

Formelsammlung Baubetrieb

Zusammengestellt von:
Dr. Holger Schopbach
Andre Sennhenn

Stand: 04.11.2021

U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T

Institut für
Bauwirtschaft



Baustelleneinrichtungsplanung

1-1

Die Baustelleneinrichtungsplanung (BE) ist ein wichtiger Bestandteil der Arbeitsvorbereitung mit der Aufgabe, die Elemente der Baustelleneinrichtung zu dimensionieren und so zueinander und zum Bauwerk zu ordnen, dass ein optimaler Bauablauf entsteht.

Elemente der Baustelleneinrichtung

- | | |
|---------------------------------------|---|
| • Hebezeuge/ Turmdrehkrane (Tab. 1-2) | • Sicherheitseinrichtungen (Tab. 1-6) |
| • Produktionsbereiche (Tab. 1-3) | • Sozialeinrichtungen und Büroräume (Tab. 1-7) |
| • Lagerflächen (Tab. 1-4) | • Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen (Tab. 1-8) |
| • Baustraßen und Bauwege (Tab. 1-5) | • Symbolik der Baustelleneinrichtungsplanung (Tab. 1-9) |

Turmdrehkrane

1-2

Bestimmung der Krananzahl

1-2.a

Anzahl der Beschäftigten [Arbeitskräfte pro Kran]
 [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]

Tätigkeit	Mischbauweise	Stahlbetonbauweise
Betoneinbau mit Kran	≤ 15	≤ 13
Betoneinbau mit Pumpe	≤ 25	≤ 25
Fertigteilmontage	3 bis 5	
Durchschnittlich	20	

Volumen des Baukörpers [Kubikmeter BRI pro Kran und Monat]
 [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]

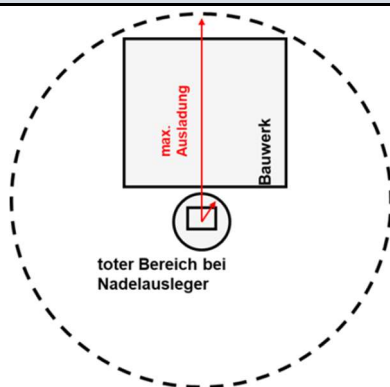
Mischbauweise	Stahlbetonbauweise
1.500 – 2.000	2.500 – 3.500

Baustoffgesamtbedarf [Tonnage pro Kran und Monat]
 [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]

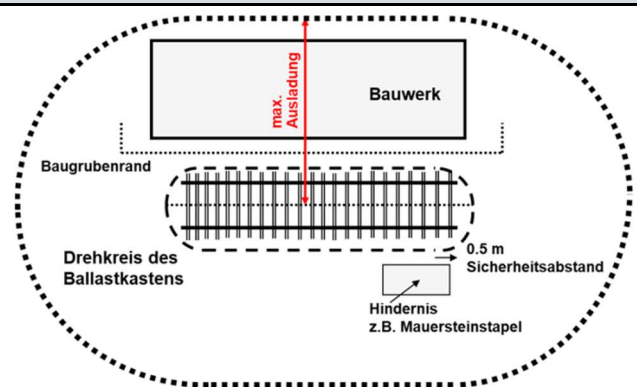
Material	Mischbauweise	Stahlbetonbauweise
Baustoffe	600 - 700	
Bau- und Bauhilfsstoffe	700 - 800	

Kranstandort

1-2.b



Anordnung bei stationärem Kran (exemplarisch)



Anordnung bei gleisgebundenem Kran (exemplarisch)

Sicherheitsabstände			1-2.c
Sicherheitsabstände zu Baugruben [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]			
	Geböschte Baugruben und Gräben	Baugruben mit Normverbau	
bis 12t Gesamtgewicht	≥ 1,0 m	≥ 0,6 m	
über 12t Gesamtgewicht	≥ 2,0 m	≥ 1,0 m	
Sicherheitsabstände zu elektrischen Freileitungen [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]			
Max. Spannung der Freileitung	Sicherheitsabstand		
Bis 1.000 V (1 kV)	≥ 1,0 m		
1 kV bis 110 kV	≥ 3,0 m		
110 kV bis 220 kV	≥ 4,0 m		
220 kV bis 380 kV	≥ 5,0 m		
Unbekannte Spannungsgröße	≥ 5,0 m		
Traglastmoment			1-2.d
Lastmoment = max. Traglast [t] · Ausladung [m]			
Richtwerte Betonkübelgewicht [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]			
Fassungsvermögen	Leergewicht Kübel	Gewicht inkl. Beton	
500 l	150 – 200 kg	Ca. 1.400 kg	
750 l	200 – 270 kg	Ca. 2.000 kg	
1.000 l	220 – 350 kg	Ca. 2.800 kg	
1.500 l	370 – 450 kg	Ca. 4.000 kg	
2.000 l	450 – 500 kg	Ca. 5.300 kg	

Produktionsbereiche		1-3
Zimmerplatz (Schalungsvorbereitung) <ul style="list-style-type: none"> • Holzlager ca. 5,0m · 3,5m • Kreissäge und Werkbank (Überdacht) ca. (3,0 bis 4,0m) · 3,5m • Lager für fertige Schalung ca. 5,0m · 3,5m 	Materialaufbereitungsanlage <ul style="list-style-type: none"> • Verfahren: Brechen, Sieben, Mischen 	
Betonstahlbiegeplatz <ul style="list-style-type: none"> • Schneide- und Biegeeinrichtungen vorhanden • Ähnliche Abmaße wie für Zimmerplatz 	Reparatur-Werkstätten <ul style="list-style-type: none"> • Zur Reparatur von Gegenständen 	
Betonmischanlage <ul style="list-style-type: none"> • Vertikalanlagen (Mischtürme); Leistung ca. 50 – 130 m³/h • Horizontalanlagen; Leistung ca. 30 – 100 m³/h 	Feldfabrik für Betonfertigteile <ul style="list-style-type: none"> • Zur Produktion von Betonfertigteilen auf der Baustelle 	

Lagerflächen		1-4
Allgemeine Lagerflächen		1-4.a
<u>Mauersteine</u> <ul style="list-style-type: none"> • 2-3 Paletten mit Mauersteinen übereinander stapelbar • Flächenbedarf ca. 1-3 m³ pro m² 	<u>Betonstabstahl und Betonstahlmatten</u> <ul style="list-style-type: none"> • Stabstahl: Länge ca. 6 – 10 m, Breite 3 – 5 m • Mattenstahl: ca. 12 m² pro Mattenstapel, Stapelhöhe ≤ 2 m 	
<u>Schal- und Rüstmaterial</u> <ul style="list-style-type: none"> • Flächenbedarf ca. 0,35 m² pro m² 	<u>Fertig- und Halbfertigteile</u> <ul style="list-style-type: none"> • Flächenbedarf ca. 1 -2 m² pro m³ 	
<u>Mulden und Abfallcontainer</u> <ul style="list-style-type: none"> • Mulde: ca. 7 m² zzgl. Rangierfläche davor • Container: ca. 12 – 18 m² zzgl. Rangierfläche davor 	<u>Mobile Wechselsilos</u> <ul style="list-style-type: none"> • Mindeststellfläche: ca. 5,3 m² (Ø ca. 2,6 m) 	

Lagerflächen für Erdaushub und Oberboden		1-4.b
$V = \frac{A_u + A_o}{2} \cdot h$		<p>A_u = Fläche der Baugrubensohle einschl. Arbeitsräume A_o = Theoretische Grundrissfläche in Höhe der oberen Baugrubenkante h = mittlere Baugrubentiefe = (Summe Höhen in Ecken) / (Anzahl der Ecken)</p>
<p><u>Oberboden</u> Die Zwischenlagerung erfolgt für:</p> <ul style="list-style-type: none"> humose, feinkörnige Oberboden mit vielen Pflanzenresten in 1,3 m hohen Mieten (max. 2,0 m) stark sandige Oberboden mit wenigen Pflanzenresten in max. 2,5 m hohen Mieten <p>Der Böschungswinkel dieser in Dreiecks- oder Trapezform ausgebildeten Mieten sollte 45° (max. 60°) betragen, die Miete sollte zwischen 3 und 5 m breit sein. Die Oberfläche sollte ein geringes Gefälle von mind. 2% aufweisen.</p>	<p><u>Unterboden</u> Bei Unterböden werden geringere Anforderungen an die Art der Lagerung gestellt. Die Schütthöhe wird von der Geländesituation sowie der maschinellen Ausstattung beeinflusst und sollte max. 5 m betragen. Die Lagerflächen von Ober- und Unterboden sollten möglichst außerhalb der Fertigungs- und Verkehrsbereiche liegen.</p>	

Baustraßen und Bauwege		1-5
	<ul style="list-style-type: none"> Einspurige Baustraßen haben eine Breite von 3,5 m bis 4,5 m (mindestens 3,0 m) Zweispurige Baustraßen haben eine Breite von 6 m bis 6,5 m (mindestens 5,5 m) Ausweich- und Entladestellen haben eine Breite von 5,5 bis 6,0 m und die Länge eines LKW mit Anhänger (18 m bis 20 m) 	
Parkflächen		
Stellfläche je Parkplatz:	5 m · 2,5 m	
PKW-Besetzungsgrad Beschäftigte:	2 bis 4	
PKW-Besetzungsgrad Bauleiter / Polier:	1	

Sicherheitseinrichtungen		1-6
Allgemeine Sicherheitseinrichtungen		1-6.a
<p><u>Absturzsicherungen und Gerüste</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Staatliches und EU-Recht DGUV Vorschriften DGUV Regeln DGUV Informationen DGUV Grundsätze 	<p><u>Sicherungen zum Schutz des öffentlichen Verkehrs</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA) Straßenverkehrsordnung (StVo) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) 	
<p><u>Baugrubensicherung</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Senkrechte, ungesicherte Baugruben Abgeböschte Baugruben Spritzbetonsicherung Träger-Bohl-Verbau Spundwände Bohrpfahlwände Schlitzwände 	<p><u>Bauzäune und Absperrungen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Offene Zäune <ul style="list-style-type: none"> Stahlfertigelementgitter mit Betonfüßen Holzmatte, Maschendraht, Baustahlmatten Holzrahmen Geschlossene Zäune <ul style="list-style-type: none"> Großformatige Holztafeln Holzbohlen oder Bretterschalung 	
<p><u>Erste Hilfe Einrichtungen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Erste Hilfe – Organisation im Baubetrieb a 004: Erste Hilfe 204-002: Erste Hilfe Poster 	<p><u>Sicherung gegen Grundwasser</u></p> <ul style="list-style-type: none"> anfallendes Wasser durch Wasserhaltungsmaßnahmen abpumpen Baugrube so herstellen, dass die Baugrubenränder Wasserundurchlässig sind 	

Erste Hilfe Einrichtungen [Bau BG: Erste Hilfe – Organisation im Betrieb]		1-6.b								
Erf. Personal und Material	Beschäftigtenanzahl									
	Bis 10	Bis 20	21	30	40	51	101	251	301	601
Melde-Einrichtung (Telefon, Funk)	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Ja
Aushang „Erste-Hilfe“	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Ja
Krankentrage			ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Ja
Sanitätsraum						ja	ja	ja	ja	ja

Verbandskasten C* (klein) – DIN 13157	1									
Verbandskasten E* (groß) ¹⁾ – DIN 13169		1	1	1	1	2	3	6	7	13
Ersthelfer	1	1	2	3	4	5	10	25	30	60
Betriebssanitäter ²⁾							ja	ja	ja	ja
Verbandbuch / Meldeblock	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	Ja	ja
Rettungsgeräte und -transport-mittel	Bei schwer zugänglichen Arbeitsplätzen (z.B. Tunnelbau, in tiefen Baugruben etc.)									
* Nach Benutzung wieder auffüllen	1)	Zwei kleinere Verbandkästen ersetzen einen Großen								
** Bei 2-10 Beschäftigten	2)	Es kann unter bestimmten Voraussetzungen im Einvernehmen mit der Berufsgenossenschaft abgesehen werden								

Sozialeinrichtungen und Büroräume 1-7

Platzbedarf von Sozialeinrichtungen und Büroräume 1-7.a

Bestimmung des Platzbedarfes		
Bezeichnung	Platzbedarf [m ²] je Arbeitskraft	Platzbedarf [m ²] je Bauleiter / Polier
Bürocontainer	-	6 - 8
Besprechungscontainer	1 - 2 (je weiterer Teilnehmer)	1 - 2
Magazin	0,35	-
Wohnunterkunft (bei nicht Ortsansässigkeit)	1	-
Tagesunterkunft	1 - 1,5	-

Bestimmung der Nutzfläche				
Containertyp	Innenmaß [mm] (l·b·h)	Außenmaß [mm] (l·b·h)	Grundfläche innen [m ²]	Volumen [m ³]
8 Fuß Container	2,278 · 2,112 · 2,060	2,438 · 2,200 · 2,260	4,8	9,9
10 Fuß Container	2,831 · 2,352 · 2,390	2,991 · 2,438 · 2,591	6,7	15,9
20 Fuß Container	5,898 · 2,352 · 2,390	6,058 · 2,438 · 2,591	13,9	33,1
20 Fuß High Cube	5,898 · 2,352 · 2,690	6,058 · 2,438 · 2,896	13,9	37,4
40 Fuß Container	12,032 · 2,352 · 2,395	12,192 · 2,438 · 2,591	28,4	67,7
40 Fuß High Cube	12,032 · 2,352 · 2,698	12,192 · 2,438 · 2,896	28,4	76,4
45 Fuß High Cube	13,556 · 2,345 · 2,695	13,716 · 2,438 · 2,896	31,8	86,0

Sanitäreinrichtungen [ASR A4.1] 1-7.b

Anzahl der Beschäftigten (einschl. BL / Polier)	Waschplätze	Duschplätze	Toiletten / Urinale
bis 5	1	0	1 *)
6 bis 10	2	0	1 *)
11 bis 20	3	1	2
21 bis 30	5	1	3
31 bis 40	7	2	4
41 bis 50	9	2	5
51 bis 75	12	3	6
76 bis 100	14	4	7
Je weitere 30	+3	+1	+1

Eine Kalt- und Warmwasserstelle je 5 Beschäftigte
 Eine Dusche je 20 Beschäftigte
 *) für männliche Beschäftigte wird zusätzlich 1 Urinal empfohlen

Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen **1-8**

Stromversorgung **1-8.a**

<u>Wirkleistung Lichtstrom</u> $P_{W,L} = P_L \cdot a_L$	P_L = Gesamtleistungsaufnahme Lichtstrom a_L = Gleichzeitigkeitsfaktor Lichtstrom = 0,8 – 1,0
---	--

<u>Scheinleistung Kraftstrom</u> $P_{S,M} = \frac{P_M}{\mu \cdot \cos \alpha} \cdot a_M$	P_M = Gesamtleistungsaufnahme Drehstrom μ = Wirkungsgrad = 0,75 – 0,85 $\cos \phi$ = Leistungsfaktor = 0,6 – 0,8 a_M = Gleichzeitigkeitsfaktor Drehstrom = 0,2 - 0,8
---	---

<u>Gesamtanschlussleistung</u> $P = P_{W,L} + P_{S,M} = P_L \cdot a_L + \frac{P_M}{\mu \cdot \cos \alpha} \cdot a_M$	
---	--

<u>Erforderlicher Leitungsquerschnitt [mm²]</u> $A_{\text{erf.}} = \frac{I \cdot P \cdot 10^3}{\chi \cdot u \cdot U}$	l = Leistungslänge [m] χ = Material (Leitfähigkeit) des Kabels [m/($\Omega \cdot \text{mm}^2$)] Kupfer: 57; Aluminium: 35 P = Stromanschlussleistung (Strombedarf der Baustelle) [W] U = Spannung in der Leitung [V] u = Spannungsverlust [V] (2,5 %)
---	---

Leitungsquerschnitte [mm ²]															
1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300

Mindestquerschnitte bei Baustromverteilern [mm²] [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]

Nenngröße [A]	25	63	100	160	250	400	630
Mindestquerschnitt	10	16	35	50	120	150	2 x 150

Wasserversorgung **1-8.b**

Richtwerte für den mittleren Wasserbedarf auf Baustellen [Schach/Otto: Baustelleneinrichtung]

Mittlerer Wasserbedarf für	Richtwert
Pausenraum, WC, Waschen	20-30 Liter/Person und Tag
Unterkunft, WC, Waschen, Duschen	50 Liter/Person und Tag
Anmachwasser Mörtel (Beton)	200 – 250 (100-200) Liter/m ³
Wechselsilos für Mörtel etc.	1,5 – 2 m ³ /h
Herstellung von Mauerwerk	80 -100 Liter/m ³
Sichtbetonschalung Holz nässen	5 Liter/m ² Schalungsfläche
Nachbehandlung von Beton	30 Liter/m ² Betonfläche
Verblendmauerwerk abwaschen	15 -20 Liter/m ²
Reinigung größerer Geräte der Estrich- oder Mörtelherstellung	100 -130 Liter pro Gerät
Reinigung von Arbeitsgeräten von Hand	20 Liter pro Gerät
Sonstiges	5 m ³ /Tag

Die Dimensionierung der Wasserversorgung erfolgt üblicherweise über den stündlichen Maximalbedarf, der ca. 50% über dem mittleren Stundenbedarf liegt. Zusätzlich sind Leitungsverluste in Höhe von 5% bis 20% zu berücksichtigen.

Der erforderliche Rohrlitungsdurchmesser [mm] berechnet sich überschlägig nach folgender Formel:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{v \cdot \pi \cdot 10}} \cdot 100$$

d = Rohrleitungsinwenddurchmesser [mm]
 Q = Durchflussmenge (stündlicher Maximalbedarf) [l/s]
 v = Fließgeschwindigkeit (im Mittel 0,8) [m/s]

Durchmesser von Wasserleitungen

Zoll	3/8"	1/4"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
mm	9,6	12,7	19,1	25,4	31,8	38,1	50,8

Sonstige Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen **1-8.c**

Abwasseranschluss
Telefon- und Internet-Anschluss
Druckluft und Heizung

<h3>Großgeräte</h3> <p>Turmdrehkran TDK (Untendreher) Turmdrehkran TDK (Obendreher) Turmdrehkran TDK (fahrbarer Obendreher auf Gleis) MK Mobilkran ABP Autobetonpumpe AL = ... m Auslegerlänge</p>	<h3>Lagerflächen</h3> <p>Lagerfläche für z. B. Schalung, Gerüste Kies, Sand, Aushub Mutterboden Ziegel Baustoffe Gefahrgüterbereich z. B. leicht entzündlich Silo</p>	<h3>Baustellensicherung</h3> <p>***** Bauzaun Baustellentor ***** Baumschutz Baum (erhalten) Baum (fällen) Strauch (erhalten) Strauch (roden) OK Dach = ... m Bestandsbauten Böschung ——— Grundstücksgrenze Höhenpunkt Vermessungspunkt Schächte F Feuerlöscher Verbandskasten Bauschild Verkehrsschilder z. B. Halteverbot z. B. Achtung, Baustelle</p>
<h3>Gebäude und Container</h3> <p>BL Büro Bauleiter P Büro Polier WC Du WC, Duschen (San.) WC Toilettenzelle (San.) W Tagesunterkunft (W) Umkleiden M Magazin (M) Sanitätsraum Gas Gastank (Heizung)</p>	<h3>Medienversorgung</h3> <p>Hy Wasser (Hydrant) Wasseranschluss Abwassereinleitung T Telefonanschluss Stromanschluss Stromverteiler (Anschluss-, Verteiler- oder Geräte-Anschlusschrank) A/z frei verlegte Leitung oooooo erdverlegte Leitung Kabelbrücke</p>	<h3>Verkehrs- / Transportwege</h3> <p>Straße, Fußweg überdachter Fußweg Laufsteg Flucht- und Rettungsweg Sammelpunkt Baustellenzufahrt Baustraße P Parkplatz freizuhaltende Fläche</p>
<h3>Schutz- u. Arbeitsgerüste</h3> <p>Standgerüst Konsol-, Hängegerüst, Arbeitsbühne Treppenturm</p>	<h3>Aufzüge</h3> <p>Schwenkarmaufzug vertikaler Bauaufzug 2 t Traglast Schrägaufzug 200 kg Traglast</p>	<h3>Abfallentsorgung</h3> <p>Mulde, z. B. für Bauschutt Bauschutt Holzabfall Holzabfall Metallabfall Metallabfall Tonnen, z. B. für Baustellenabfall</p>

Bauablaufplanung

2-1

Die Bauablaufplanung ist ein wichtiger Bestandteil der Arbeitsvorbereitung vor Beginn der Ausführung mit dem Ziel der Ermittlung eines möglichst reibungsfreien und ungestörten Bauablaufes im vertraglich vorgesehenen Zeitraum. Ebenfalls soll gewährleistet werden, dass die Kapazitäten optimal eingesetzt werden.

Reihenfolge der Ablaufplanung

1. Leistungen der Leistungsbeschreibung entnehmen und zu Vorgängen zusammenfassen, Vorgangsliste aufstellen
2. Aufwandswerte als Grundwerte für die einzelnen manuellen und maschinellen Arbeiten ermitteln
3. Erstellungsdauer der einzelnen Vorgänge berechnen
4. Abhängigkeiten der Vorgänge festlegen
5. Entwurf eines vorläufigen Bauzeitplans auf Grund der vorgegebenen Termine
6. Ungefähren Einsatz der Betriebsmittel und des Personals ermitteln (vorl. Geräteliste, Personalbedarfsliste, Zeitraum Materialbedarf)
7. Überprüfung und Korrektur des vorläufigen Bauzeitplans (Verfügbarkeit der Maschinen, Arbeitskräfte, Lieferzeiten Baustoffe)
8. Vergleich mit den Vertragsterminen

Vorgangsdauern und Aufwandswerte

2-2

Leistung

2-2.a

Für allgemeine Arbeiten	$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeiteinheit}}$
Für maschinenintensive Arbeiten z.B. beim Erdaushub	$\text{Leistung} = \text{Maschinenleistung} = \frac{\text{Arbeitsergebnis}}{\text{Dauer des Vorgangs}}$
Vorwiegend manuelle Arbeit	$\text{Aufwand} = \frac{\text{Arbeitszeit}}{\text{Mengeneinheit}}$

Dauer

2-2.b

$D_i = \frac{Q_i \cdot v_i}{k_i \cdot p_i}$	<p>D_i = Dauer des Vorgangs i [Stunden, Tage, Wochen] Q_i = Menge des Vorgangs i [m^3, m^2, etc.] v_i = Aufwandswert des Vorgangs i [Stunden/Leistungseinheit] k_i = Kapazität [Mann- bzw. Maschinenstunden pro Zeiteinheit] p_i = Leistungsgrad des Arbeiters bzw. der Gruppe</p>
---	---

Netzplan

2-3

Erstellung eines Netzplans

2-3.a

1. Schritt: Vorarbeiten

In einem ersten Schritt müssen alle Vorgänge beschrieben und in einer Vorgangsliste erfasst werden. Anschließend müssen die Dauern der einzelnen Vorgänge ermittelt und ebenfalls in der Vorgangsliste notiert werden.

2. Schritt: Analyse des Ablaufes

Im nächsten Schritt müssen die Abhängigkeiten der einzelnen Vorgänge erfasst werden. Dafür werden in der Vorgangsliste hinter jedem Vorgang die Vorgänger erfasst und die zeitlichen Abhängigkeiten als Anfangs-Anfangs-Folge ermittelt. Daraus resultierend wird der Netzplan mit seinen einzelnen Vorgängen (Knoten) und den Beziehungen (Kanten bzw. Pfeile) sowie der zeitlichen Abfolge (Zeiten an den Kanten) erstellt. Alternativ können die Abhängigkeiten und die zeitlichen Zusammenhänge auch direkt bei der Erstellung des Netzplans erfasst werden.

3. Schritt: Analyse der Zeit

In diesem Schritt erfolgt die Zeitplanung pro Vorgang und damit einhergehend für die komplette Maßnahme. Nach definierten Regeln werden nacheinander für die einzelnen Vorgänge frühester Anfang und frühestes Ende, spätester Anfang und spätestes Ende sowie Zeitreserven (Puffer) ermittelt. Die Vorgänge ohne zeitliche Reserven bilden den sogenannten kritischen Weg ab: zeitliche Verzögerungen bei diesen Vorgängen führen zu einer Verzögerung der Gesamtmaßnahme.

4. Schritt: Analyse der Ressourcen

Nachdem die Zeitplanung abgeschlossen wurde, erfolgt die Ermittlung der erforderlichen Kapazitäten an Arbeitskräften, Geräten und Materialien. Insbesondere der Einsatz an Arbeitskräften sollte über die Laufzeit der Maßnahme gesehen einigermaßen ausgeglichen sein und keine ständigen Sprünge aufweisen. Daraus resultierend ergeben sich ggf. nochmals zeitliche Verschiebungen im Netzplan.

5. Schritt: Analyse der Kosten

Nachdem die Zeit- und Ressourcenplanung abgeschlossen ist, erfolgt als letzter Schritt die Analyse der Kosten.

Elemente eines Netzplans

2-3.b

- V = Vorgang, dargestellt als Rechteck
- = Abhängigkeit, dargestellt als Pfeil
- Z = zeitlicher Mindestabstand der Beginn-Zeitpunkte bei zwei aufeinanderfolgenden Vorgängen (Anfangsfolge); dargestellt als Zahl am Pfeil

Anordnungsbeziehungen

2-3.c

Der einem Vorgang unmittelbar vorgeordneter Vorgang wird als Vorgänger, der einem Vorgang unmittelbar nachgeordneter Vorgang wird als Nachfolger bezeichnet. Zwischen den Vorgängen können folgende Anordnungsbeziehungen angesetzt werden:

Normalfolge NF:

Anordnungsbeziehung vom Ende eines Vorgangs zum Anfang seines Nachfolgers (Ende-Anfang-Beziehung)

Anfangsfolge AF:

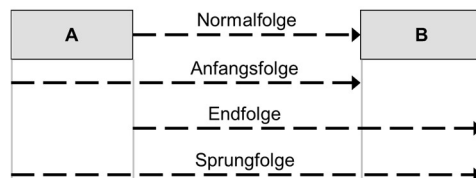
Anordnungsbeziehung vom Anfang eines Vorgangs zum Anfang seines Nachfolgers (Anfang-Anfang-Beziehung)

Endfolge EF:

Anordnungsbeziehung vom Ende eines Vorgangs zum Ende seines Nachfolgers (Ende-Ende-Beziehung)

Sprungfolge SF:

Anordnungsbeziehung vom Anfang eines Vorgangs zum Ende seines Nachfolgers (Anfang-Ende-Beziehung)



Berechnung der Vorgangszeiten

2-3.d

- D = Vorgangsdauer
- FA = frühester Anfang des Vorganges
- SA = spätester Anfang des Vorganges
- FE = frühestes Ende des Vorganges
- SE = spätestes Ende des Vorganges
- FP = freie Pufferzeit
- GP = gesamte Pufferzeit

Vorgangs-Nr.		Vorgangsbeschreibung		
		D	FA	FE
		SA	SE	GP

Vorwärtsrechnung

1. Beim Startknoten frühesten Anfang gleich Null setzen ($FA = 0$). Bei der Vorwärtsrechnung wird dann der früheste Anfang eines jeden Vorgangsknotens ermittelt: $FA_i = FA_{i-1} + Z_{i-1 \rightarrow i}$
2. Für Abhängigkeitszeiten Z Anfang-Anfang-Beziehung zugrunde legen. Hat ein Vorgangsknoten mehrere Vorgänger, ist für FA_i der späteste Wert anzusetzen.
3. Nachdem für alle Knoten der früheste Anfang ermittelt wurde, wird anschließend für jeden Knoten das früheste Ende ermittelt: $FE_i = FA_i + D_i$
4. Am Ende der Vorwärtsrechnung steht der frühestmögliche Endzeitpunkt des Netzplans fest.

Rückwärtsrechnung

1. Vor Beginn der eigentlichen Rückwärtsrechnung wird das früheste Ende des Netzplanes gleichzeitig als das späteste Ende des Netzplanes eingesetzt: $FE_{Zielvorgang} = SE_{Zielvorgang}$
2. Bei der Rückwärtsrechnung wird anschließend zunächst der späteste Anfang eines jeden Vorgangsknotens ermittelt: $SA_i = SA_{i+1} - Z_{i \rightarrow i+1}$. Hat ein Vorgangsknoten i mehrere Nachfolger, so ist für SA_i der früheste Wert anzusetzen.
3. Nachdem für alle Knoten der späteste Anfang ermittelt wurde, wird anschließend für jeden Knoten das späteste Ende ermittelt: $SE_i = SA_i + D_i$

Berechnung der Pufferzeiten

1. Pufferzeiten sind Zeitspannen, um die die Lage eines Vorgangs verändert werden kann, ohne dass sich der Endzeitpunkt des verändert. Dabei wird zwischen Gesamtpuffer und freiem Puffer unterschieden.
2. Der Gesamtpufferzeit GP ist die Zeitspanne zwischen frühester und spätester Lage eines Vorganges, ohne dass sich die Gesamtdauer des Netzplanes verschiebt; der Gesamtpuffer wird für jeden Vorgangsknoten folgendermaßen ermittelt: $GP_i = SA_i - FA_i$ oder $SE_i - FE_i$. Bei mehreren Nachfolgern ist der kleinste Wert für GP_i anzusetzen.
3. Die freie Pufferzeit FP ist die Zeitspanne, um die ein Vorgang gegenüber seiner frühesten Lage verschoben werden kann ohne die früheste Lage seiner Nachfolger zu beeinflussen. Sie kann nur bei Vorgangsknoten mit einer Gesamtpufferzeit auftreten und wird folgendermaßen ermittelt: $FP_i = FA_{i+1} - FA_i - Z_{i \rightarrow i+1}$. Bei mehreren Nachfolgern ist der kleinste Wert für FP_i zu verwenden.

Ermittlung des kritischen Weges

1. Vorgänge mit einem Gesamtpuffer = 0 ($SA_i = FA_i$) liegen auf dem kritischen Weg. Der kritische Weg ist die Folge von Vorgängen, deren Gesamtpufferzeit = 0 ist. Der kritische Weg zieht sich durch den gesamten Netzplan, beginnend beim Start-, endend beim Zielknoten. Der kritische Weg wird farbig hervorgehoben!

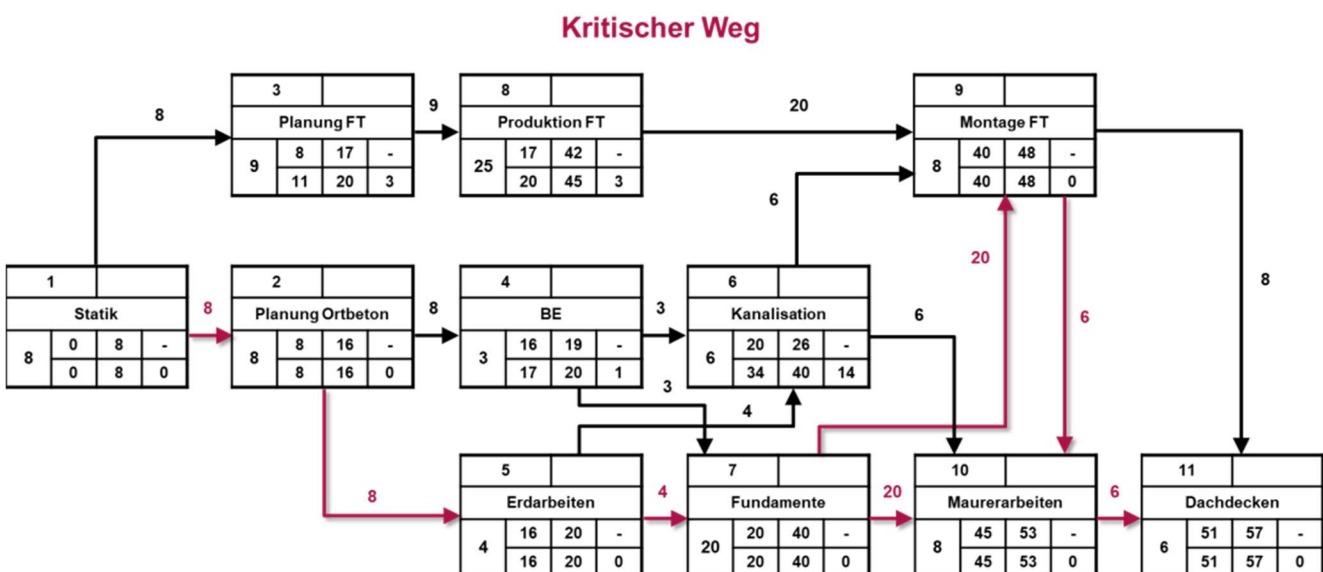
Beispiele

2-4

Beispiel einer Vorgangsliste mit Dauern, Vorgängern und Abhängigkeiten (Anfang-Anfang)

Nr.	Kurztext	Dauer AT	Vorgänger	Z A - A
1	Statik	8	-	0
2	Planung Ortbeton	8	1	8
3	Planung Fertigteile	9	1	8
4	BE	3	2	8
5	Erdarbeiten	4	2	8
6	Kanalisation	6	4 5	3 4
7	Fundamente	20	4 5	3 4
8	Produktion FT	25	3	9
9	Montage FT	8	6 7 8	6 20 20
10	Maurerarbeiten	8	6 7 9	6 20 5
11	Dachdeckerarbeiten	6	10 9	6 8

Beispiel für einen Vorgangsknoten-Netzplan inkl. kritischem Weg



Leistungsermittlung von Baumaschinen (DIN ISO 9245)

3-1

Leistungswerte von Baumaschinen werden benötigt:

- zur Planung des Arbeitsablaufes
- zur Ermittlung einer Teilleistung in der Kalkulation
- zur Auswahl der geeigneten Geräte für die Ausführung

Die Leistung einer Maschine ist abhängig von:

- der Geräteart und Gerätegröße
- dem zu bearbeitenden Material
- der Baustellenverhältnisse
- der Bedienung
- dem Gerätezustand
- Zusammenspiel mit anderen Maschinen
- der Witterung

Man unterscheidet grundsätzlich:

- in Intervallen arbeitende Maschinen
- kontinuierlich arbeitende Maschinen

Grundleistung

Die Grundleistung Q_B ist die Leistung in Kubikmeter pro Stunde, die mit der jeweiligen Arbeitseinrichtung bei einer bestimmten Einsatz- und Materialart kurzzeitig erreichbar ist. Vorausgesetzt wird ein eingearbeiteter Baumaschinenführer. Es handelt sich also um die theoretisch maximal mögliche Leistung.

Nutzleistung

Die Nutzleistung Q_A ist die Leistung in Kubikmeter pro Stunde, die mit der jeweiligen Arbeitseinrichtung bei einer bestimmten Einsatz- und Materialart auf Dauer erreicht wird. Die Nutzleistung errechnet sich aus der Grundleistung Q_B , zuzüglich eines Nutzleistungsfaktors f_E , der alle leistungsbeeinflussenden Größen berücksichtigt.

In Intervallen arbeitende Maschinen

3-2

Ermittlung der Grund- und Nutzleistung

3-2.a

Grundleistung

$$Q_B = V_R \cdot f_L \cdot n \cdot f_i$$

V_R = Nenninhalt des Arbeitswerkzeuges [m^3]

f_L = Ladefaktor

n = Anzahl der Spiele pro Stunde

f_i = Einsatzfaktoren

Nutzleistung

$$Q_A = Q_B \cdot f_E$$

f_E = Nutzleistungsfaktor

Die Leistungsberechnung erfolgt demzufolge vereinfacht in drei Schritten:

1. Berechnung der theoretischen Leistung pro Spiel (Q_{Spiel})
2. Bestimmung der Spielzeit t , ggf. zusätzlicher Einsatzfaktoren f_i und der Grundleistung Q_B
3. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A

Nutzleistungsfaktor

3-2.b

Nutzleistungsfaktor f_E

Baustellenbedingungen	Betriebsbedingungen			
	sehr gut	gut	mittelmäßig	schlecht
sehr gut	0,83	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

Alternativ kann der Nutzleistungsfaktor auch mit Hilfe eines individuellen Verteilzuschlags ermittelt werden:

$$f_E = \frac{100}{100 + v}$$

Kontinuierlich arbeitende Maschinen

3-3

Ermittlung der Grund- und Nutzleistung

3-3.a

Grundleistung

$$Q_B = A \cdot v \cdot f_i$$

A = theoretischer Förderquerschnitt [m^2]

v = Fördergeschwindigkeit [m/sec]

f_i = Einsatzfaktoren

Nutzleistung

$$Q_A = Q_B \cdot f_E$$

f_E = Nutzleistungsfaktor

Leistungsermittlung von Hydraulikbaggern

3-4

Die Leistungsberechnung erfolgt in drei Schritten:

1. Berechnung der theoretischen Leistung pro Spiel (Q_{Spiel})
2. Bestimmung der Spielzeit t , ggf. zusätzlicher Einsatzfaktoren f_i und der Grundleistung Q_B
3. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A

Leistung pro Spiel

3-4.a

$$Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$$

V_R = Nenninhalt des Arbeitswerkzeuges [m^3]

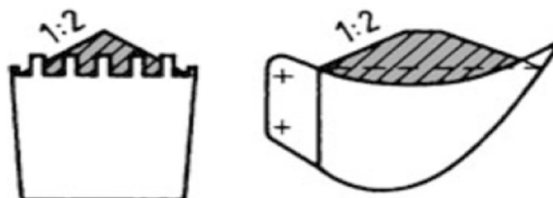
f_L = Ladefaktor

Nenninhalt V_R

3-4.b

V_R ist der Inhalt des Arbeitswerkzeuges in m^3 nach Angabe des Herstellers (Löffelinhalt). Es ist zu unterscheiden in:

- gestrichener Inhalt V_S (Inhalt unter einer theoretischen Streichebene, bis zur Schneidkante)
- Schüttkegelinhalt V_T (Inhalt eines Kegels auf der Streichebene mit einem Neigungswinkel 1 : 2 (aufgehäuften Materialmenge))
- Löffel-Nenninhalt $V_R = V_S + V_T$ (Summe aus gestrichenem Inhalt und Schüttkegelinhalt)
- Wassermaß (Löffel gefüllt mit Wasser)



Ladefaktor f_L

3-4.c

$$f_L = f_F / f_S$$

Der Ladefaktor f_L ist der Quotient aus dem Füllungsfaktor f_F und dem Auflockerungsfaktor f_S

Füllungsfaktor f_F

3-4.d

Füllungsfaktor f_F für Erdbaugeräte
[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]

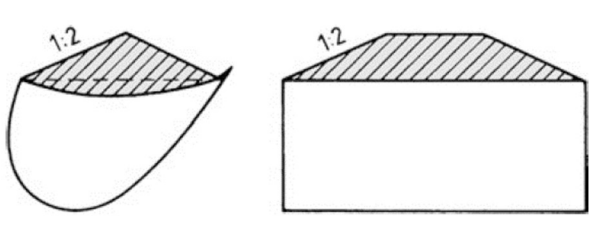
Bodenklasse nach DIN 18300	Hydraulikbagger	Seilbagger			Radlader			Planier- raupe	Scraper	Transportfahrzeuge		
		Trocken	Erd- feucht	Nass	Trocken	Erd- feucht	Nass			Trocken	Erd- feucht	Nass
1 Oberboden (Mutterboden)												
Oberboden	1,20	1,00	1,10	1,07	0,90	1,00	1,00	1,00	1,20	1,00	1,08	1,10
3 Leicht 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, Kiessand (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)	1,20	0,88	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 tonhaltige Böden mit kleinen Steinen	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	1,15	0,78	0,78	0,78	0,87	0,87		0,85		0,88	1,00	1,00
Fest zusammenhängende Böden mit Geröll und großen Steinen	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

$$f_F = \frac{\text{Effektive Füllung}}{\text{Grabgefäßgröße}}$$

Der Füllungsfaktor f_F ist das Verhältnis des Volumens nach dem Aufnehmen zum Nenninhalt des Arbeitswerkzeuges

Auflockerungsfaktor f_s			3-4.e
$f_s = \frac{\text{lose Masse}}{\text{feste Masse}} = \frac{\text{aufgelockerter Boden}}{\text{gewachsener Boden}}$		Der Auflockerungsfaktor f_s ist das Verhältnis des Volumens nach dem Lösen bzw. Aufnehmen zum Volumen vor dem Lösen bzw. Aufnehmen ($f_s \geq 1$)	
Bodenklassen und Auflockerungsfaktor f_s (mittlere Richtwerte) [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]			
Bodenklasse nach DIN 18300 Klassifizierung nach Lösbarkeit (in Klammern Beispiele)	Lagerung	Lagerungsdichte ρ [t/m ³]	Auflockerungsfaktor f_s
1 Oberboden (Mutterboden)			
Oberste Schicht des Bodens, die nebenanorganischen Stoffen, z. B. Kies-, Sand-, Schluff-Tongemischen aus Humus 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 0,063mm) und mit höchstens 30% Steinen über 63mm Korngröße bis zu 0,01m ³ Rauminhalt (z. B. Grobkies, Geröll, Gesteinsschotter)	Weich	1,51	1,00
	Mitteldicht	1,72	1,14
	Dicht	1,86	1,23
Organische Bodenarten mit geringem Wassergehalt (z.B. feste Torfe, Schluffe und Tone mit organischen Beimengungen, Mudden, weich, wie z.B. Seekreide, Kleie, Faulschlamm)	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 0,063mm (wie z.B. Auelehm, Geschiebelehm, Geschiebemergel mit < 30 Gew.% Steinen 63/100mmØ)	Locker	1,34	1,00
	Mitteldicht	1,70	1,27
	Dicht	1,92	1,43
Bindige Bodenarten von weicher bis mittlerer Plastizität, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind und die höchstens 30% Steine von über 63mm Korngröße bis zu 0,01m ³ Rauminhalt enthalten (z. B. Hochflutlehm, Seeton, Geschiebemergel, Bänderton, Lößlehm, Keupermergel)	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 63mm bis zu 0,01m ³ Rauminhalt und nichtbindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30% Steinen von über 0,01m ³ bis 0,1m ³ Rauminhalt (z.B. Moränegeschiebe, Felsgerölle)	Locker	1,45	1,00
	Mitteldicht	1,73	1,19
	Dicht	2,11	1,45
Ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis halbfest sind (z.B. steife und zähe Schluffe und Tone)	Locker	1,66	1,00
	Mitteldicht	1,87	1,12
	Dicht	2,02	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 Trockenfähigkeit, stark mit Steinen durchsetzt)	Locker	1,55	1,00
	Dicht	2,60	1,67
Nichtbindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30% Steinen von über 0,01m ³ bis 0,1m ³ Rauminhalt (z.B. gesprengter oder gerissener Fels)	Locker	1,70	1,00
	Dicht	2,26	1,33
7 Schwer lösbarer Fels			
Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügefestigkeit haben und die nur wenig klüftig oder verwittert sind und festgelagerter, unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, Schlackenhalde der Hüttenwerke und dergleichen. Steine von über 0,1m ³ Rauminhalt		≥ 2,26	1,33 bis 2,00

Grundleistung Q_B												3-4.f			
$Q_B = Q_{\text{Spiel}} \cdot n \cdot f_i$ $Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$						$n = \text{Anzahl der Spiele pro Stunde} = 60/t \text{ [min]}$ $t = \text{Spielzeit [min]}$ $f_i = \text{Einsatzfaktoren}$									
Spielzeit n												3-4.g			
Spielzeit n pro Stunde [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]															
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	Es liegen bisher keine Werte vor	200	Es liegen bisher keine Werte vor					
0,75	225	217		198	217		198								
1,0	215	209		192	205		192							157	
1,25	205	200	200	184	193	200	184							155	160
1,5	196	194	194	177	183	191	177							152	155
1,75	190	188	188	172	175	182	172							150	151
2,0	185	183	183	165	168	175	165							148	150
2,25		178	178	159	162	168	159							145	148
2,5		174	172	154	155	162	154							142	148
TL= Tieflöffel, LS= Ladeschaufel, KS=Kippschaufel															
Einsatzfaktoren f_i [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]												3-4.h			
Einsatzfaktor f_1 : Schwenkwinkel															
Schwenkwinkel f_1	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°								
	1,12	1,08	1,05	1,00	0,96	0,92	0,88								
Einsatzfaktor f_2 : Grabtiefe															
Bodenklasse nach DIN 18300	Grabtiefe [m]	1	2	3	4	5									
3 bis 4		1,0	0,93	0,87	0,84	0,82									
5 bis 6		1,0	0,95	0,91	0,87	0,85									
Einsatzfaktor f_3 : Entleerungsart															
Ungezieltes Entleeren (z.B. Halde) $f_3 = 1,0$ Gezieltes Entleeren in LKW auf Baggerplanum															
Volumenverhältnis LKW/Baggerlöffel	2	3	4	5	6	> 6									
f_3	0,69	0,73	0,76	0,79	0,81	0,83									
Einsatzfaktor f_4 : Einsatzart															
Behinderungsfreies Arbeiten											1,00				
Aushub mit häufigem Umsetzen des Gerätes											0,73				
Grabenaushub, unverbauter Graben											0,90				
Grabenaushub, verbauter Graben (ohne Verbauarbeiten)															
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										
Nutzleistung Q_A												3-4.i			
$Q_A = Q_B \cdot f_E$						$f_E = \text{Nutzleistungsfaktor}$									
Nutzleistungsfaktor f_E												3-4.j			
$f_E = \frac{100}{100 + v}$						<i>Siehe 3-2.b</i>									

Leistungsermittlung von Ladern		3-5
Die Leistungsberechnung erfolgt in drei Schritten: 1. Berechnung der theoretischen Leistung pro Spiel (Q_{Spiel}) 2. Bestimmung der Spielzeit t , ggf. zusätzlicher Einsatzfaktoren f_i und der Grundleistung Q_B 3. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A		
Leistung pro Spiel		3-5.a
$Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$	V_R = Nenninhalt des Arbeitswerkzeuges [m^3] f_L = Ladefaktor	
Nenninhalt V_R		3-5.b
V_R ist der Inhalt des Arbeitswerkzeuges in m^3 nach Angabe des Herstellers (Schaufelinhalt). Es ist zu unterscheiden in: <ul style="list-style-type: none"> gestrichener Inhalt V_S (Inhalt unter einer theoretischen Streichebene, bis zur Schneidkante) Schüttkegelinhalt V_T (Inhalt eines Kegels auf der Streichebene mit einem Neigungswinkel 1 : 2 (aufgehäuften Materialmenge)) Löffel-Nenninhalt $V_R = V_S + V_T$ (Summe aus gestrichenem Inhalt und Schüttkegelinhalt) Wassermaß (Löffel gefüllt mit Wasser) 		
		
Ladefaktor f_L		3-5.c
$f_L = f_F / f_S$	Der Ladefaktor f_L ist der Quotient aus dem Füllungsfaktor f_F und dem Auflockerungsfaktor f_S	
Füllungsfaktor f_F und Auflockerungsfaktor f_S		3-5.d
Siehe 3-4.d und 3-4.e		
Grundleistung Q_B		3-5.e
$Q_B = Q_{\text{Spiel}} \cdot n \cdot f_i$ $Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$	n = Anzahl der Spiele pro Stunde = $\frac{3.600}{t_H + \Delta t}$ t_H = Hauptspielzeit = $t_F + t_E + t_{FA}$ [s] t_F = Füllzeit [s] t_E = Entleerzeit [s] t_{FA} = Fahrzeit [s] Δt = Zeitzuschlag [s] f_i = Einsatzfaktoren	
Spielzeit n		3-5.f
Die Spielzahl n pro Stunde ergibt sich aus der Spielzeit t . Diese Spielzeit t beim Lader setzt sich aus den Vorgängen Füllzeit t_F , der Entleerzeit t_E sowie der Fahrzeit t_{FA} zusammen. Ebenfalls berücksichtigt werden muss ein Zeitzuschlag Δt .		

Füllzeit t_f							3-5.g	
Füllzeit t_f [s]								
[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]								
Bodenklasse nach DIN 18300		Ladeschaufel-Nenninhalt V_R in m^3						
		$\leq 1,0$	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	
1 bis 3	Fest	7,1	8,4	9,7	11,0	12,3	13,6	
	Mittelfest	5,3	6,2	7,1	8,0	8,9	9,8	
	Locker	4,2	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	
4	Fest	9,6	1,03	11,0	11,7	12,4	13,1	
	Mittelfest	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	
	Locker	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	
5	Fest	14,1	14,8	15,5	16,2	16,9	17,6	
	Mittelfest	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	
	Locker	5,1	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	
6	Gelöst, feinstückig (LZ und FS)		8,5	8,0	7,5	7,0	6,5	6,0
7	Gelöst, grobstückig	LZ	18,9	17,9	16,9	15,9	14,9	13,9
		FS	16,3	15,3	14,3	13,3	12,3	11,3
	Gelöst, feinstückig	LZ	14,3	13,3	12,3	11,3	10,3	9,3
		FS	11,7	10,9	10,1	9,3	8,5	7,7
LZ = Ladeschaufel mit Zähnen, FS = Felsschaufel								
Entleerzeit t_E							3-5.h	
Entleerzeit t_E [s]								
[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]								
Bodenklasse nach DIN 18300	Entleerungsstelle	Ladeschaufel-Nenninhalt V_R in m^3 bis						
		1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	
1 bis 3	Halde	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	
	Muldenkipper (10 bis 15 m^3)	2,0	2,7	3,4	4,1	4,8	5,5	
	LKW (6 bis 8 m^3)	2,7	4,1	5,5	6,9	8,3	9,7	
4, 5	Halde	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	
	Muldenkipper (10 bis 15 m^3)	1,8	2,5	3,2	3,9	4,6	5,3	
	LKW (6 bis 8 m^3)	2,5	4,0	5,5	7,0	8,5	10,0	
6, 7	Halde	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	
	Muldenkipper (10 bis 15 m^3)	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4		
Gesamtzeit t_{FA}							3-5.i	
Gesamtzeit t_{FA} [s]								
[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]								
Mittlere Transportentfernung	Fahrwegzustand							
	Glatt fest	Leicht wellig fest	Wellig mittelfest	Wellig weich				
5 m	8	9	10	12				
10 m	12	14	16	18				
15 m	15	17	20	23				
20 m	17	20	23	27				
30 m	22	26	29	32				
40 m	27	31	35	42				
60 m	34	39	44	55				
80 m	42	48	54	69				
100 m	50	56	63	84				
Mittlere Transportentfernung = Abstand der Ladestelle von der Entladestelle								

Zeitzuschlag Δt			3-5.j
Zeitzuschlag Δt [s] [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]			
Baustellenbetrieb, Sand- und Kiesgrube			
Fahrwegzustand	Entleerung auf Halde oder Übergabetrichter	Entleerung in Fahrzeuge	
Glatt, fest	3	7,5	
Leicht wellig, fest	3	7	
Wellig, mittelfest	3	6,5	
Wellig, weich	3	6	
Steinbruchbetrieb			
Zusätzliche Erhöhung der Spielzeit bei Entleerung			
Auf Halde oder in Übergabeeinrichtungen		+ 1 s	
In Fahrzeug		+ 1 s	
Einsatzfaktor f_1			3-5.k
Einsatzfaktor f_1 : Entleerungsart [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]			
Halde oder Übergabetrichter		1,00	
Fahrzeug		0,93	
Nutzleistung Q_A			3-5.l
$Q_A = Q_B \cdot f_E$		$f_E =$ Nutzleistungsfaktor	
Nutzleistungsfaktor f_E			3-5.m
$f_E = \frac{100}{100 + v}$		Siehe 3-2.b	

Leistungsermittlung von Transportfahrzeugen		3-6
Die Leistungsberechnung erfolgt in drei Schritten: 1. Berechnung der theoretischen Leistung pro Spiel (Q_{Spiel}) 2. Bestimmung der Spielzeit t , ggf. zusätzlicher Einsatzfaktoren f_i und der Grundleistung Q_B 3. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A		
Leistung pro Spiel		3-6.a
$Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$	V_R = Nenninhalt der Mulde [m^3] f_L = Ladefaktor	
Nenninhalt V_R		3-6.b
V_R ist der Inhalt der Mulde in m^3 nach Angabe des Herstellers. V_R wird mit folgender Gleichung ermittelt: $V_R = \text{Min.} \begin{cases} \text{Nenninhalt der Mulde} [\text{m}^3] \\ \frac{\text{zulässige Nutzlast}}{\text{Lagerungsdichte } \rho \cdot f_L} [\text{m}^3] \end{cases}$	ρ = Lagerungsdichte des Materials [t/m^3] f_L siehe 3-4.e	
Ladefaktor f_L		3-6.c
$f_L = f_F / f_S$	Der Ladefaktor f_L ist der Quotient aus dem Füllungsfaktor f_F und dem Auflockerungsfaktor f_S	
Füllungsfaktor f_F und Auflockerungsfaktor f_S		3-6.d
Siehe 3-4.d und 3-4.e		
Spielzeit n		3-6.e
Die Spielzahl n pro Stunde ergibt sich aus der Spielzeit t . Diese Spielzeit t beim LKW setzt sich aus den Vorgängen Beladezeit t_B , Dauer Lastfahrt t_v , Kippzeit t_K , Dauer Leerzeit t_L sowie der Wagenwechselzeit t_W zusammen.		

Grundleistung Q_B		3-6.f								
$Q_B = Q_{\text{Spiel}} \cdot n$ $Q_{\text{Spiel}} = V_R \cdot f_L$	$n = \text{Anzahl der Spiele pro Stunde} = \frac{60}{t}$ $t = \text{Spielzeit} = t_B + t_V + t_K + t_L + t_W$ [min] $t_B = \text{Beladezeit}$ [min] $t_V = \text{Dauer der Lastfahrt (voll)}$ [min] $t_K = \text{Kippzeit}$ [min] $t_L = \text{Dauer der Lastfahrt (leer)}$ [min] $t_W = \text{Wagenwechselzeit am Leegerät}$ [min]									
Beladezeit t_B		3-6.g								
$t_B = \frac{V_R \cdot f_L \cdot 60}{Q_B \text{ des Ladegerätes}}$	Die Grundleistung Q_B des <u>Ladegerätes</u> muss zuvor ermittelt werden.									
Dauer der Lastfahrt t_V		3-6.h								
$t_V = \frac{L \cdot 60}{V_V}$ [min]	$L = \text{Transportentfernung}$ [km] $V_V = \text{mittlere Geschwindigkeit, beladen}$ [km/h]									
Kippzeit t_K		3-6.i								
$0,5 < t_K < 0,7$ [min]										
Dauer der Leerfahrt t_L		3-6.j								
$t_L = \frac{L \cdot 60}{V_L}$ [min]	$L = \text{Transportentfernung}$ [km] $V_L = \text{mittlere Geschwindigkeit, leer}$ [km/h]									
Wagenwechselzeit t_W		3-6.k								
$0,3 < t_W < 0,5$ [min]										
Nutzleistung Q_A		3-6.l								
$Q_A = Q_B \cdot \frac{t}{t_B} \cdot f_T \cdot f_E$	$\frac{t}{t_B} = \text{Beladungsrate}$ $f_T = \text{Transportbetriebsfaktor (siehe 3-6.m)}$ $f_E = \text{Nutzleistungsfaktor}$									
Transportbetriebsfaktor f_T		3-6.m								
Transportbetriebsfaktor f_T [Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]										
Anzahl der Fahrzeuge	Beladungsrate = $\frac{\text{Umlaufzeit}}{\text{Beladezeit}} = \frac{t}{t_B}$									
	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	
Nutzleistungsfaktor f_E		3-6.n								
$f_E = \frac{100}{100 + v}$	Siehe 3-2.b									

Leistungsermittlung von Mischgeräten

3-7

Die Leistungsberechnung erfolgt in zwei Schritten:

1. Bestimmung der Spielzeit t und der Grundleistung Q_B
2. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A

Grundleistung Q_B

3-7.a

Überschlägiges Verfahren (Verdichtungsmaß = 1,45)

$$Q_B = V_R \cdot n \cdot f_i$$

Genauerer Verfahren (mit tatsächlichem Verdichtungsmaß)

$$Q_B = V_T \cdot (n / f_F) \cdot f_1$$

V_R = Nenninhalt des Mixchers (Festbeton/Spiel) [m³]

V_T = Trockenfüllmenge des Mixchers [m³]

n = Spielzeit (Anzahl der Spiele pro Stunde)

f_F = Füllungsfaktor

f_i = Einsatzfaktoren

Nenninhalt V_R

3-7.b

V_R ist der Nenninhalt des Mixchers [m³] nach Angabe des Herstellers. Es handelt sich dabei um das Volumen des mit einem Arbeitsspiel herstellbaren Frischbetons [m³] in verdichtetem Zustand bei einem Verdichtungsmaß $v = 1,45$ (sehr steife Konsistenz).

Trockenfüllmenge V_T

3-7.c

Die Trockenfüllmenge ist der Mischgefäßinhalt [m³] nach Angabe des Herstellers. Es handelt sich um den Mischgefäßinhalt in Litern, Volumen an Bindemitteln und Zuschlagstoffen, die das Mischgefäß theoretisch maximal aufnehmen kann. Die Trockenfüllmenge entspricht in der Regel dem 1,5-fachen Nenninhalt des Mixchers.

Spielzeit n

3-7.d

Die Spielzahl n pro Stunde ergibt sich aus der Spielzeit t , die sich entsprechend DIN 459 zusammensetzt:

$$t_{Ges.} = t_F + t_M + t_L + t_R$$

t_F = Einfüllzeit des Mixchers

t_M = Mischzeit

t_L = Entleerungszeit des Mixchers

t_R = Rückstellzeit

Die Spielzeit n kann in Abhängigkeit von der Bauart des Mixchers alternativ mit nachfolgender Tabelle bestimmt werden.

Leistungsdaten von Mixchern

[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]

Bauart	Mischzeit* t_M [s]	Spielzeit n [1/h]	Spez. Leistungsbedarf [kW/m ³]	Verwendung als
Trommelmischer	60 bis 180	15 bis 30	15	Mobile Baustellenanlagen
Tellermischer	30 bis 60	45 bis 60	30 bis 40	Mobile Baustellenanlagen
Trogmischer	30 bis 60	45 bis 60	30 bis 40	Im Hoch- und Straßenbau, Großanlagen, stat. Mischwerke

*Mischzeit ≤ 30 s bei Mixchern mit besonders guter Mischung, ≥ 1 min bei den übrigen Mixchern

Füllungsfaktor f_F

3-7.e

Füllungsfaktor f_F

(Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb)

Ausbreitmaß a in mm	Ausbreitklasse DIN 1045	Verdichtungsmaß v DIN 1045	Verdichtungsstufe DIN EN 206	Füllungsfaktor f_F
490 bis 550	F4	1,00	C4	1,32
420 bis 480	F3	1,02	C4	1,33
	F3	1,05	C3	1,35
410 bis 350	F2	1,08	C3	1,37
	F2	1,15	C2	1,39
≤ 340	F1	1,20	C2	1,43
	F1	1,25	C1	1,45
	F1	1,30	C1	1,49
	F1	1,35	C1	1,52
	F1	1,40	C1	1,56
	F1	1,45	C1	1,59
	F1	1,46	C1	1,60

Einsatzfaktor f_1			3-7.f
Einsatzfaktor f_1 (Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb)			
Mischanlage	Stundenleistung	Dauerleistung	
Große Mischanlage	0,90	0,80	
Mittlere Mischanlage	0,85	0,60	
Kleine Mischanlage	0,80	0,50	
Nutzleistung Q_A			3-7.g
$Q_A = Q_B \cdot f_E$		$f_E = \text{Nutzleistungsfaktor}$	
Nutzleistungsfaktor f_E			3-7.h
$f_E = \frac{100}{100 + v}$		<i>Siehe 3-2.b</i>	

Leistungsermittlung von Betonpumpen			3-8
Die Leistungsberechnung erfolgt in zwei Schritten: 1. Bestimmung der Grundleistung Q_B 2. Bestimmung des Nutzleistungsfaktors f_E und der Nutzleistung Q_A			
Grundleistung Q_B			3-8.a
Der theoretische Förderquerschnitt muss mit dem lichten Rohrdurchmesser multipliziert werden: $Q_B = A \cdot v$	$A = \text{theoretischer Förderquerschnitt [m}^2\text{]}$ $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ $d = \text{lichter Rohrdurchmesser [m]}$ $v = \text{Fördergeschwindigkeit [m/sec]}$		
Nutzleistung Q_A			3-8.b
$Q_A = Q_B \cdot f_E$		$f_E = \text{Nutzleistungsfaktor}$	
Nutzleistungsfaktor f_E			3-8.c
$f_E = \frac{100}{100 + v}$		<i>Siehe 3-2.b</i>	
Nomogramm – Erklärung und Anwendung			3-8.d
Alternativ zur Leistungsberechnung bietet sich die Leistungsermittlung mit einem Nomogramm an; die Abweichung zur Berechnung beträgt ca. 10%. Hiermit kann die Ermittlung der Leistung einer Pumpe bei vorgegebenen Bedingungen wie auch die Auswahl der geeigneten Pumpe und Rohrleitung für eine vorgegebene Förderleistung bestimmt werden. Die Pumpenhersteller stellen häufig spezielle Nomogramme für ihre Geräte zur Verfügung.			
<u>Anwendung</u>			
<ol style="list-style-type: none"> Der Startpunkt im Nomogramm ist die benötigte Grundleistung an Beton (Volumenstrom Q in m^3/h); ggf. muss zuvor die Nutzleistung in die Grundleistung umgerechnet werden. Von diesem Punkt geht man vertikal nach unten bis die Gerade des Leitungsdurchmessers D erreicht wird. Vom Schnittpunkt mit der Geraden des Leitungsdurchmessers D geht man horizontal nach links bis zur Geraden des entsprechenden Leitungswertes L. Von dort geht man vertikal nach oben bis zum Schnittpunkt der Geraden des entsprechenden Ausbreitmaßes. Vom Schnittpunkt mit der Geraden des Ausbreitmaßes geht man horizontal bis zur Ordinate und bestimmt dort den Druck p in bar. Bei einer Hochförderung müssen dann zu diesem Wert noch 0,25 bar pro Meter Hochförderung dazu addiert werden. Von diesem neuen Wert auf der Ordinate geht man horizontal nach rechts bis zum Schnittpunkt der nach oben verlängerten benötigten Grundleistung an Beton. Nun kann die Kenngröße $Q \cdot p$ (Volumenstrom \cdot Betondruck) bestimmt werden. Diese Größe ist als Klassifizierungsmerkmal in der BGL aufgeführt, so dass anschließend eine geeignete Pumpe ausgewählt werden kann. 			
Antriebsleistung			3-8.e
Mit der ermittelten Kenngröße $Q \cdot p$ (Volumenstrom \cdot Betondruck) kann die Antriebsleistung P bestimmt werden:			
$P = \frac{Q_B \cdot p}{25} \text{ [kW]}$			

Folgende Randbedingungen werden für die Leistungsermittlung mit Nomogramm benötigt:

$Q = Q_B$ = Volumenstrom der Grundleistung [m^3/h]

D = Leitungsdurchmesser der Förderleitung [mm]

L = Leitungswert [m]

Beim Leitungswert L handelt es sich um die geometrische Rohrlänge [m] und den Zuschlägen für Rohrwiderstände aus Rohrbögen (je $30^\circ = 1$ m).

Bei Autobetonpumpen mit Verteilermast entspricht der Leitungswert L der Ausladung in Metern zuzüglich 10 m.

a = Ausbreitmaß Beton

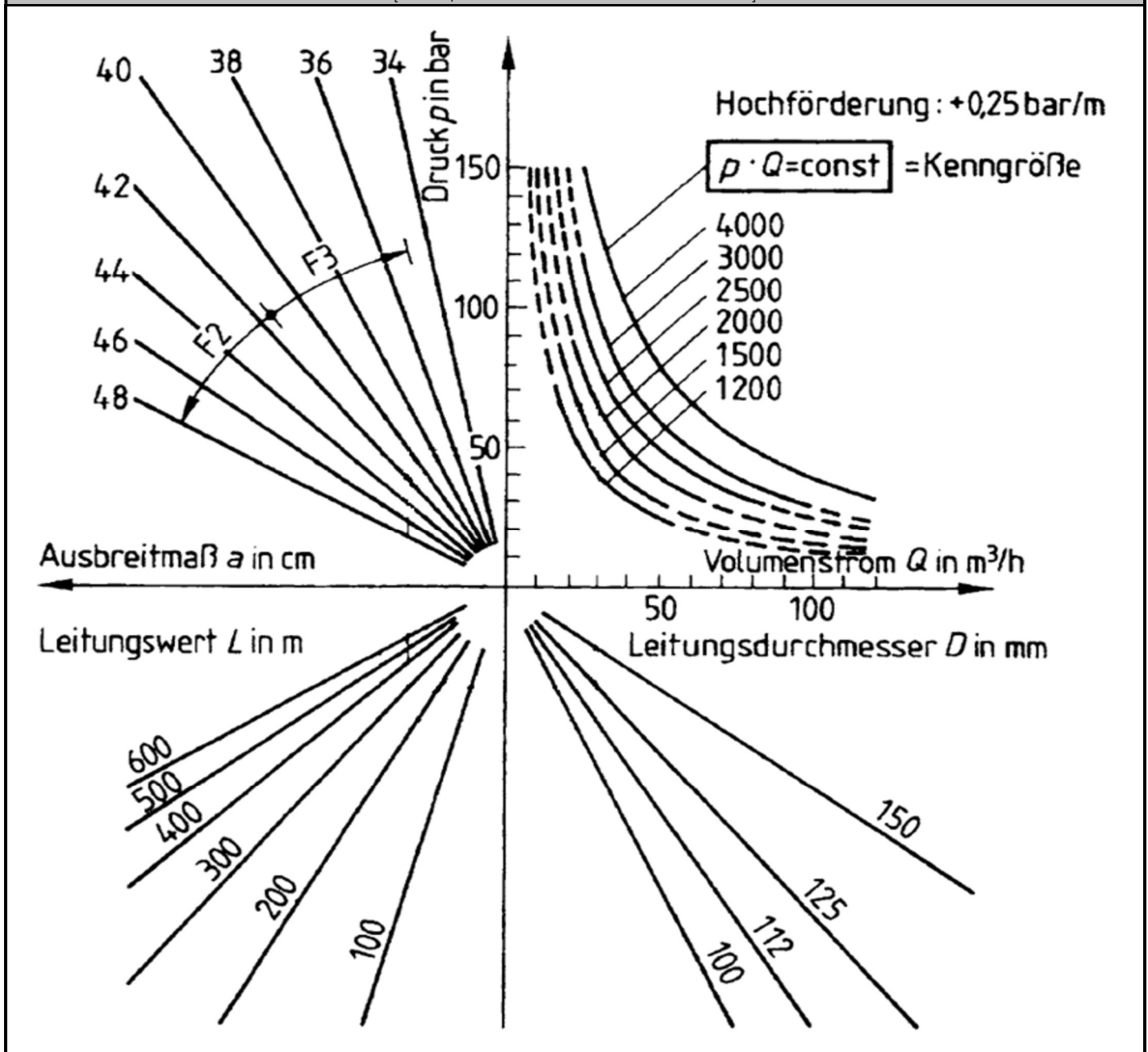
Bei ausländischen Herstellern von Autobetonpumpen wird häufig statt des Ausbreitmaßes a das Setzungsmaß s (Slump) verwendet.

H = geometrische Förderhöhe

Bei Autobetonpumpen muss die Reichweite des Mastes in die Förderhöhe mit eingerechnet werden.

Nomogramm für Betonpumpen zur Ermittlung der Pumpenkenngroße

[Krause/Ulke: Zahlentafeln für den Baubetrieb]



Literatur:

Schach, Rainer, Otto, Jens: Baustelleneinrichtung: Grundlagen - Planung - Praxishinweise - Vorschriften und Regeln. 3. Auflage, Verlag Springer Vieweg, Wiesbaden 2017.

Krause, Thomas, Ulke, Bernd (Hrsg.): Zahlentafeln für den Baubetrieb. 9. Auflage, Verlag Springer Vieweg, Wiesbaden 2016.