Schnitt	m^3
$V_{ue1,2}$	= Massen für Strossenendbaggerung an einem Strossenende im unteren Schnitt	m^3
$V_{oe1,2f}$	= Massen für Strossenendbaggerung im Frontbetrieb im oberen Schnitt	m^3
$V_{ue1,2f}$	= Massen für Strossenendbaggerung im Frontbetrieb im unteren Schnitt	m^3
$V_{os1,2}$	= Sichelschnittmassen an einem Strossenende im oberen Schnitt	m^3
$V_{us1,2}$	= Sichelschnittmassen an einem Strossenende im unteren Schnitt	m^3
v	= Strossenverlängerung pro Rückbreite	m
w	= Faktor für Einfluß des Strossenendwinkels	
	= Strossenendwinkel	°
	= Zeitliche Auslastung	%
	= Baggereffekt	
	= Kontinuitätsfaktor	