



Baumaschinen und Verfahrenstechnik:

Leistungsberechnung von Baumaschinen





Reinhold Rauh

**Baumaschinen und Verfahrenstechnik:
Leistungsberechnung von Baumaschinen**

ISSN 1616-6329

© 2002 by Prof. Dr.-Ing. R. Rauh
Nachdruck oder Kopie – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des
Verfassers.

2. Auflage

Universität Siegen
Prof. Dr.-Ing. R. Rauh
Paul Bonatz Str. 9 - 11
57068 Siegen - Weidenau





Inhaltsverzeichnis

1	Einführung - Grundlagen	1
1.1	Parameter der Geräteleistung	2
1.1.1	Boden: Füllung und Auflockerung	4
1.2	Grundbeziehungen	6
1.3	Arbeitskette	7
2	Leistungsberechnung für Bagger	9
2.1	Parameter der Geräteleistung	9
2.2	Berechnung	12
3	Leistungsberechnung für Verdichtungsgeräte	13
3.1	Parameter der Geräteleistung	13
3.2	Berechnung	14
4	Leistungsberechnung für Transportfahrzeuge	15
4.1	Parameter der Geräteleistung	15
4.2	Fahrzeitermittlung	16
4.3	Berechnung	20
5	Näherungswerte	23

**Literaturnachweise:**

1. **Bauer, H.; 1994**
Baubetrieb 1
Springer Verlag, Berlin
ISBN 3-540-56707-0
2. **Caterpillar; 1998**
Caterpillar Performance Handbook
Vertrieb: Zeppelin Baumaschinen GmbH, Garching
3. **Drees, G./ Schütz, U.; 1993**
Baumaschinen und Bauverfahren
Expert Verlag, Ehningen
ISBN 3-8169-0666-4
4. **Bundesausschuss Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau; 1988**
Daten für die Berechnung von Baumaschinenleistungen
ZTV-Verlag, Dreieich
5. **Hoffmann / Kremer; 1999**
Zahlentafeln für den Baubetrieb
B.G. Teubner, Stuttgart; 5. Auflage
ISBN 3-519-45220-0
6. **Hüster, F.; 1997**
Leistungsberechnung für Baumaschinen
Werner Verlag, Düsseldorf
3. Auflage
ISBN 3-8041-2072-5
7. **Kühn, G.; 1984**
Der maschinelle Erdbau
B.G. Teubner, Stuttgart
ISBN 3-519-05233-4
8. **Liebherr Intern. AG; 1992**
Technisches Handbuch Erdbewegung
Firmenverlag
9. **Zeppelin GmbH; 1999**
Zeppelin Katalog 2000
Firmenverlag



1 Einführung - Grundlagen

Leistungsberechnungen werden bei größeren Bauaufgaben für maschinenintensive Arbeiten durchgeführt. Die Ergebnisse der Leistungsberechnung benötigt man für die Ermittlung der Baukosten, die Bauzeit- und die Kapazitätsplanung.

Definition: Maschinenintensive Arbeiten sind Arbeiten, deren Produktivität durch die Erhöhung der Personalkapazität nicht oder nur unwesentlich verbessert werden kann.

Leistungsberechnungen werden grundsätzlich nur für „Eigenleistungen“ (Gegenteil von Fremdleistungen), also von dem die Geräteleistung ausführenden Betrieb erstellt. Beispielsweise berechnet ein Tiefbauunternehmen die Maschinenleistung eines Baggers im Rahmen der Kalkulation von Aushubarbeiten, die ein Hauptunternehmer angefragt hat. In den Kernbereichen des Hoch- und Ingenieurbaus werden meist keine Leistungsberechnungen durchgeführt, da es sich weitgehend um manuell bestimmte Vorgänge handelt. Als Ausnahme ist die Planung der Baustelleneinrichtung anzusehen, da hier zur Krandimensionierung (Krangröße und -zahl) eine Leistungsberechnung erforderlich ist, wenn diese nicht aus Erfahrung vorgenommen werden kann. Ansonsten werden maschinenintensive Teilleistungen im Hochbau Nachunternehmern bzw. spezialisierten Unternehmen überlassen. Die für die Arbeitsplanung erforderlichen Angaben der Fremdleistungen müssen vom Hauptunternehmer bei den Nachunternehmern im Rahmen der Anfrage / Ausschreibung abgefragt und bewertet werden.

Leistungsberechnungen werden meist nur für Leistungsgeräte (Gegenbegriff zu Vorhaltegeräten) durchgeführt. Durch diese werden bestimmte, genau abgrenzbare Teilleistungen ausgeführt (Abgrenzbarkeit der Leistung als Voraussetzung zur Ermittlung einer Maschinenleistung).

Als Ergebnis der Leistungsberechnung stehen Leistungsdaten in der Dimensionsform [m^3/h], [St/h] o.ä. zur Verfügung. Hiermit können die Kosten der Geräte auf die Bauleistung (z.B.: m^3 -Bodenaushub) umgerechnet werden.

Die Leistungsermittlung der Geräte stellt kein analytisches Verfahren dar. Vielmehr werden aus systematischen empirischen Untersuchungen (Gerätstudien) gewonnene Leistungsdaten in tabellarischer oder graphischer Weise ausgewertet.

Die Parameter der Geräteleistung müssen hierfür bekannt und voneinander unabhängig erfassbar sein.

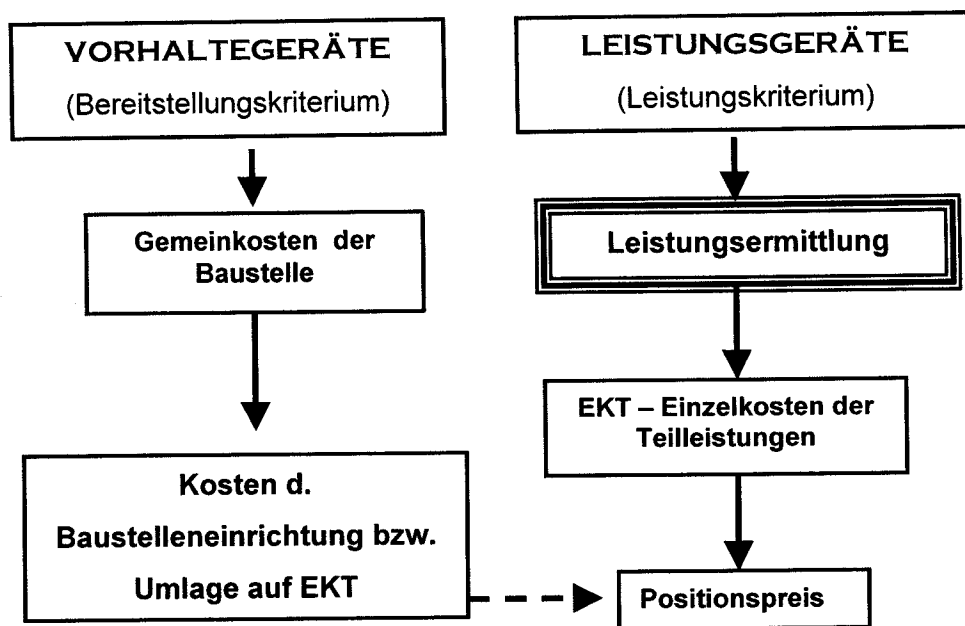


Abbildung 1-1 Vorhaltegeräte - Leistungsgeräte

Die für die Leistungsberechnung wichtigen Definitionen sind DIN ISO 9245 „Erdbaumaschinen, Leistung der Maschinen“ zu entnehmen.

Da diese Norm nur für Erdbaumaschinen gilt, werden zur Vermeidung von Widersprüchlichkeiten mit Baumaschinen anderer Bausparten die Definitionen von **Hüster, F.; 1997** benutzt.

Im Rahmen der Vorlesungen werden nur die Grundlagen der Leistungsberechnung am Beispiel ausgewählter Gerätegruppen behandelt. Es wird von den Studenten erwartet, dass sie sich mit Hilfe der Literatur von **Hüster, F.; 1997** durch selbstständiges Studium die Fertigkeit aneignen, die Leistung der weiteren Gerätetypen berechnen zu können.

1.1 Parameter der Geräteleistung

Einige leistungsbeeinflussende Faktoren werden in der folgenden Aufstellung angegeben:

Maschineneinflüsse:

- Gerätegröße / Einsatzgewicht
- Werkzeuge
- Gerätezustand

Bedienungspersonal:

- Erfahrung
- Motivation
- Leistungsfähigkeit



Zu bearbeitendes Material:

- Art
- Ausprägung

Einsatzbedingungen auf der Baustelle:

- beengte Verhältnisse
- geforderte Arbeitsgenauigkeit

Betriebsorganisation auf der Baustelle:

- Arbeitsketten
- Wartungseinrichtungen

Witterungseinflüsse:

- Regen / Frost

Auf statistischer Grundlage wurde der Einfluss unabhängiger Parameter auf die Maschinenleistung ermittelt. Die Ergebnisse der Leistungsaufnahmen liegen dann beispielsweise in der folgenden Form vor.

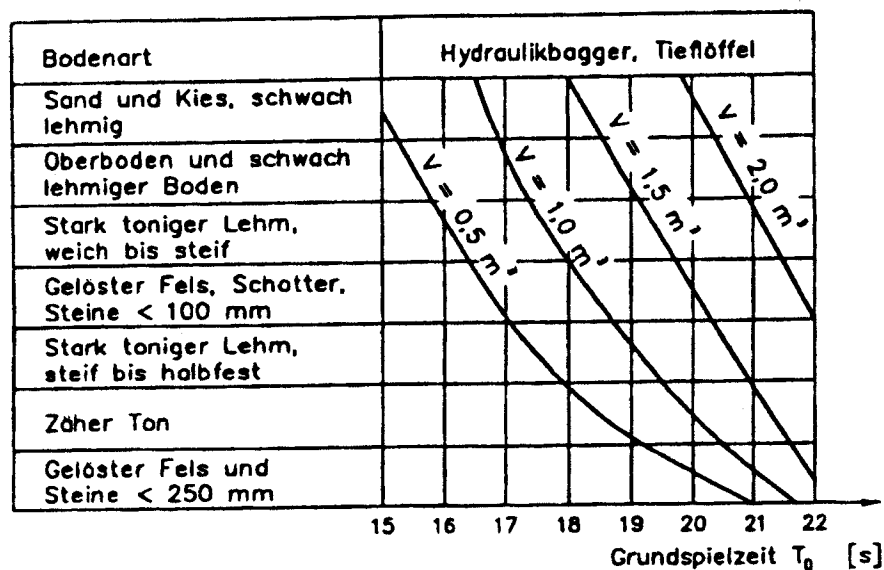


Abbildung 1-2 Grundspielzeit eines Hydraulikbaggers mit Tieföffelausrüstung

[F. Hüster, 1997, S. 42]

Soweit Leistungsfaktoren nicht durch Untersuchungen bekannt sind – jedoch wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis nehmen – müssen diese auf Grund persönlicher Erfahrungen durch sinnvolle Schätzung berücksichtigt werden.



1.1.1 Boden: Füllung und Auflockerung

Das zu bewegendes Bodenvolumen wird durch die Auflockerung vergrößert. Auch eine gegenüber dem Verhältnis 1:2. vergrößerte Häufung beeinflusst die Leistung.

Die genannten Einflussparameter werden durch den Auflockerungsfaktor f_A und den Füllungsfaktor f_F berücksichtigt. Größe und Abhängigkeit mit Hilfe der folgenden Abbildungen zu ermitteln.

Bodenklasse nach DIN 18300 Bodenarten nach DIN 18196	Hydr.- bagger	Seilbagger			Radlader			Pla- nier- raupe	Scraper	Transport- fahrzeuge		
		trok- ken	erd- feucht ⁵⁾	naß	trok- ken	erd- feucht ⁵⁾	naß			trok- ken	erd- feucht ⁵⁾	naß
1 Oberboden (Mutterboden)	1,20	1,00	1,10	1,07	0,90	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,10	1,10
3 Leicht lösbare Bodenarten												
Sand, Kiessand (nicht bindig)	1,13	0,90	1,05	1,18	0,73	0,86	0,86	1,00	0,85 bis 0,95	0,92	1,08	1,10
Kies, Schotter (nicht bindig)	1,13	0,90	0,90	0,90	0,77	0,87	0,87	1,00	—	0,95	1,05	1,03
Sand, Kies (schwach bindig)	1,13	0,97	1,05	1,15	0,91	0,97	0,95	1,00	0,85 bis 0,95	0,98	1,12	1,10
Torf, Mudden (schnittfest)	—	1,15	1,05	0,85	—	—	—	—	—	—	—	—
4 Mittelschwer lösbare Bodenarten												
Sand-Kies-Gemisch (bindig) mit kleinen Steinen ¹⁾	1,20	0,86	1,05	1,24	0,90	0,98	1,02	0,95	1,20 bis 1,40	1,02	1,12	1,10
Mergel, Schutt, lehm- und ton- haltige Böden mit kleinen Steinen ¹⁾	1,20	—	0,82	0,78	—	0,93	0,99	0,95	1,20 bis 1,40	—	1,08	1,05
5 Schwer lösbare Bodenarten												
Gesteinsschotter, Geröll ²⁾	1,15	0,78	0,78	0,78	0,87	0,87	—	0,85	—	0,89	1,00	1,00
fest zusammen- hängende Böden mit Geröll und großen Steinen ³⁾	1,15	0,55	0,55	0,55	—	0,89	0,89	0,85	1,15 bis 1,25	1,00	1,05	1,02
6 Leicht lösbarer Fels und ver- gleichbare Bodenarten												
Gesprengrter oder gerissener feinstückiger Fels ⁴⁾	0,95	0,55	0,55	0,55	0,80	0,80	0,80	0,80	—	1,00	1,06	1,06
grobstückiger Fels ⁴⁾	0,92	—	—	—	0,72	0,72	0,72	0,60	—	0,95	0,95	0,95

¹⁾ höchstens 30 Gew.% Steine bis 0,01 m³ nach DIN 18300

²⁾ mehr als 30 Gew.% Steine bis 0,01 m³ nach DIN 18300

³⁾ höchstens 30 Gew.% Steine zwischen 0,01 und 0,1 m³ nach DIN 18300

⁴⁾ Steine mit mehr als 0,1 m³ nach DIN 18300 (0,01 m³ entspricht etwa 25 cm, 0,1 m³ ca. 50 cm Kantenlänge)

⁵⁾ Feuchtigkeit: trocken = 0 bis 5%, erdfeucht = 5 bis 10%, naß = 10 bis 15%

Abbildung 1-3 Füllungsfaktor f_F [Hoffmann / Kremer; 1999; S. 500]



Bodenklasse nach DIN 18300 Klassifizierung nach Lösbarkeit (in Klammern Beispiele)	Lagerung	Lagerungs- dichte ρ in t/m ³	Auf- lockerungs- faktor f_s
1 Oberboden (Mutterboden) Oberste Schicht des Bodens, die neben anorganischen Stoffen, z.B. Kies-, Sand-, Schluff- und Tongemischen, auch Humus und Bodenlebewesen enthält. (Oberboden wird wegen der besonderen Behandlung getrennt aufgeführt)	locker	0,95	1,00
	mitteldicht	1,13	1,19
	dicht	1,37	1,45
2 Fließende Bodenarten Bodenarten, die von flüssiger bis breiiger Beschaffenheit sind und die das Wasser schwer abgeben.	– keine Angaben möglich –		
3 Leicht lösbare Bodenarten Nichtbindige bis schwachbindige Sande, Kiese und Sand-Kies-Gemische mit bis zu 15% Beimengungen an Schluff und Ton (Korngröße kleiner als 0,06 mm) und mit höchstens 30% Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt*) (z.B. Grobkies, Geröll, Gesteinsschotter) Organische Bodenarten mit geringem Wassergehalt (z.B. feste Torfe, Schluffe und Tone mit organischen Beimengungen, Mudden, weich, schnittfest wie z.B. Seekreide, Kleie, Faulschlamm)	locker	1,51	1,00
	mitteldicht	1,72	1,14
	dicht	1,86	1,23
	locker	0,95	1,00
	mitteldicht	1,13	1,19
	dicht	1,37	1,45
4 Mittelschwer lösbare Bodenarten Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit mehr als 15% der Korngröße kleiner als 0,06 mm (wie z.B. Auelehm, Geschiebelehm, Geschiebemergel mit <30 Gew.% Steinen 63/100 mm \varnothing) Bindige Bodenarten von leichter bis mittlerer Plastizität, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind und die höchstens 30% Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt*) enthalten (z.B. Hochflutlehm, Seeton, Geschiebemergel, Bänderton, Lößlehm, Keupermergel)	locker	1,34	1,00
	mitteldicht	1,70	1,27
	dicht	1,92	1,43
	locker	1,47	1,00
	mitteldicht	1,75	1,19
	dicht	1,84	1,25
5 Schwer lösbare Bodenarten Bodenarten nach den Klassen 3 und 4, jedoch mit mehr als 30% Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt*) und nichtbindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30% Steinen von über 0,01 m ³ bis 0,1 m ³ Rauminhalt*) (z.B. Moränegesteine, Felsgerölle) Ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind (z.B. steife und zähe Schluffe und Tone)	locker	1,45	1,00
	mitteldicht	1,73	1,19
	dicht	2,11	1,45
	locker mitteldicht dicht	1,66 1,87 2,02	1,00 1,12 1,22
6 Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare feste oder verfestigte bindige oder nichtbindige Bodenarten (z.B. durch Austrocknung, Gefrieren, chemische Bindungen) (z.B. Tone sehr hoher Trockenfestigkeit, stark mit Steinen durchsetzt) Nichtbindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30% Steinen von über 0,01 m ³ bis 0,1 m ³ Rauminhalt*) (z.B. gesprengter oder gerissener Fels)	locker	1,55	1,00
	dicht	2,60	1,67
	locker	1,70	1,00
	dicht	2,26	1,33
7 Schwer lösbarer Fels Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügestärke haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind und festgelagerter, unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhachichten, Schlackenhalde der Hüttenwerke und dgl. Steine von über 0,1 m ³ Rauminhalt*).		$\geq 2,26$	1,33 bis 2,00

*) 0,01 m³ Rauminhalt entspricht einer Kugel mit ca. 30 cm Durchmesser,
0,1 m³ Rauminhalt entspricht einer Kugel mit ca. 60 cm Durchmesser

Abbildung 1-4 ReAuflockerungsfaktor $f_A = 1 / f_s$ [Hoffmann / Kremer; 1999; S. 498]



Das für die Leistungsberechnung maßgebende Volumen (festes Volumen oder bewegtes Volumen) ergibt sich aus den Abrechnungsregeln (vgl. DIN 18300 bzw. Bauvertrag). I.d.R. ist vom Boden in vorhandener Lagerungsdichte (vor Aushub bzw. nach Einbau: fm^3) auszugehen.

1.2 Grundbeziehungen

Nach DIN ISO 9245 - und der früheren DIN 24095 - unterscheidet man folgende Leistungsbegriffe:

Grundleistung	Q_o	kurzzeitig erreichbare Leistung ohne leistungsmindernde Einflüsse
Nutzleistung	Q_N	dauerhafte Durchschnittsleistung

Sofern nicht besondere Bedingungen vorliegen, wird die Nutzleistung geringer sein als die Grundleistung. Über einen Korrekturfaktor (Nutzleistungsfaktor) $f < 1$ muss sich die Nutzleistung also aus der Grundleistung in der folgenden Form entwickeln lassen.

$$Q_N = Q_o * f \quad \text{F-1}$$

Wir nehmen an, dass der Korrekturfaktor f wiederum in die Anteile der einzelnen Einflussparameter der Maschinenleistung gesplittet werden kann:

$$f = f_1 * f_2 * \dots * f_n \quad \text{F-2}$$

Die Einflussfaktoren sind multiplikativ verknüpft. Deswegen wird diese Form der Ermittlung der Nutzleistung aus der Grundleistung Multiplikationsverfahren genannt.

Die Beziehung F-2 setzt voraus, dass alle Faktoren f_i gleichzeitig auftreten können. Bei Leistungsminderungen, die auf Veränderungen der zur Verfügung stehenden Leistungszeit beruhen, ist dies jedoch nicht der Fall.

Hier muss die Nutzleistung aus einer Beziehung folgenden Form ermittelt werden:

$$Q_n = Q_o * [1 \pm f'_1 \pm f'_2 \pm \dots \pm f'_n] \quad \text{F 3}$$

mit

$$f'_i = \frac{t_i}{60} \quad \text{F 4}$$



Wegen der additiven Form der Beziehung F 3 bezeichnet man dieses Verfahren als Additionsverfahren. Hiermit werden Zeitfaktoren beschrieben.

Für die Wahl des Berechnungsverfahrens ist zu beachten:

- Zufallsbedingte – stochastische - und auch ggfls. gleichzeitige (überlappende) Einflussfaktoren der Maschinenleistung werden durch das Multiplikationsverfahren berücksichtigt.
- Nacheinander auftretende – deterministische - Einflussfaktoren werden durch das Additionsverfahren berücksichtigt.
- Ist die Leistung von stochastischen und deterministischen Einflussfaktoren abhängig, so werden jeweils deterministische und stochastische Faktoren zu einem Faktor zusammengefasst und dann multiplikativ verknüpft.

$$Q_n = Q_0 * \left[(1 \pm f_1' \pm f_2' \pm \dots \pm f_n') * (f_1 * f_2 * \dots * f_n) \right] \quad \text{F-5}$$

Bei der Leistungsberechnung unterscheidet man zyklisch und kontinuierlich arbeitende Maschinen. Erstere Gruppe ist bei den instationären Baubetriebe sehr häufig. Gegenüber den stationären Anlagen sind hier zahlreiche vom Menschen und der Maschine abhängige Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

1.3 Arbeitskette

Baugeräte arbeiten meist innerhalb einer s.g. Arbeitskette. Die Leistung der Geräte ist also voneinander abhängig. Es gilt hierzu die selbstverständliche Regel, dass das leistungsschwächste "Glied" (Gerät) die Leistung der Arbeitskette und damit aller übrigen Geräte bestimmt.

Diese Regel ist bei Arbeitskettten ohne Leistungspuffer stets zutreffend.

Die Gestaltung von Arbeitskettten stellt ein Optimierungsproblem dar. Dieses kann man mit Hilfe des Operation Research bzw. der Nichtlinearen Programmierung lösen.

Es ist aber zu bedenken, dass die Beschreibung der Leistungsfaktoren und Abhängigkeiten in einem Gleichungssystem der Nichtlinearen Programmierung nur ein theoretisches Verfahren darstellt. In der Praxis wird sich meist ein "scheinbares Optimum" der Arbeitskette dadurch einstellen, dass die Geräteführer die Leistung des eigenen Gerätes den Gegebenheiten der Arbeitskette anpassen. Ein Baggerführer wird seine Aushubleistung



beispielsweise reduzieren, wenn sich eine ungenügende Anzahl von LKW's in Umlauf befindet.

Bei der Berechnung von Arbeitsketten orientiert man sich zweckmäßigerweise an dem folgenden Schema.

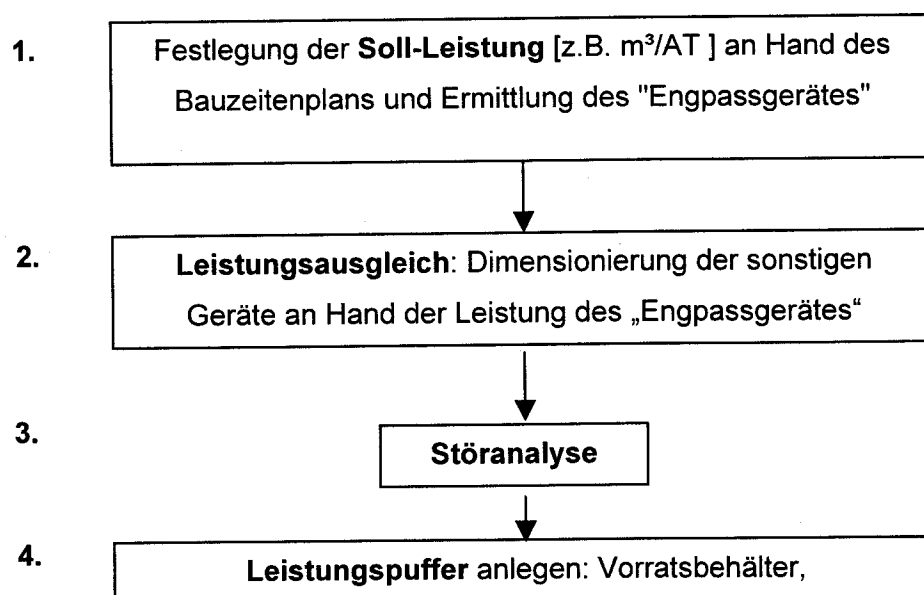


Abbildung 1-5 Dimensionierung von Arbeitsketten

Unter einem „Engpassgerät“ wird das Gerät verstanden, das sich durch eine relativ geringe Geräteleistung – im Verhältnis zu den anderen eingesetzten Gerätegruppen - und gleichzeitig zahlenmäßig beschränkter Verfügbarkeit auszeichnet.



2 Leistungsberechnung für Bagger

2.1 Parameter der Geräteleistung

Die Einflussfaktoren der Parameter der Geräteleistung sind den Veröffentlichungen von Hüster bzw. Hoffmann/ Kremer entnommen.

2.1.1 Grabgefäß

Das Leistungsvermögen Q eines Baggers hängt wesentlich von der Größe des Grabgefäßes ab (Schätzwert: $Q = 100 \times V_{\text{Grabgefäß}}$). Dieses bestimmt die Zyklusmenge, die je Arbeitstakt bewegt wird.

Der **Nenninhalt** (V_N od. V_R) der Grabgefäße wird über das „gestrichene Füllmaß“ (\approx Wasserfüllung) zzgl. einer Häufung im Verhältnis 1:2 ermittelt. BGL-Werte des Werkzeuginhalts sind Nennmaße. Der Nenninhalt des Grabgefäßes ist ein theoretischer Wert. Hierbei handelt es sich um „feste Massen“ [fm^3]. Tatsächlich ist aber über den Auflockerungsfaktor zu berücksichtigen, dass auf Baustellen stets aufgelockerte Böden bewegt werden.

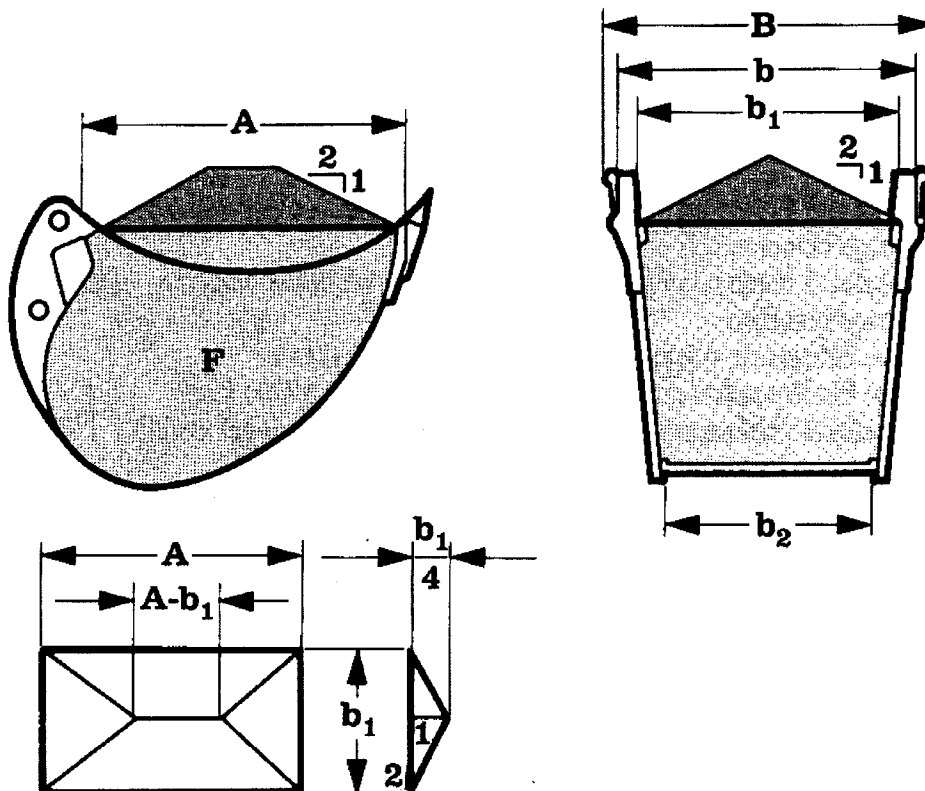


Abbildung 2-1 Grabgefäßinhalt [Liebherr Intern. AG; 1992; S. 141]



2.1.2 Schwenkwinkel: f_1

Die normale Grundspielzeit geht von einem Schwenkwinkel von 90° aus. Bei Abweichungen gelten folgende Zuschläge:

Schwenkwinkel [°]	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
f_1 [/]	1,12	1,08	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88

Abbildung 2-2 Einfluss des Schwenkwinkels auf die Spielzeit

2.1.3 Abgrabtiefe / Auslegerlänge: f_2

Die für ein Gerät günstige Grabtiefe kann an Hand des Volumens des Grabgefäßes bestimmt werden. Ein Verhältnis von (1 bis 2) * V_R wird als günstig angesehen. Für diese Verhältnisse beträgt der Einflussfaktor $f_2 = 1,0$.

Grabtiefe [m]	1	2	3	4	5
Bodenklasse 3-4	1	0,93	0,87	0,84	0,82
Bodenklasse 5-5	1	0,95	0,91	0,87	0,85

Abbildung 2-3 Einfluss der Abgrabtiefe bei verschiedenen Bodenklassen nach DIN 18300

2.1.4 Entleerungsbedingungen: f_3

Bisher wurde freies Abkippen vorausgesetzt ($f_3 = 1,0$). Bei Entleeren auf Muldenkipper oder LKW wird der Zeitbedarf größer. Handelt es sich zusätzlich um bindigen Boden, der im Grabgefäß haftet, so kann durch Anschlagen an die Stahlmulde der Boden gelöst werden. Bei LKW ist diese Möglichkeit nicht gegeben und der Zeitaufwand für die Entleerung kann stark zunehmen.

$V_{(Transport)} / V_{(Grab)}$	2	3	4	5	6	>6
f_3 [/]	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,83

Abbildung 2-4 Einfluss der Entleerungsbedingungen auf die Spielzeit



2.1.5 Einsatzbedingungen: f_4

behinderungsfreies Arbeiten						$f_4 = 1,00$
Aushub mit häufigem Umsetzen des Gerätes						$f_4 = 0,73$
Grabenaushub, unverbauter Graben						$f_4 = 0,90$
Grabenaushub, verbauter Graben (ohne Verbauarbeiten)						f_4 :
Grabentiefe in m	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
Boden kurzfristig standfest	0,55	0,51	0,49	0,46	0,44	
Boden nicht standfest	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	

Abbildung 2-5 Einfluss der Einsatzart auf die Spielzeit: ($f_4 = 1 - t_4 / 60$)
 [Hoffmann / Kremer; 1999, S. 504]

2.1.6 Motoreneignung: f_M

Ist die Maschine optimal für eine Arbeitsaufgabe geeignet, beträgt $t_M = 0$ Min/h. Man nimmt dies etwa bei einem Verhältnis der Motorleistung von ca. 65 – 75 KW je m³ Grabgefäßgröße an. Abweichungen von bis zu + 30 % können noch toleriert werden, verkürzen aber die Grundspielzeit um etwa 3 sec.

Untermotorisierungen oder Übermotorisierungen über 30 % sollten durch eine geänderte Gerätewahl oder Werkzeugausstattung vermieden werden.

Wird die Spielzeit nicht durch die Motorleistung, sondern durch eine nicht optimal auf die Bauaufgabe abgestimmte Arbeitsweise des Gerätes verändert, sind Erfahrungs- oder Schätzwerte zu benutzen.

2.1.7 Personalbedingter Faktor: f_P

Der Einfluss des Geräteführers auf die Spielzeit ist sehr wesentlich. Erfahrung und Motivation bedingen hier „normale“ Unterschiede bis 30 %. Von Liebherr werden folgende Werte (ohne Motivationseinfluss) angegeben:

Vorführer	110 %	$f_P = 1,1$
Guter Fahrer:	100 %	$f_P = 1$
Ungeübter Fahrer:	80 – 90 %	$f_P = 0,85$

Diese Werte sind nicht unabhängig vom Schwierigkeitsgrad der auszuführenden Arbeiten. Man kann davon ausgehen, dass sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrern bei einfachen Arbeiten um 50 % reduzieren und bei komplizierten Arbeiten um 50 % erhöhen.



2.2 Berechnung: Grundbeziehungen

2.2.1 Grundleistung Q_o

Die Grundleistung Q_o muss sich aus der Zyklusmenge "V", Spielzahl n und dem Faktor f der sonstigen Arbeitsbedingungen ergeben.

$$Q_o = (V_R * f_F * f_A) * n * f \quad [fm^3/h] \quad \text{F-6}$$

V_R in m^3	Bodenklasse nach DIN 18300											
	3			4			5			6		
	TL	LS	KS	TL	LS	KS	TL	LS	KS	TL	LS	KS
0,5	238	—	—	212	—	—	212	—	—	—	—	—
0,75	225	217	—	198	217	—	198	—	—	—	—	—
1,0	215	209	—	192	205	—	192	—	—	—	157	—
1,25	205	200	200	184	193	200	184	—	200	—	155	160
1,5	196	194	194	177	183	191	177	—	191	—	152	155
1,75	190	188	188	172	175	182	172	liegen bisher vor	182	liegen bisher vor	150	151
2,0	185	183	183	165	168	175	165	—	175	—	148	150
2,25	—	178	178	159	162	168	159	liegen Werte vor	168	liegen Werte vor	145	148
2,5	—	174	172	154	155	162	154	—	162	—	142	148

Abbildung 2-6 Grundspielzahl n für Hydraulikbagger mit Tieflöffel (TL), Hochlöffel (LS) u. Klappschaufel (KS) [Hoffmann / Kremer; 1999, S. 504]

2.2.2 Nutzleistung Q_N

$$Q_N = Q_o * f_N \quad [fm^3/h] \quad \text{F-7}$$

mit f_N = Nutzleistungsfaktor

Baustellen- bedingungen	Betriebsbedingungen			
	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	0,84	0,81	0,76	0,70
gut	0,78	0,75	0,71	0,65
mittelmäßig	0,72	0,69	0,65	0,60
schlecht	0,63	0,60	0,57	0,52

Abbildung 2-7 Nutzleistungsfaktor f_N [Hoffmann / Kremer; 1999; S. 476]



3 Leistungsberechnung für Verdichtungsgeräte

3.1 Parameter der Geräteleistung

Die Parameter der Verdichtungsleistung sind:

- Tiefenwirkung des Verdichtungsgerätes (Schichtstärke)
- Arbeitsgeschwindigkeit
- Anzahl der Übergänge
- Überdeckung der Verdichtungsspuren
- Störzeiten, Witterungseinflüsse

Letztere Faktoren werden bei Verdichtungsarbeiten häufig zu einem gemeinsamen Nutzleistungsfaktor zusammengefasst. Personalbedingte Ausfallzeiten sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Geräteart		Arbeitsgewicht	Arbeitsgeschwindigkeit	Schütthöhe	Empfohlene Übergänge	Geeignet für Bodenart			
		in t	in m/min	in cm	Anzahl	Sand + Kies	Schluff + Ton	Gemisch	Fels
Statisch	Glattwalzen	6 bis 16	50 bis 100	10 bis 20	7 bis 15	o	+	o	-
	Schaffußwalze, gezogen	5 bis 25	50 bis 100	15 bis 25	7 bis 20	-	+	o	-
	Schaffußwalze, selbstfahr.	7 bis 28	50 bis 300	15 bis 25	7 bis 15	-	+	o	-
	Gummiradwalzen, gezogen	25 bis 95	50 bis 100	35 bis 75	5 bis 10	+	+	+	o
	Gummiradwalzen, selbstfahr.	15 bis 50	100 bis 170	50 bis 100	5 bis 10	+	+	+	o
	Gürtelradwalzen	17	100	20 bis 30	5 bis 10	o	+	+	-
	Giterradwalzen	6 bis 15	50 bis 170	20 bis 30	7 bis 15	+	-	o	+
Dynamisch	Anhängervibrationswalzen, leicht	4 bis 8	17 bis 35	20 bis 75	4 bis 6	+	o	+	o
	Anhängervibrationswalzen, schwer	8 bis 16	17 bis 35	20 bis 130	3 bis 5	+	o	+	+
	Tandemvibrationswalzen, leicht	2 bis 5	17 bis 35	20 bis 75	4 bis 6	+	o	+	o
	Tandemvibrationswalzen, schwer	6 bis 15	17 bis 35	20 bis 130	3 bis 5	+	o	+	+
	Schaffußvibrationswalze	6 bis 13	35 bis 85	20 bis 75	4 bis 7	+	+	+	-
	Explosionsstampfer	0,07 bis 0,15	10 bis 16	20 bis 50	3 bis 5	o	+	o	-
	Vibrationsstampfer	0,03 bis 0,20	10 bis 16	15 bis 40	2 bis 4	+	-	+	-
	Vibrationsplatten, leicht	0,2 bis 1,0	18 bis 22	15 bis 25	5 bis 10	+	-	o	-
	Vibrationsplatten, schwer	1,0 bis 2,8	20 bis 40	20 bis 50	4 bis 7	-	o	o	o

+ gut bis sehr gut geeignet o geeignet - Nicht geeignet

Abbildung 3-1 Parameter der Geräteleistung [Bundesausschuss Leistungslohn Bau – Fachgruppe Erdbau; 1988]

Baustellenbedingungen	Betriebsbedingungen			
	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	0,84	0,81	0,76	0,70
gut	0,78	0,75	0,71	0,65
mittelmäßig	0,72	0,69	0,65	0,60
schlecht	0,63	0,60	0,57	0,52

Abbildung 3-2 Nutzleistungsfaktor f_N [Hoffmann / Kremer; 1999; S. 476]



3.2 Berechnung

Die Verdichtungsleistung kann als Flächenleistung [m² / h] oder als Volumenleistung [m³ / h] ermittelt werden. Bei letzterer ist zu berücksichtigen, dass sich diese aus bauvertraglichen Gründen meist auf das eingebaute Volumen (fm³) bezieht. In der Berechnung muss dann das verdichtete Volumen des Bodens und nicht die antransportierten und abgeschütteten Mengen berücksichtigt werden.

Grundleistung:

bezogen auf die Flächenleistung:

$$Q_{o,A} = \frac{b' \cdot v}{z} \quad [m^2 / h] \quad \text{F-13.1}$$

mit

b' = Breite der Verdichtungsspur ~ 0,8 x Breite des Verdichtungskörpers [m]
 v = Arbeitsgeschwindigkeit [m/h]
 z = Zahl der Übergänge [/]

bezogen auf das verdichtete Volumen:

$$Q_{o,V} = \frac{b' \cdot v}{z} \cdot h \quad [m^3 / h] \quad \text{F-13.2}$$

Nutzleistung:

$$Q_N = Q_O \cdot f_N \cdot f_P \quad [m^3 / h] \text{ od. } [m^2 / h] \quad \text{F-14}$$

Personalbedingte Ausfallzeiten sind in gleicher Größe wie bei den schon behandelten Baugeräten zu berücksichtigen

Alternativ kann die Nutzleistung auch aus der Hauptnutzungszeit und dem Spielzeitfaktor errechnet werden:



4 Leistungsberechnung für Transportgeräte

4.1 Parameter der Geräteleistung

Nenninhalt:

Die Angaben der BGL zum Transportvolumen beziehen sich auf die "gestrichene Füllung" (Wasserfüllung). Für den öffentlichen Straßenraum ist eine größere Füllung nicht zulässig.

Für die praktische Berechnung geht man von folgenden Füllungsfaktoren aus:

- Nichtbindiger Boden: $f_F = 0,95$
- Bindiger Boden: $f_F = 1,05$

Der Auflockerungsfaktor f_A ist entsprechend Abb. 1-4 zu ermitteln.

Rangierzeit:

Für den Kurzstrecken-Rangierbetrieb kann man nach Hüster, F.; 1997 beispielsweise von folgenden Werten auszugehen:

- vorwärts an Ladestelle rangieren: $t_R = 0,2 \text{ Min}$
- rückwärts an Ladestelle rangieren: $t_R = 0,3 \text{ Min}$
- rückwärts an Ladestelle einschwenken: $t_R = 0,5 \text{ Min}$

Entladezeit:

- freies Abkippen: $t_E = 0,5 \text{ Min}$
- bei manueller Betätigung der Ladeklappen: $t_E = 2,5 \text{ Min}$

Wartezeiten:

Wartezeiten können für Ein- oder Ausfahrgenehmigungen, an Waagen, an Reifenwaschanlagen o.ä. auftreten. Der Wert ist den örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Nach Hüster, F., 1997 kann die Wartezeit die Nutzleistung der Transportkette mit ca. 10 % beeinflussen.

Fahrzeit::

Für die Ermittlung der Fahrzeit t_f von Transportfahrzeugen bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Fahrzeit schätzen
2. Strecke abfahren und Fahrzeit messen
3. Fahrzeit berechnen

Verfahren 2 - mit einer Hochrechnung auf die Schichtleistung – stellt das genaueste Verfahren dar. Eine besondere Erläuterung ist hierzu aber nicht notwendig.

Die weiteren Ausführungen behandeln die theoretische Ermittlung der Fahrzeit – Verfahren 3 - auf der Grundlage statistischer oder maschinentechnischer Untersuchungen.

4.2 Fahrzeitermittlung

Die Fahrzeit wird aus der folgenden Beziehung ermittelt:

$$t_F = \frac{d_V * 60}{v_V} + \frac{d_L * 60}{v_L} \quad [Min] \quad \text{F-15}$$

mit d_V Länge der Laststrecke [km]
 d_L Länge der Leerstrecke [km]
 v_V mittlere Lastgeschwindigkeit [km/h]
 v_L mittlere Leergeschwindigkeit [km/h]
 t_F Fahrzeit [Min]

Für die Berechnung können mittlere Fahrgeschwindigkeiten der folgenden Abbildung entnommen werden:

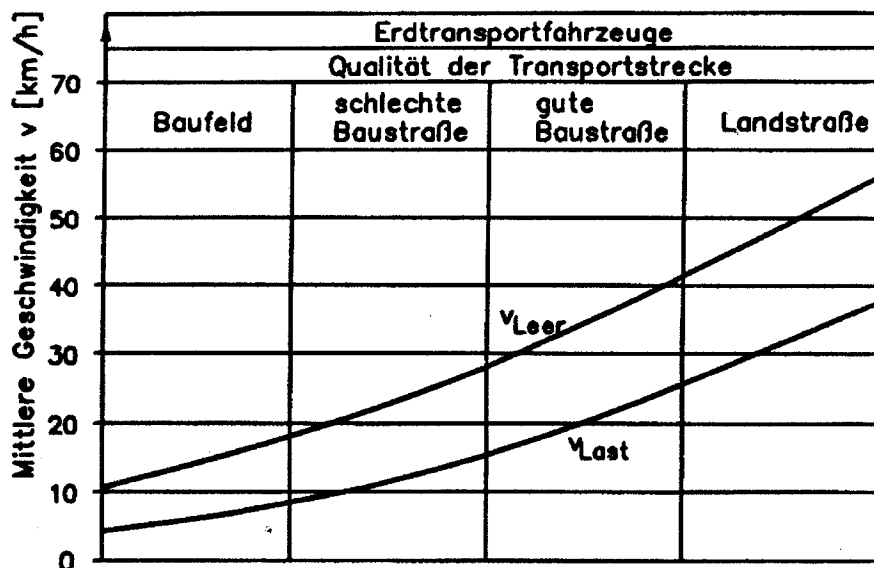


Abbildung 4-1 Mittlere Fahrgeschwindigkeiten [Hüster, F., 1997, S. 64]



Genauere Fahrgeschwindigkeiten, die auch die vorhandenen Steigungsverhältnisse, die Motorisierung und Beladung berücksichtigen, können aus den Fahrwiderständen W bzw. den zu deren Überwindung erforderlichen Traktionskräften ermittelt werden.

Nach Kühn, G., 1984 gilt für den Fahrwiderstand W_R :

$$W_R = (w_R + w_i) * (G_E + G_N) \quad [KN] \quad \text{F-16}$$

mit w_r = Rollwiderstand [/
 w_i = Steigungswiderstand [/
 G_E = Eigengewicht [KN]
 G_N = Gewicht der Nutzlast [KN]

Der Steigungswiderstand für je 1 % Neigung beträgt: $w_i = +/- 0,01$
 (Bergfahrt = "+"; Talfahrt = "-")

Die erforderliche Traktionskraft Z_t entspricht dem Fahrwiderstand W , d.h.:

$$Z_t = W_R \quad [KN] \quad \text{F-17}$$

Die Traktionskraft Z_t wird auch als Felgenzugkraft bezeichnet.

Beton, Asphalt		w_r 0,015
Erdstraße	glatt, hart, trocken (Kies mit Lehm)	0,020
	trocken, nicht verdichtet lockeres Material (Kies mit Lehm)	0,030
	weich, zerfurchter Boden schlecht instandzusetzen	0,040
	feuchte, schlammige Oberfläche auf festem Grund	0,040
	weicher, zerfurchter Boden	0,060
	unverdichtete Kippe	0,080
	trockener Sand oder Kies	0,100
	tief zerfurchter, schlammiger Untergrund	0,160
	Schnee	verdichtet
10 cm locker		0,050

Abbildung 4-2 Rollwiderstandbeiwerte für Geländefahrzeuge
 [Kühn, G., 1984; S. 180]

Wenn die Reifeneindringung bekannt ist, kann der Rollwiderstand auch aus der folgenden Beziehung ermittelt werden [Zeppelin GmbH; 1999; S. 466] :

$$w_R = 0,02 * 0,006 * E_r \quad [/
 \text{F-18}$$

mit E_r = Reifeneindringung in [cm].



Je [cm]-Reifeneindringung und je to-Fahrzeuggewicht wird also ein Widerstand von 6 kg/to angesetzt.

Die theoretische Fahrgeschwindigkeit V_{\max} kann in Abhängigkeit des Fahrwiderstandes [l] aus Felgenzugkraft-Geschwindigkeitsdiagrammen ermittelt werden.

Diese Diagramme sind gerätespezifische Datenblätter, die für einige Gerätetypen von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden.

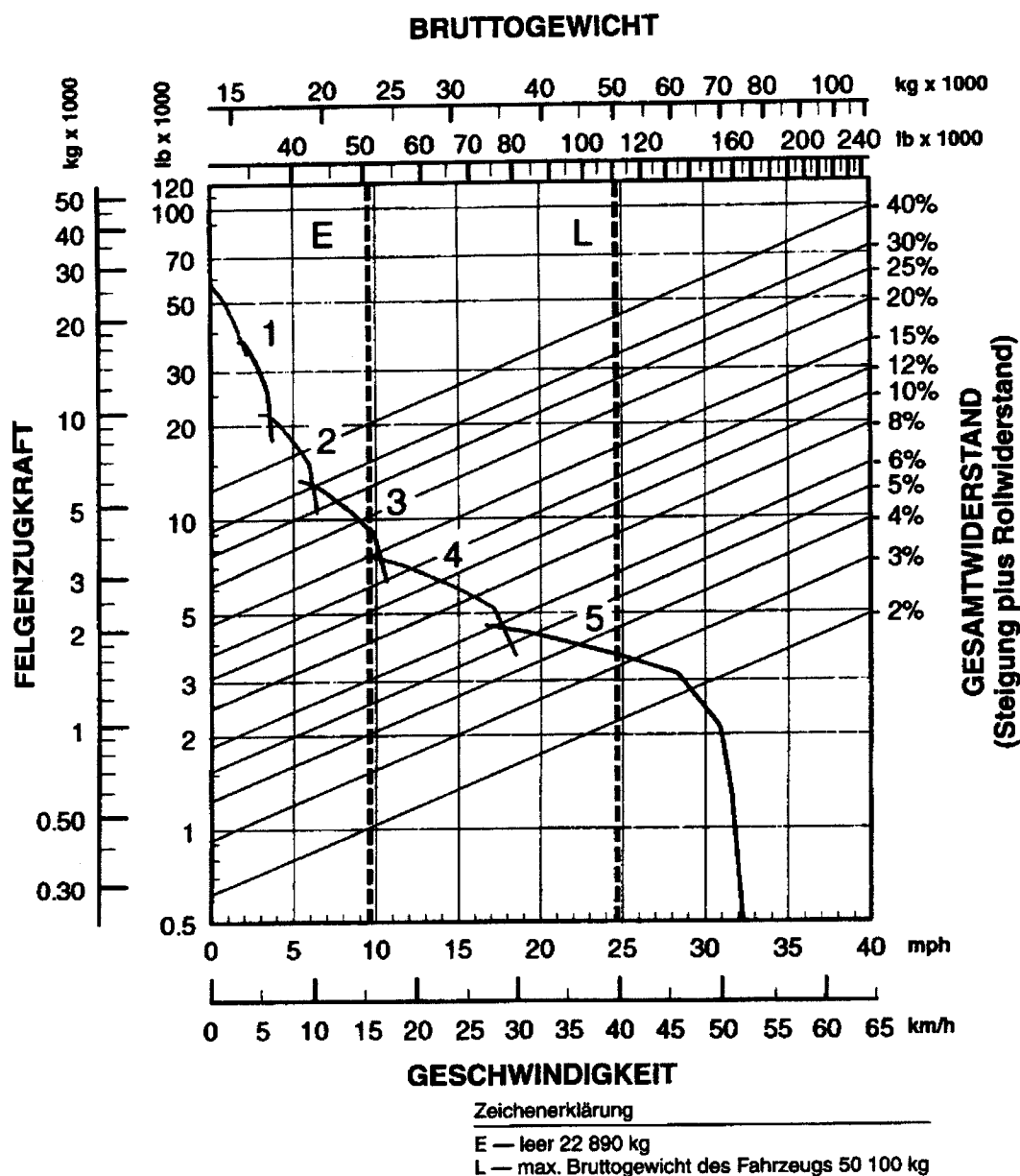


Abbildung 4-3 Felgenzugkraft-Geschwindigkeitsdiagramm des Muldenkippers Cat D300E [Cat 1998, S.10-17]



Die Berechnung der theoretischen Fahrgeschwindigkeit kann auch über die folgende Beziehung erfolgen:

$$V_{\max} = \frac{P_{\text{Mot.}} * \eta}{Z_t} = \frac{P_{\text{Mot.}} * \eta}{(G_N + G_E) * (w_R \pm w_i)} \quad [m / \text{sec}] \quad \mathbf{F-19}$$

Mit	$P_{\text{Mot.}}$	= Motorleistung [KW]
	Z_t	= Zugkraft [KN]
	w_r	= Rollwiderstand [l]
	w_i	= Steigungswiderstand [l]
	G_E	= Eigengewicht [KN]
	G_N	= Gewicht der Nutzlast [KN]
	η	= Wirkungsgrad (0,81 bei mech. Getriebe, 0,75 bei Drehmomentenwandler)

Um aus den theoretischen Geschwindigkeiten praktisch erzielbare - mittlere - Werte abzuleiten, müssen Fahrbahnzustand und Beschleunigung noch über Korrekturfaktoren f berücksichtigt werden. Hierzu wird auf **Kühn, G.; 1984; S. 182** verwiesen.

$$V_m = V_{\max} * f \quad \mathbf{F-20}$$

Da die tatsächlichen Fahrgeschwindigkeiten sehr stark von den Geräteführern abhängen, können auch pauschale Ansätze, die auf Erfahrungswerten beruhen, benutzt werden.

gute Fahrbahn: $V_m = V_{\max} * 0,85$

mittlere Fahrbahn: $V_m = V_{\max} * 0,80$

schlechte Fahrbahn: $V_m = V_{\max} * 0,75$



4.3 Berechnung

Es gilt für die Grundleistung mit dem Nutzvolumen V_N und der Spielzahl:

$$Q_o = V_N * n = (V * f_F * f_A) * n \quad [fm^3/h] \quad \text{F-21}$$

Das Nutzvolumen kann sich besonders bei schweren Gütern auch aus der zulässigen Nutzlast G_N [t] des Fahrzeugs ergeben. Der kleinere Wert ist maßgebend.

$$V_N \leq \frac{G_N}{\gamma \cdot f_A} \quad [fm^3] \quad \text{F-22}$$

Die Spielzahl n erhält man aus der Beziehung für die Spielzeit:

$$n = \frac{60}{T_o} \quad \text{F-23}$$

Die Grundspielzeit des Transportgerätes ergibt sich aus:

$$T_o = t_L + t_R + t_F + t_E + t_w \quad \text{F-24}$$

t_L : Ladezeit
 t_R : Rangierzeit
 t_F : Fahrzeit
 t_E : Entladezeit
 t_w : Wartezeit

Ladezeit t_L :

Mit der Grundleistung des Ladegerätes Q_{oL} ergibt sich die Ladezeit t_L :

$$t_L = \frac{V_N}{Q_{oL}} * 60 \quad [Min] \quad \text{F-25}$$

Mit dem Nutzinhalt des Löffels V_{NL} des Ladegerätes ergibt sich die Ladespielzahl n_L

$$n_L = \frac{V_N}{V_{NL}} \quad [St] \quad \text{F-26}$$



Baupraktisch wird meistens von einer Vollfüllung des Ladegefäßes auszugehen sein. Der Wert n_L ist danach aufzurunden. Zulässig die hieraus entstehende Überlast des Transportgerätes jedoch nicht.

Es ergibt sich die **Nutzleistung** der gesamten Transportkette aller Fahrzeuge:

$$Q_{N,ges.} = Q_o * \frac{T}{t_L} * f_T * f_N \quad [fm^3/h] \quad \text{F-27}$$

f_T : Transportbetriebsfaktor
 f_N : Nutzleistungsfaktor
 t_L : Ladezeit
 T : Umlaufzeit

Anzahl der Fahrzeuge	Beladungsrate = $\frac{\text{Umlaufzeit } T}{\text{Beladezeit } t_B}$								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0,89	0,75	0,55	0,45	—	—	—	—	—
3	0,98	0,88	0,74	0,61	0,51	0,46	—	—	—
4	1,00	0,96	0,87	0,75	0,65	0,58	0,51	0,47	0,41
5		0,99	0,94	0,86	0,77	0,68	0,61	0,55	0,50
6		1,00	0,98	0,92	0,86	0,77	0,70	0,63	0,58
7			1,00	0,96	0,91	0,85	0,78	0,71	0,65
8				0,98	0,95	0,90	0,85	0,79	0,72
9				1,00	0,97	0,94	0,89	0,85	0,79
10					0,99	0,96	0,93	0,89	0,84
11					1,00	0,98	0,95	0,92	0,88
12						1,00	0,97	0,94	0,91

f_T ist abhängig von der **Beladungsrate** T/t_B , die die Zahl der je Stunde möglichen Beladungsvorgänge angibt.

Abbildung 4-4 Transportbetriebsfaktor [Hoffmann / Kremer; 1999]

Baustellen- bedingungen	Betriebsbedingungen			
	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	0,84	0,81	0,76	0,70
gut	0,78	0,75	0,71	0,65
mittelmäßig	0,72	0,69	0,65	0,60
schlecht	0,63	0,60	0,57	0,52

Abbildung 4-5 Nutzleistungsfaktor f_N [Hoffmann / Kremer; 1999; S. 476]



5 Näherungswerte

5.1 Lader

- Ladern sollten Transportgeräte mit 3 – 7 Ladespielen beladen können.

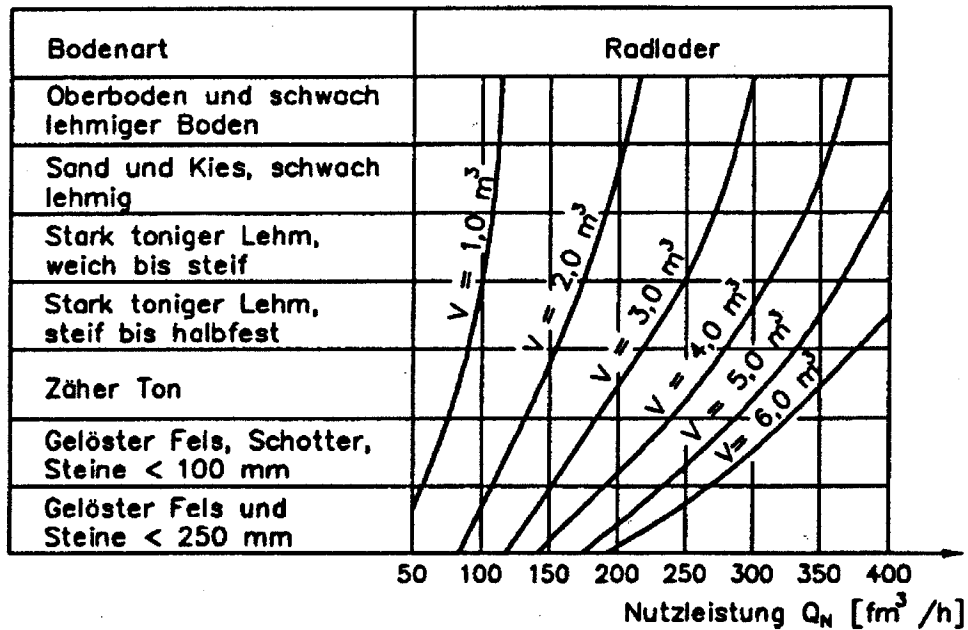


Abbildung 5-1 Ladeleistung von Radladern [Hüster,F.; 1997; S. 166]

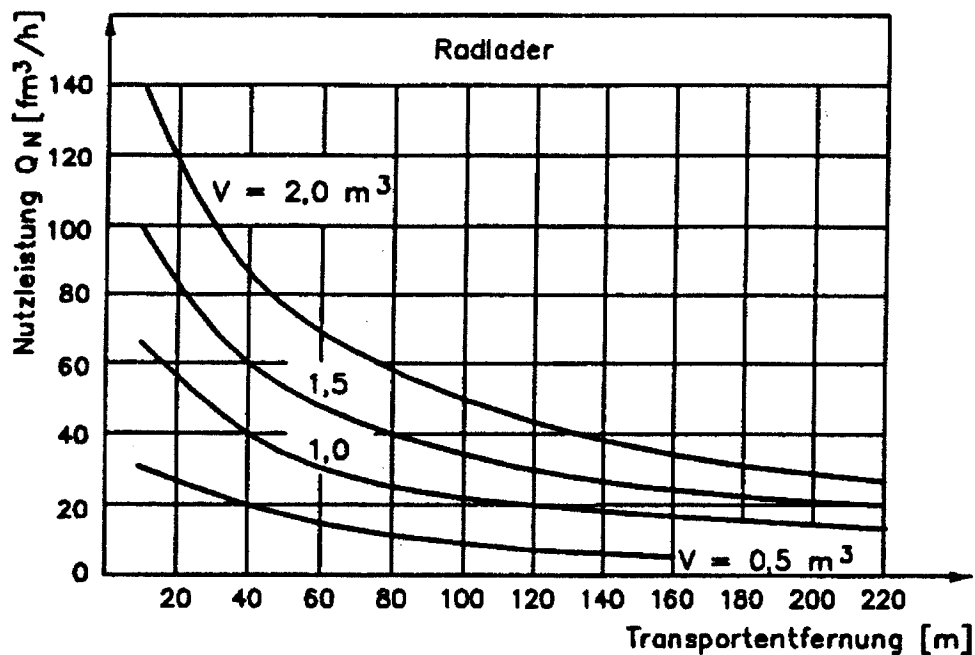


Abbildung 5-2 Transportleistung von Radladern [Hüster,F.; 1997; S. 166]



5.2 Bagger

- Nutzleistung $Q_N \sim 100 \times V_N \times f$ [fm^3] (Bei Tieflöffelausrüstung $f \sim 0,85$, bei Greiferausrüstung $f \sim 0,50$)
- Bagger sollten Transportgeräte mit 4 – 10 Ladespielen beladen können.

5.3 Planierraupen

	Nutzleistung [fm^3/h]
Oberboden abschieben	$55 \times b \times h^2$
Bodenausgleich Kl. 3+4	$55 \times b \times h^2$
Verfüllen von Arbeitsräumen	$30 \times b \times h^2$
Großfl.Kieseinbau	$50 \times b \times h^2$

Abbildung 5-3 Schätzwerte für die Nutzleistung von Planierraupen
(b,h: Planierschildabmessungen) [Hüster,F.; 1997; S. 168]

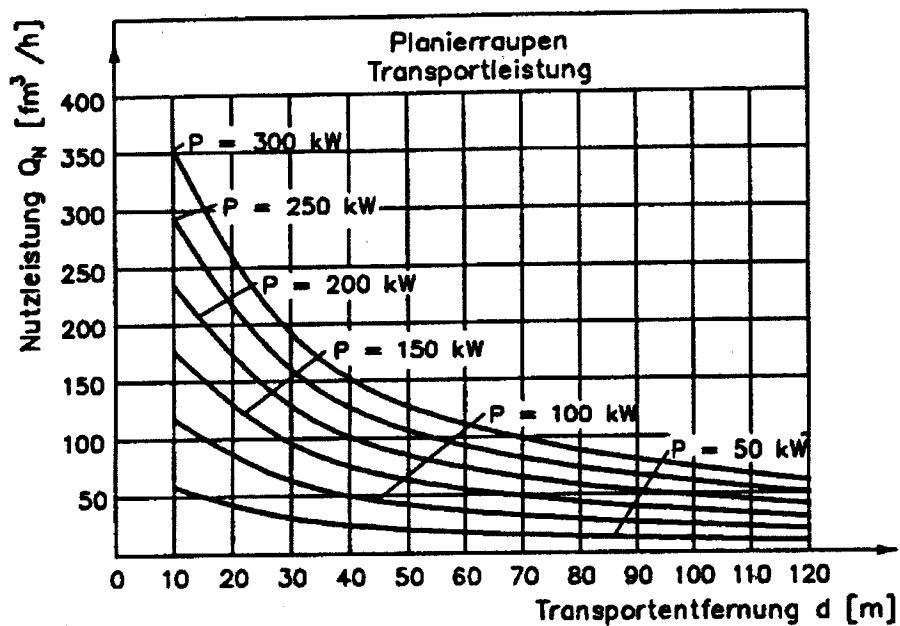


Abbildung 5-4 Nutzleistung von Planierraupen beim Lösen und Transportieren unter mittleren Betriebsbedingungen [Hüster,F.; 1997; S. 168]

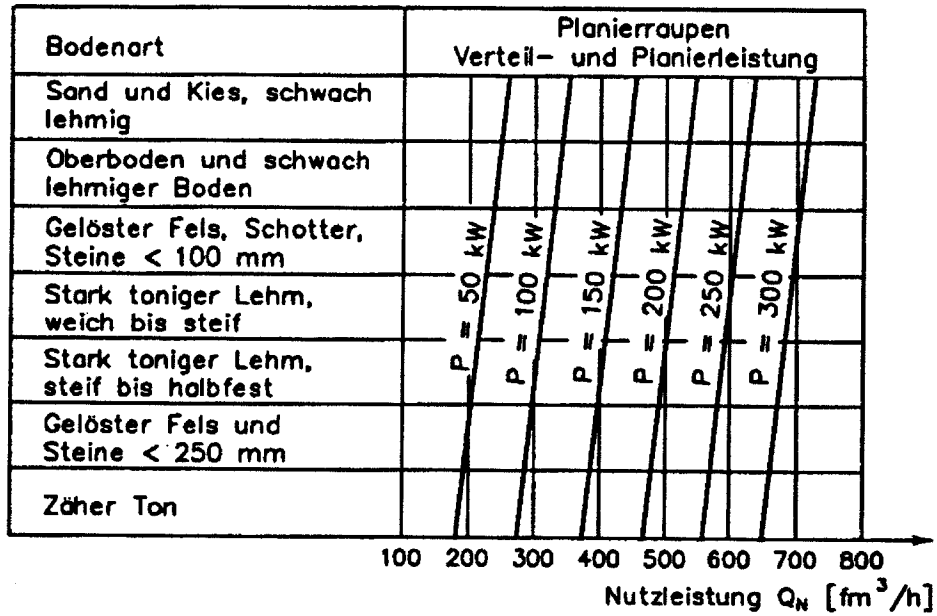


Abbildung 5-5 Nutzleistung von Planiererraupen beim Verteilen und Planieren unter mittleren Betriebsbedingungen [Hüster,F.; 1997; S. 168]

5.4 Krane

Bei einem normalen Hochbau-Baustelle sollte die Krananzahl so ausgelegt werden, dass für etwa 3 – 4 Kolonnen mit je 4 – 5 Facharbeitern 1 Kran zur Verfügung steht.

