

# **1 Leistung im Baubetrieb**

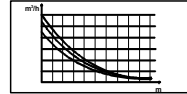
**Leistungsbegriffe**

**Bestimmung von Leistungswerten**

**Leistung von Produktionsketten**

**Allgemeine Leistungsberechnung von Baugeräten**

# Leistung im Baubetrieb



## 1.1 Leistungsbegriffe

Um Bauverfahren zu bewerten und anschliessend **Bauzeit und Baukosten** festlegen zu können, müssen Leistungswerte für einzelne Baumaschinen sowie ganze Prozessketten bekannt sein. Einheitliche und konsistente Definitionen der für die Leistungsberechnung relevanten Begriffe sind notwendig, um Angaben und Ergebnisse untereinander vergleichbar zu machen.

Als **Leistung** bezeichnet man Arbeit pro Zeiteinheit, wobei unter Arbeit in der Regel eine hergestellte, gelieferte oder beförderte Menge verstanden wird [3].

$$\text{Leistung} = \frac{\text{hergestellte Menge}}{\text{Zeiteinheit}}$$

### Der Begriff Menge [3]

Im Baubetrieb häufig verwendete Mengen sind z.B.

- Aushub von Bodenmasse in  $\text{m}^3$
- Herstellen von Wandschalung in  $\text{m}^2$
- Verlegen von Betonstahl in t

oder bei Betrachtung einer vom Bauherrn geforderten Gesamtleistung

- Herstellen einer Fertiggarage in Stück
- umbauter Raum im Hochbau in  $\text{m}^3$

Da diese Mengengriffe nicht präzise genug sind, müssen sie in der Regel genauer definiert werden. So kann im **Erdbau** ein  $\text{m}^3$  bedeuten:

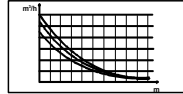
- $\text{fm}^3$  Material in ungestörter, natürlicher Lagerung
- $\text{lm}^3$  Material in aufgelockertem Zustand, z.B. auf einer LKW-Mulde
- $\text{fm}^3$  Material in wieder eingebautem, verdichtetem Zustand

Ein  $\text{m}^3$  **Beton** kann aufgefasst werden als:

- $\text{m}^3$  trockenes Gemisch aus Zuschlagstoffen und Zement
- $\text{m}^3$  unverdichteter Frischbeton
- $\text{m}^3$  verdichteter, abgebundener Beton

Betongüte, Art der Zuschlagstoffe und des Zements, Wassergehalt sowie Verarbeitungsverfahren sind allerdings noch nicht präzisiert.

# Leistung im Baubetrieb



Neben der Menge ist auch die der Berechnung zugrunde liegende **Zeiteinheit** des Leistungsbegriffs zu definieren. Einzelne Arbeitsabläufe einer Zeitstudie, wie z.B. das Arbeitsspiel  $t_s$  eines Ladegeräts, werden in Minuten angegeben. Im Baubetrieb nutzt man als Zeiteinheiten Stunden, Tage und Monate für die summarische Arbeits-, Einsatz- und Vorhaltezeit. Es bereitet allerdings häufig Schwierigkeiten, Anfang und Ende des zu betrachtenden Zeitraums festzulegen und anzugeben. So stellt sich die Frage, ob zwischen Beginn und Ende der gesamte Zeitraum erfasst oder Teile ausgenommen werden sollen (z.B. die Aufbau-, Abbau- und Einsatzzeit oder nur die Betriebszeit des Geräts).

Auf Baustellen wird in der Regel ohne Schichtbetrieb, allerdings mit Überstunden gearbeitet. Daher kann man die Arbeitszeit wie folgt ansetzen:

1 Tag = 8 – 10 Arbeitsstunden

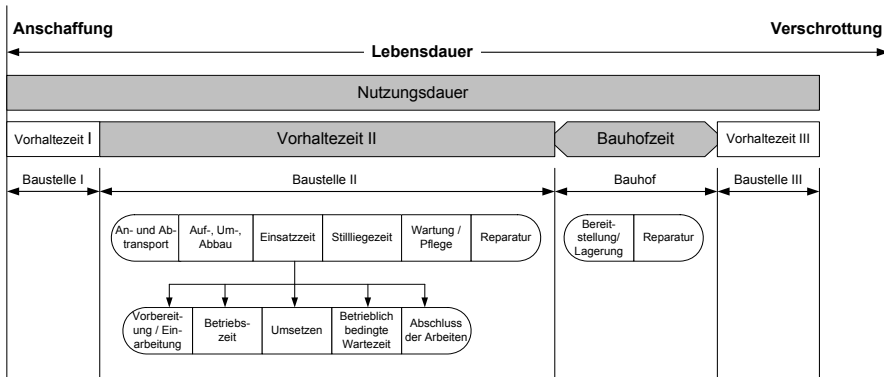
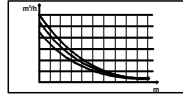
Im Untertagebau [2] oder bei Instandsetzungsarbeiten von Fernstrassen kommt meistens der Schichtbetrieb zum Einsatz, wobei die Schichtarbeitszeiten oben genannten Arbeitszeiten entsprechen.

## Zeitbegriffe für Baugeräteeinsatz und -bewertung

Bei der Beurteilung von **Baugerätekosten** ist zwischen Betriebszeit, Einsatzzeit und Vorhaltezeit zu unterscheiden (Bild 1-1). Man definiert vereinfacht:

- **Betriebszeit** = reine Arbeitszeiten des Geräts einschliesslich der Umsetzzeiten innerhalb des Arbeitsbereichs.
- **Einsatzzeit** = Betriebszeit, Vorbereitungszeiten (z.B. Auslegen von Baggermatratzen) und Einarbeitungszeiten, Umsetzzeiten innerhalb der Baustelle, betrieblich bedingte Wartezeiten und Zeiten für den Abschluss der Arbeiten.
- **Vorhaltezeit** = Einsatzzeit, Zeiten für An- und Abtransport sowie (falls erforderlich) Auf-, Um- und Abbaupzeiten, Stillliegezeiten auf der Baustelle, Zeiten für Wartung, Pflege und Reparatur. Die Vorhaltezeit ist damit die Zeitspanne, in der ein Gerät einer Baustelle zur Verfügung steht und anderweitig nicht darüber verfügt werden kann [4].

# Leistung im Baubetrieb



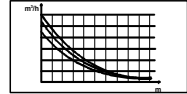
**Bild 1-1: Zeitbegriffe für Baugeräteeinsatz und -bewertung nach [4]**

Die Geräte- und Energiekosten für Bereitstellungsgeräte (z.B. Krane) berechnen sich nach der Dauer der Vorhaltezeit. Die Gerätekosten für Leistungsgeräte (z.B. Bagger) berechnet man oft nach der Dauer der Einsatz- bzw. Betriebszeit und den Energieverbrauch nach der Betriebszeit. Eine Berechnung der Gerätekosten von Leistungsgeräten über die Vorhaltezeit führt allerdings dazu, dass der Baustelleneinsatz dieser Geräte möglichst kurz gehalten wird, da in diesem Fall auch nicht arbeitende Leistungsgeräte Kosten verursachen. Somit wird die Bauleitung angehalten, die Einsätze von Leistungsgeräten effizient zu gestalten und bei beendetem Einsatz die Geräte zügig anderen Baustellen zur Verfügung zu stellen. Als Mass der Effizienz dient in diesem Fall der Quotient aus Betriebs- und Vorhaltezeit.

Die **Ermittlung der Arbeitsleistung** einer **Person** oder einer **Maschine** und der Vergleich mit anderen Leistungen setzen voraus, dass die beeinflussenden **Randbedingungen** erfasst und genormt sind [3]. Die theoretische Grundleistung  $Q_0$  muss aufgrund verschiedener, zum Teil interaktiver Einwirkungen auf die Nutzleistung  $Q_N$  abgemindert werden. Diese Reduktionsfaktoren setzen sich aus folgenden Einflussbereichen [5] zusammen:

- den humanen Faktoren (Qualifikation und Motivation der Maschinisten)
- den organisatorischen Faktoren (Qualifikation der Bauleitung und Arbeitsvorbereitung zur Gestaltung organisatorischer Abläufe)
- den technischen Faktoren (an die Aufgaben angepasstes Gerät sowie technischer Zustand)

# Leistung im Baubetrieb



- den umweltbedingten Faktoren (Wetter, Temperatur, Bodenzustand etc.)

Die humanen, organisatorischen und umweltbedingten Faktoren setzen sich z.B. zusammen aus:

- dem **Bedienungsfaktor**  $\eta_1$  [-]. Dieser reflektiert die humanen Faktoren der Ausbildung und der Qualifikation des Beschäftigten und seine Leistungsmotivation in Abhängigkeit von Lohn, Prämien und persönlichem Einsatz [3].

**Tabelle 1-1: Werte für Bedienungsfaktoren  $\eta_1$  [-] [3]**

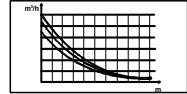
| Ausbildung und Qualifikation | Leistungsmotivation | $\eta_1$ |
|------------------------------|---------------------|----------|
| sehr gut (geübt)             | sehr gut (100 %)    | 1.00     |
| durchschnittlich             | gut (90 %)          | 0.80     |
| sehr gut (geübt)             | ausreichend         | 0.75     |

Interpretiert man die untere Zeile der Tabelle 1-1, so führt bei einem sehr guten Baggerfahrer ein Absinken der Leistungsmotivation von „sehr gut“ auf „ausreichend“ zu einem Leistungseinbruch von 25 %. Es ist allerdings nicht einfach, einen allgemeingültigen Bezugswert z.B. für einen sehr gut ausgebildeten und qualifizierten sowie sehr hoch motivierten Baggerfahrer festzulegen, weshalb sich die Auswahl der passenden Beiwerte für die menschliche Arbeitsleistung in der Leistungsberechnung als schwierig erweist.

- den **Betriebsbedingungen**  $\eta_2$  [-]. Diese reflektieren die organisatorischen und umweltbedingten Faktoren wie die Einsatzbedingungen (Wetter, Helligkeit, örtliche Gegebenheiten wie z.B. Verschlammung der Arbeitsfläche bei Radladern) sowie die Arbeitsvorbereitung der Arbeitsabläufe.

Das Produkt der Faktoren  $\eta_1 \times \eta_2$  wird auch als **Betriebsbeiwert** bezeichnet.

# Leistung im Baubetrieb



Neben den Leistungseinflussfaktoren, die durch den Menschen, die Organisation und die Umweltbedingungen beeinflusst werden, müssen noch die **technischen Leistungseinflussfaktoren** erfasst werden. Diese geben den Einfluss der realen Betriebsbedingungen gegenüber den als ideal definierten Bedingungen zur Ermittlung der Grundleistung  $Q_0$  wieder. Die idealen Bedingungen, die der Ermittlung der Grundleistung zugrunde liegen, müssen den Unterlagen der Maschinenhersteller wie z.B. [6], [7] entnommen werden.

Die **technischen Leistungseinflussfaktoren** untergliedern sich in (nach [5] und [8]):

- $f_1$  Abbau- bzw. Grabtiefenfaktor: Geometrische Relationen wie Abbauhöhe/Grabtiefe zu Löffelstielänge.
- $f_2$  Schwenkwinkелеinfluss- bzw. Fahrwegfaktor: Verhältnis des idealen zum realen Schwenkwinkel bzw. Fahrweg vom Lade- zum Abładepunkt.
- $f_3$  Entleerungsgenauigkeitsfaktor: Entladen des Löffels oder der Schaufel gezielt auf ein Transportfahrzeug oder nur auf Schütthäufen oder eine Kippe. Bei Entleerung auf ein Transportgerät ist das Verhältnis von Löffel-/Schaufelinhalt zum Fassungsvermögen des Transportgeräts zu berücksichtigen.
- $f_4$  Schneiden- bzw. Zahnzustandsfaktor: Abnutzungsgrad der Schneid- bzw. Aufladewerkzeuge.
- $f_5$  Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor: Einsatzzeit, Instandhaltungszustand des Geräts.

Der **Geräteausnutzungsgrad**  $\eta_G$  [-] ergibt sich aus dem Quotienten der effektiven Betriebszeit (= Schichtzeit minus Unterbrechungs-/Ausfallzeiten) und der Schichtzeit. Man kann diesen Faktor auch als Effektivitätsfaktor bezeichnen; er sagt aus, dass ein Gerät z.B. 50 min/h effektiv arbeitet. Diese Reduktion ergibt sich aus Umsetzzeiten bei einem Bagger während eines kontinuierlichen Aushubvorgangs (z.B. Graben) bzw. Ladevorgangs, um die optimale Geräteposition im Gerätearbeitsbereich für die Arbeit einzunehmen, oder Zigarettenpausen des Maschinenführers etc.

# Leistung im Baubetrieb

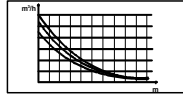


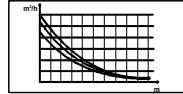
Tabelle der Leistungseinflussfaktoren, durch die die in den Handbüchern [6], [7] beschriebenen Idealbedingungen abgemindert werden:

**Tabelle 1-2: Leistungseinflussfaktoren**

|                 |            |   |
|-----------------|------------|---|
| $\eta_1$        | $\leq 1$ : | Mensch: Leistungsfaktor des Geräteführers (Ausbildung, Motivation)  |
| $\eta_2$        | $\leq 1$ : | Organisation und Umwelt: Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Leistung (Wetter, Staub, Helligkeit, Arbeitsvorbereitung, Arbeitsabläufe etc.)                  |
| $f_1 \dots f_5$ | $\leq 1$ : | Technik: Technische Einflussfaktoren  |
| $\eta_G$        | $\leq 1$ : | Effektivzeit: Geräteausnutzungsgrad eines Geräts, z.B. bezogen auf die Schichtzeit (Schichtzeit = effektive Betriebszeit sowie Unterbrechungs- und Ausfallzeiten) |

Die Faktoren für die wichtigsten Leistungsgeräte können Kapitel 8 entnommen bzw. in Analogie übertragen werden.

# Leistung im Baubetrieb



## 1.2 Bestimmung von Leistungswerten

### Nachkalkulation

Leistungswerte beruhen auf Erfahrung und werden normalerweise im Rahmen des technischen Controllings dokumentiert. Sie resultieren aus der Nachkalkulation bereits fertig gestellter Bauprojekte und dienen vor allem der Ermittlung der für die Ausführung geräteintensiver Arbeiten benötigten Maschinen- und Lohnstunden. Ihre Kehrwerte ergeben Aufwandswerte, die sich als Quotient aus verbrauchter Arbeitszeit und geleisteter Menge definieren.

Die für die Ausführung einer Tätigkeit benötigten Arbeitsstunden werden mit Hilfe dieser Aufwandswerte für Bauwerke mit gleichen Randbedingungen herangezogen. In der Kalkulation bezeichnet man die Aufwandswerte auch häufig als Stundenansätze.

$$\text{Ist-Leistung} = \frac{\text{geleistete Menge}}{\text{verbrauchte Arbeitszeit}}$$

$$\text{Ist-Aufwandswert} = \frac{\text{verbrauchte Arbeitszeit}}{\text{geleistete Menge}} = \frac{1}{\text{Ist-Leistung}}$$

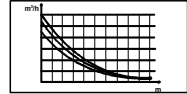
Durchschnittliche Leistungswerte für Bauleistungen sind in Standardbüchern [9], [10], [11], [12] zusammengestellt, werden aber von den Bauunternehmen meist anhand eigener Erfahrungen aufgestellt und auf dem neuesten Stand gehalten.

Folgende Punkte sind bei der Ermittlung der Leistungswerte zu berücksichtigen:

- Jede Arbeit hat zu Beginn ihrer Ausführung eine Anlaufzeit, auch Lernphase genannt, bei der aufgrund der notwendigen Einarbeitung (Lernkurve) nur eine verminderte Leistung erzielt wird. Zusätzlich schränken in der Auslaufzeit der Ausführung verminderte Arbeitsflächen und Störungen im Bauablauf durch nachfolgende Gewerke die Leistungsfähigkeit ein. Zwischen Anlauf- und Auslaufzeit liegt die Hauptleistungszeit, in der die höchste Leistung erbracht wird. Diese Hauptleistungszeit setzt sich zusammen aus der Betriebszeit, den betrieblich bedingten Wartezeiten und den Umsetzzeiten auf der Baustelle. Für die Arbeitsausführung sind nun zwei Leistungswerte ermittelbar:



# Leistung im Baubetrieb



- Ein mittlerer Leistungswert, bezogen auf die Einsatzzeit, bestehend aus Zeiten für Vorbereitung/Einarbeitung, Betriebszeit, betrieblich bedingte Wartezeiten, Umsetzen innerhalb der Baustelle und Zeiten für den Abschluss der Arbeiten.
- Ein höherer Leistungswert, ausschliesslich auf die Betriebszeit bezogen.
- Auch während der Betriebszeit verläuft die Leistungskurve nicht gleichmässig, sondern bewegt sich vielmehr in einer mehr oder weniger grossen Bandbreite um den Durchschnittswert.

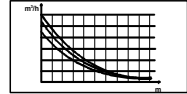
**Bei der Ermittlung der Bauzeit und der Baukalkulation ist immer der mittlere auf die Einsatzzeit bezogene Leistungswert zugrunde zu legen. Die Abstimmung und Optimierung der Gerätekonfiguration erfolgt hingegen über den auf die Betriebszeit bezogenen Leistungswert.**

## Zeitmessverfahren

Das Zeitmessverfahren wird einerseits zur Bestimmung von detaillierten Arbeitsabläufen und Leistungswerten sowie andererseits zur kontinuierlichen Verbesserung sich wiederholender Arbeitsabläufe eingesetzt. Diese detaillierten Leistungswerte werden durch **direkte Messungen und Beobachtungen** während der Bauausführung ermittelt. Zwei Methoden bieten sich hierzu an [3]:

- Die Dauer einzelner Arbeitsvorgänge wie auch der Verlustzeiten misst man mit durchlaufender **Stoppuhr**.
- Mit Hilfe der Momentaufnahme (Zählverfahren, Multimomentverfahren) wird z.B. im Minutenabstand festgestellt und notiert, welche Tätigkeit ein einzelner Arbeiter oder die Arbeitsgruppe zu diesem Zeitpunkt gerade ausführt. Die Summe der Vielzahl solcher Beobachtungsstichproben ergibt eine Häufigkeitsstückliste. Diese enthält, bezogen auf die Gesamtbeobachtungsdauer, bestimmte Zeitanteile je Ablaufart [13].

Diese Methoden liefern bei einer genügend langen Beobachtung sowohl die **Leistungswerte** als auch eine gute **Übersicht** über schlecht funktionierende Arbeitseinsätze und **ungenügende Abstimmung** einzelner Produktionsketten (Verlustzeiten). Daher wird dieses Verfahren hauptsächlich zur kontinuierlichen Verbesserung von sich wiederholenden Arbeitsabläufen auf der Baustelle eingesetzt.



## 1.3 Leistung von Produktionsketten

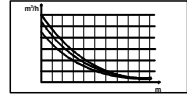
Häufig wird bei der Bauwerkserstellung die Produktionsleistung nicht von einer einzelnen Maschine, sondern von mehreren in einer Produktionskette zusammenarbeitenden Maschinen erbracht. Beispiele hierfür sind das Zusammenspiel

- im **Betonbau** von **Betonmischer, Betontransport, Betonpumpen und Betonverteiler**;
- im **Erdbau** von **Ladegeräten, Lastkraftwagen und Planiergeräten**.

Die Leistung einer Produktionskette wird immer vom **Leitgerät** bestimmt. Beim Leitgerät handelt es sich um eine einzelne Maschine oder eine Maschinengruppe, die innerhalb der Produktionskette die **kleinste Leistung** erbringt. In der Regel sind das Maschinen oder Maschinengruppen, bei denen die Leistung nur sehr aufwendig, z.B. wegen sehr hoher Investitions-, Miet- und Reparaturkosten, oder überhaupt nicht, z.B. wegen räumlichen oder von Arbeitsverfahren bestimmten Begrenzungen, angepasst werden kann. Alle anderen Maschinen der Produktionskette sind dann an die Leistungsfähigkeit des Leitgeräts anzupassen [1].

Erfordert die Durchführung einer Bauaufgabe **zwei parallel oder abwechselnd arbeitende Produktionsketten**, so müssen diese mit dem Ziel eines möglichst kontinuierlichen Produktionsflusses in Bezug **auf minimale Wartezeiten optimiert** werden [3]. Auf Linienbaustellen stellt z.B. das Schalen und Betonieren eines Hochhauses mit den Bauwerksteilen Decken sowie Kern und Stützen ein Beispiel zweier parallel laufender Produktionsketten dar. Die nachfolgenden baubetrieblichen Leistungsberechnungen und vor allem die leistungsabmindernden Beiwerte beruhen auf den Untersuchungen der Firmen Liebherr [6] und Caterpillar [7] sowie der Professoren Bauer [8] und Kühn [14].

# Leistung im Baubetrieb



## 1.4 Allgemeine Leistungsberechnung von Baugeräten

### Kurzzeitleistungen

Unter dieser Leistungskategorie werden die Leistungen in der Hauptphase des Vorgangs auf die Betriebszeit bezogen definiert.

Die **theoretische Leistung**  $Q_T$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] ist abhängig von der konstruktiven Gestaltung des Geräts in Bezug auf Maschinenleistung, Technologie, Kinematik, Arbeitsgeschwindigkeit und Lade- und Transportgefässinhalt. Sie besteht unter optimalen technischen Betriebsbedingungen, aber ohne Berücksichtigung materialabhängiger, technischer, bedienungs- und betriebsbedingter Einflüsse sowie der Geräteausnutzung.

$$Q_T = \frac{V_{SAE}}{t_s} \times 3600 \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

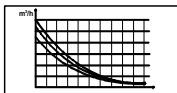
Die **Grundleistung**  $Q_0$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] berücksichtigt die **materialabhängigen** Einflussfaktoren und erfolgt unter optimalen technischen Betriebsbedingungen, aber ohne Berücksichtigung technischer, bedienungs- und betriebsbedingter Einflüsse sowie der Geräteausnutzung.

$$Q_0 = \frac{V_{SAE}}{t_s} \times 3600 \times k_1 \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

Die **technische Grundleistung**  $Q_{T0}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] berücksichtigt alle materialabhängigen und **technischen** Einflussfaktoren, ohne bedienungs- und betriebsbedingte Einflüsse sowie die Geräteausnutzung.

$$Q_{T0} = \frac{V_{SAE}}{t_s} \times 3600 \times k_1 \times k_2 \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

# Leistung im Baubetrieb



Die **Nutzleistung**  $Q_N$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] (Durchschnittsleistung/Dauerleistung über die Betriebszeit) berücksichtigt alle bekannten materialbedingten und technischen Leistungsfaktoren, insbesondere auch die **Bedienungs- und Betriebsbedingungen sowie die Geräteausnutzung**.

$$Q_N = \frac{V_{\text{SAE}}}{t_s} \times 3600 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times \eta_G \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

$$k_1 = \alpha \times \varphi \quad [-]$$

$$k_2 = f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \quad [-]$$

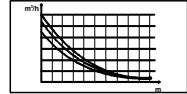
$$k_3 = \eta_1 \times \eta_2 \quad [-]$$

|                  |   |                             |
|------------------|---|-----------------------------|
| $V_{\text{SAE}}$ | Nenninhalt Grab-/Transportgefäss gemäss SAE                   | $[\text{m}^3]$              |
| $t_s$            | Spieldzeit  | $[\text{s}]$                |
| $\alpha$         | Lösefaktor  | $[\text{fm}^3/\text{lm}^3]$ |
| $\varphi$        | Füllfaktor  | $[-]$                       |
| $\eta_1$         | Bedienungsfaktor  | $[-]$                       |
| $\eta_2$         | Betriebsbedingungen   | $[-]$                       |
| $f_1$            | Abbau-/Grabtiefenfaktor                                       | $[-]$                       |
| $f_2$            | Schwenkwinkel-/Fahrwegfaktor                                  | $[-]$                       |
| $f_3$            | Entleerungsgenauigkeitsfaktor                                 | $[-]$                       |
| $f_4$            | Schneiden-/Zahnzustandsfaktor                                 | $[-]$                       |
| $f_5$            | Verfügbarkeits-/Gerätezustandsfaktor                          | $[-]$                       |
| $k_1$            | Ladefaktor  | $[-]$                       |
| $k_2$            | Leistungseinflussfaktor                                       | $[-]$                       |
| $k_3$            | Betriebsbeiwert   | $[-]$                       |
| $\eta_G$         | Geräteausnutzungsgrad   | $[-]$                       |
| $\text{fm}^3$    | Material in ungestörtem bzw. verdichtetem Zustand             |                             |
| $\text{lm}^3$    | Material in aufgelockertem Zustand, z.B. auf einer LKW- Mulde |                             |

Die Kurzzeitleistung bezieht sich auf die Betriebszeit, d.h. auf die reine Arbeitszeit des Geräts. Bei grossen, maschinenintensiven Erdbaustellen, d.h. Baustellen mit kontinuierlichem Geräteeinsatz, entspricht sie weitgehend der durchschnittlichen Leistung des gesamten Arbeitstags  $Q_{\text{AT}}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ]. Bei zyklischen Arbeitsabläufen, bei denen das Gerät nur zeitweise während der Arbeitszeit in Betrieb ist, weicht die Kurzzeitleistung teilweise deutlich von der Durchschnittsleistung des Arbeitstags ab.

Im Berechnungskonzept von Kurzzeit-/Nutzleistung  $Q_N$  sind neben den auf die Grundleistungen  $Q_0$  bezogenen technischen Reduktionsfaktoren

# Leistung im Baubetrieb



bereits auch die Bedienungs- und Betriebsbedingungen wie Motivation, Wettereinfluss etc. sowie die Geräteausnutzung während der Betriebszeit enthalten. Berücksichtigt wird ferner, dass eine neue Maschine höhere Leistungen erbringt als eine ältere, bedingt durch Verschleiss, aber auch durch häufigere kleinere Reparaturen an z.B. Hydraulikschläuchen oder Reisszähnen. Ferner ist auch die Geräteausnutzung über einen definierten Zeitraum enthalten, da z.B. ein Baggerführer nicht ununterbrochen eine volle Stunde oder einen ganzen Tag hocheffizient unter Beibehaltung der Konzentration über die ganze Schichtzeit hinweg arbeitet. Bei diesem Geräteausnutzungsgrad ist auch z.B. das Nachrücken eines Baggers während des Aushubs oder Ladevorgangs enthalten.

In der Kurzzeit-/Nutzleistung sind die folgenden Reduktionen nicht enthalten:

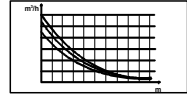
- Vorbereitungszeiten (z.B. Auslegen von Baggermatratzen oder das Umrüsten auf ein anderes Grabgefäß)
- Unterbreuchszeiten für das Umsetzen an einen neuen Standort auf der gleichen Baustelle
- Betrieblich bedingte Unterbrechungen und Wartezeiten
- Einarbeitungs- und Abschlusszeit mit meist geringerer Leistung (Bild 1-3), da einerseits in der Lernphase erst der optimale Ablauf in der Prozesskette gefunden werden muss und andererseits in der Abschlussphase oft schon parallele Arbeiten anderer Gewerke beginnen, die Behinderungen verursachen können, oder noch Nacharbeiten durchgeführt werden müssen.

## Langzeitleistung

Die Langzeitleistung, auch Einsatzleistung  $Q_{ET}$  genannt, bezieht sich auf die Einsatzzeit der Geräte, die sich aus der Dauer der Prozesse ergibt, und baut auf dem Konzept der Kurzzeitleistung auf. Die Kurzzeitleistung wird dazu ergänzt durch Vorbereitungs- und Einarbeitungszeiten, durch unproduktive betrieblich bedingte Wartezeiten, die Dauer des Umsetzens an einen anderen Arbeitsort auf der Baustelle sowie Zeiten für den Abschluss der Arbeiten.

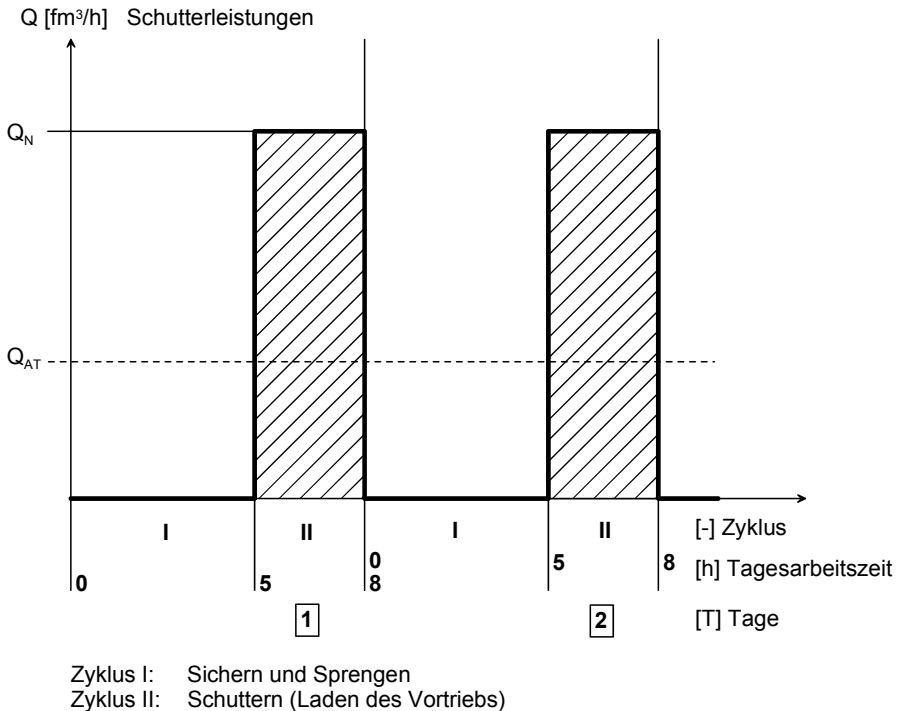
Beim Sprengvortrieb im Untertagebau, einem zyklisch ablaufenden Vortriebsverfahren, wird nach dem Sprengen das Haufwerk geladen. Diese Arbeiten beanspruchen nur 3 – 4 Stunden einer Schicht von 8 – 10 Stunden. In der restlichen Zeit werden andere Arbeiten durchgeführt. Das bedeutet, dass die effektive Nutzleistung  $Q_N$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] des Geräts we-

# Leistung im Baubetrieb



sentlich von der Durchschnittsleistung  $Q_{AT}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] pro Arbeitstag abweichen kann. Das Gleiche gilt auch bei Baugruben, wenn z.B. in einer gewissen Tiefe der Aushub unterbrochen werden muss, um Anker- oder Aussteifungsarbeiten durchzuführen.

## Leistung bei zyklischen Arbeiten

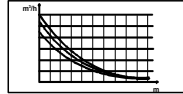


**Bild 1-2: Darstellung der Schutterleistung in Abschlagszyklen**

Daher müssen die Leistungen einerseits nach Arbeitsabläufen und andererseits nach verschiedenen Zeitabschnitten wie folgt differenziert werden:

- Die Wahl der Maschinen erfolgt aufgrund der erforderlichen Nutzleistung  $Q_N$  bzw. Grundleistung  $Q_0$ .
- Die Tagesleistung  $Q_{AT}$  ist eine Durchschnittsleistung, die meist dann deutlich von  $Q_N$  abweicht, wenn zyklische Arbeiten durchgeführt wer-

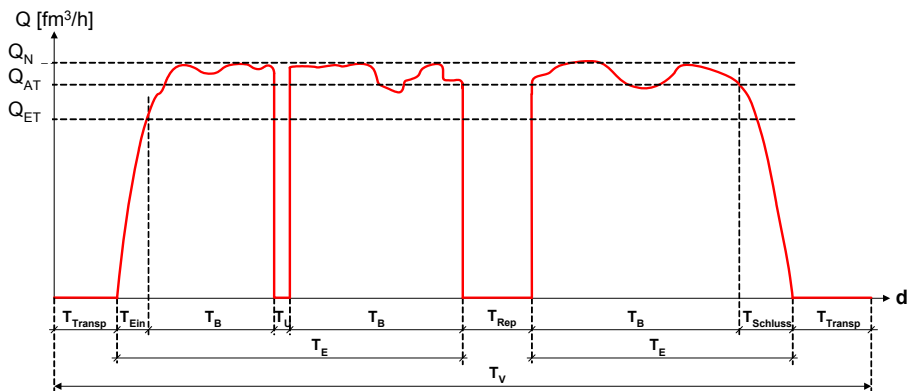
# Leistung im Baubetrieb



den, oder bei Geräteumsetzungen zu anderen Arbeitsstätten mit zyklischem Charakter.

- Die Einsatzleistung  $Q_{ET}$  über die gesamte Einsatzzeit ist meist für kalkulatorische Zwecke erforderlich und beinhaltet neben der Nutzleistung  $Q_N$  bzw. Tagesleistung  $Q_{AT}$  die Reduktion durch die Vorbereitungszeit, Einarbeitungs- und Abschlussphase sowie betrieblich bedingte Unterbrechungen.

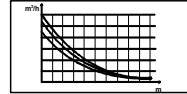
## Allgemeiner Leistungsverlauf während der Vorhaltezeit



**Bild 1-3: Leistungsverlauf**

|               |   |             |
|---------------|---|-------------|
| $Q_N$         | Nutz-/Dauerleistung des Geräts<br>$\triangleq$ Leistung bezogen auf die Betriebszeit            | $[fm^3/h]$  |
| $Q_{AT}$      | Tagesdurchschnittsleistung des Geräts<br>$\triangleq$ Leistung bezogen auf die Tagesarbeitszeit | $[fm^3/h]$  |
| $Q_{ET}$      | mittlere Einsatzleistung des Geräts<br>$\triangleq$ Leistung bezogen auf die Einsatzzeit        | $[fm^3/h]$  |
| $T_{Transp}$  | Zeit für den Transport  | $[h]; [AT]$ |
| $T_{Ein}$     | Einarbeitungszeit   | $[h]; [AT]$ |
| $T_B$         | Betriebszeit des Geräts pro Arbeitstag  | $[h]; [AT]$ |
| $T_U$         | Zeit für betrieblich bedingte Unterbrechungen   | $[h]; [AT]$ |
| $T_{Rep}$     | Zeit für Reparaturen  | $[h]; [AT]$ |
| $T_{Schluss}$ | Dauer der Schlussphase  | $[h]; [AT]$ |
| $T_E$         | Einsatzzeit der Geräte  | $[h]; [AT]$ |
| $T_V$         | Vorhaltezeit  | $[h]; [AT]$ |
| $d$           | Vorgangsdauer – mögliche Betriebs- bzw. Arbeitstage gemäss Terminplan (Einsatzzeit)             | $[h]; [AT]$ |

# Leistung im Baubetrieb



Die **effektive Leistung**, bezogen auf die **Arbeitszeit**  $Q_{AT}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ] bzw. die **Einsatzzeit**  $Q_{ET}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ], ergibt sich zu:

$$\text{Arbeitszeit:} \quad Q_{AT} = Q_N \times \frac{T_B}{T_{AT}} \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

$$\text{Einsatzzeit:} \quad Q_{ET} = Q_{AT} \times \frac{T_{AT}}{T_{ET}} = Q_N \times \frac{T_B}{T_{ET}} \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

|          |  |                          |
|----------|--|--------------------------|
| $Q_{AT}$ | Tagesdurchschnittsleistung des Geräts  | $[\text{fm}^3/\text{h}]$ |
| $Q_{ET}$ | mittlere Einsatzleistung des Geräts    | $[\text{fm}^3/\text{h}]$ |
| $Q_N$    | Nutz-/Dauerleistung des Geräts         | $[\text{fm}^3/\text{h}]$ |
| $T_B$    | Betriebszeit des Geräts pro Arbeitstag | $[\text{h}/\text{AT}]$   |
| $T_{AT}$ | Arbeitsstunden pro Arbeitstag          | $[\text{h}/\text{AT}]$   |
| $T_{ET}$ | Einsatzstunden pro Arbeitstag          | $[\text{h}/\text{AT}]$   |

Die **erforderliche durchschnittliche Leistung**, bezogen auf die **Einsatzzeit**  $Q_{ET\text{-erf.}}$  [ $\text{fm}^3/\text{h}$ ], ergibt sich zu:

$$Q_{ET\text{-erf.}} = \frac{V}{T_{AT} \times d} \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

|          |   |                        |
|----------|---|------------------------|
| $V$      | Gesamtaushub (Arbeit)   | $[\text{fm}^3]$        |
| $T_{AT}$ | Arbeitsstunden pro Arbeitstag   | $[\text{h}/\text{AT}]$ |
| $d$      | Vorgangsdauer – mögliche Betriebs- bzw. Arbeitstage gemäss Terminplan (Einsatzzeit) | $[\text{AT}]$          |

## Anzahl der Lösegeräte $n$ [-]

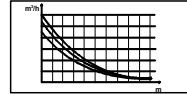
$$n \geq \frac{Q_{ET\text{-erf.}}}{Q_{ET}} \quad [-]$$

$$Q_{ET} = Q_N \times \frac{T_B}{T_{ET}} \quad [\text{fm}^3/\text{h}]$$

|          |  |                          |
|----------|--|--------------------------|
| $Q_{ET}$ | mittlere Einsatzleistung eines Geräts  | $[\text{fm}^3/\text{h}]$ |
| $T_B$    | Betriebszeit des Geräts pro Arbeitstag | $[\text{h}/\text{AT}]$   |
| $T_{ET}$ | Einsatzstunden pro Arbeitstag          | $[\text{h}/\text{AT}]$   |



# Leistung im Baubetrieb



Die **Leistung  $Q_{AT}$  in der Arbeitszeit  $T_{AT}$  entspricht weitgehend der Nutz-/Dauerleistung  $Q_N$** , wenn keine zusätzlichen Zeitaufwendungen notwendig werden, die über die in den Gerätezustandsfaktoren, z.B. für tägliche Routinewartung, sowie im Geräteausnutzungsfaktor für kleinere Umsetzungsarbeiten und Erholungspausen schon enthaltenen Zeitaufwendungen hinausgehen.

Die **Arbeitszeit  $T_{AT}$  [h/AT]** ergibt sich aus:

$$T_{AT} = \sum_i T_i = T_B + \sum_j T_j \quad [h/AT]$$

Die Arbeitszeit pro Tag  $T_{AT}$  setzt sich zusammen aus:

- der Betriebszeit des Geräts  $T_B$
- den möglichen gewollten und ungewollten Unterbrechungen  $\sum_j T_j$ ,  
z.B. durch Umsetzen der Maschinen, Unterbruch in der Versorgung, kleine Wartungsarbeiten, zyklische Arbeiten

**Die Arbeitszeit  $T_{AT}$  entspricht normalerweise der Regelarbeitszeit auf der Baustelle.**

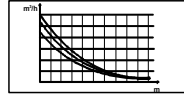
Man kann davon ausgehen, dass die Nutzleistung über Stunden und Tage bei gleicher Arbeit aufrechterhalten werden kann. Muss jedoch das Gerät umgesetzt oder müssen z.B. in einer Baugrube zuerst die Anker gesetzt werden, bevor mit dem Aushub fortgefahren werden kann, dann entspricht die Nettoarbeitszeit des Geräts oder der Prozesskette nicht der Arbeitszeit, der Einsatzzeit und vor allem nicht der Vorhaltezeit.

Unter der **Einsatzzeit  $T_{ET}$**  werden alle Zeiten zusammengefasst, an denen das Gerät in Betrieb ist. Dazu gehören:

- Vorbereitungszeiten
- Einarbeitungszeit
- Betriebszeit
- Umsetzen auf der Baustelle
- Baubetrieblich bedingte Wartezeit
- Schlussphase

In dieser Zeit ist das Gerät ohne Unterbrechung durch Wartungen, Reparaturen oder Stillstandstage in Betrieb.

# Leistung im Baubetrieb



Damit ergibt sich die **Einsatzzeit**  $T_{ET}$  zu:

$$T_{ET} = T_{Vor} + T_{Ein} + T_B + T_U + T_{Um} + T_{Schluss} \quad [h]; [AT]$$

|               |   |           |
|---------------|---|-----------|
| $T_{Vor}$     | Vorbereitungszeiten                           | [h]; [AT] |
| $T_{Ein}$     | Einarbeitungszeit                             | [h]; [AT] |
| $T_B$         | Betriebszeit                                  | [h]; [AT] |
| $T_U$         | Zeit für betrieblich bedingte Unterbrechungen | [h]; [AT] |
| $T_{Um}$      | Umsetzzeiten auf der Baustelle                | [h]; [AT] |
| $T_{Schluss}$ | Dauer der Schlussphase                        | [h]; [AT] |

Die **Vorhaltezeit**  $T_{VT}$  umfasst die Einsatzzeit und das Einrichten sowie die Auf-, Um- und Abbau der Geräte mit den dazugehörigen Transportzeiten, die Stillliegezeit auf der Baustelle und die Zeiten für Wartung/Pflege und Reparatur. Damit ergibt sich die **Vorhaltezeit**  $T_{VT}$  zu:

$$T_{VT} = T_{ET} + T_{Transp} + T_{Aufbau} + T_{Rep} + T_{Wartung} + T_{Still} + T_{Umbau} + T_{Abbau} \quad [h]; [AT]$$

|               |                                |           |
|---------------|--------------------------------|-----------|
| $T_{Transp}$  | Zeiten für An- und Abtransport | [h]; [AT] |
| $T_{Aufbau}$  | Zeiten für den Aufbau          | [h]; [AT] |
| $T_{Rep}$     | Reparaturzeiten                | [h]; [AT] |
| $T_{Wartung}$ | Wartungs- und Pflegezeiten     | [h]; [AT] |
| $T_{Still}$   | Stillliegezeiten               | [h]; [AT] |
| $T_{Umbau}$   | Umbauzeiten                    | [h]; [AT] |
| $T_{Abbau}$   | Abbauzeiten                    | [h]; [AT] |

Es ist daher **sehr wichtig**, dass bei **Leistungsangaben** der **Bezugszeitrahmen** genau **angegeben** wird.

Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und  
Bauprozesse

Girmscheid, G.

2010, VIII, 300 S. 90 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-13794-5