2 Grundlagen für Bauablaufplanung und Logistik

Im folgenden Kapitel werden die wesentlichen Grundlagen für die Bauablaufplanung und Logistik dargestellt. Bei den baubetrieblichen Grundlagen wird auf die Produktionsfaktoren eingegangen und auf die fertigungstechnischen Merkmale beim Einsatz der Bauverfahren hingewiesen.

Bei der Produktivität wird in drei Teilproduktivitäten unterschieden und dabei steht in dieser Arbeit vor allem die Arbeitsproduktivität im Zentrum der Betrachtungen. Im Zusammenhang mit der Produktivität wird das Interaktionsdiagramm für die Arbeitsproduktivität vorgestellt und Rationalisierungspotenziale aufgezeigt.

Zu den Aufgaben der Arbeitsvorbereitung zählen die Verfahrenauswahl und die Planung von Bauablauf, Logistik und Baustelleneinrichtung. In weiterer Folge werden die Grundlagen zur Planung des Bauablaufs und der Logistik behandelt. Es wird dazu in Grob- und Feinplanung unterschieden. Diese Unterscheidung bildet die Grundlage für die folgenden Kapitel. In der Grobplanung werden Überlegungen z.B. für die Projektplanung und Angebotsbearbeitung gemacht. Die Überlegungen der Grobplanung bilden dann die Basis für die Feinplanung. In der Feinplanung wird vor allem die Arbeitsvorbereitung für die Bauausführung vorgenommen.

Für die Grobplanung und Feinplanung wird jeweils ein Ablaufschema vorgestellt. Das jeweilige Schema wird vergleichbar mit einem Regelkreis so lange durchlaufen, bis die zum Betrachtungszeitpunkt optimale Lösung gefunden wurde. Die einzelnen Stufen des jeweiligen Schemas werden beschrieben. Auf jene Punkte die vor allem zur Bauablaufplanung und Logistik zählen wird hier näher eingegangen.

2.1 Baubetriebliche Grundlagen

Ziel der Bauablaufplanung und Logistik des Baubetriebs ist es, die Produktionsfaktoren einer Bauunternehmung in der Weise miteinander zu kombinieren, dass Bauwerke wirtschaftlich optimal errichtet werden können. Die Wahl und Kombination der Produktionsfaktoren haben einen direkten Einfluss sowohl auf den Arbeitsaufwand, als auch auf die Leistung und damit auf die Gesamtproduktivität.

Jodl[1)] bezeichnet in diesem Zusammenhang den Baubetrieb als Summe des Umgangs mit den Produktionsfaktoren.

2.1.1 Produktionsfaktoren

Allen im Baubetrieb angewandten Bauverfahren ist gemeinsam, dass bei ihrer Anwendung Mittel einzusetzen sind, die eine bestimmte Produktion oder die erwünschte Zustandsänderung ermöglichen. Sie stellen die Produktionsfaktoren bzw. produktiven Faktoren dar. Bei den Produktionsfaktoren wird in Elementarfaktoren und dispositive Faktoren unterschieden.

Zu den Elementarfaktoren zählen:

- Arbeit: die objektbezogenen menschlichen Arbeitsleistungen, d.h. alle Tätigkeiten, die unmittelbar mit der Leistungserstellung und -verwertung im Zusammenhang stehen, ohne dispositiv-anordnender Natur zu sein
- Betriebsmittel: die Arbeits- und Betriebsmittel, d.h. alle Einrichtungen und Anlagen, welche die technische Voraussetzung betrieblicher Leistungserstellung insbesondere der Produktion bilden, sowie alle Hilfs- und Betriebsstoffe (Energie), die notwendig sind, um den Betrieb arbeitsfähig zu machen und zu erhalten
- Stoffe: Werkstoffe, in unserem Fall die Baustoffe, Halb- und Fertigungserzeugnisse, die als Ausgangs- und Grundstoffe für die Herstellung von Erzeugnissen dienen. Nach der Vornahme der Substanzänderungen oder nach dem Einbau in das Fertigerzeugnis werden sie Bestandteil des neuen Produkts, hier des Bauwerks oder einzelner Bauteile

Unter dispositiven Faktoren versteht man planende, gestaltende und steuernde Aktivitäten, die sich mit einzelnen Tätigkeiten und dem gesamten Bauunternehmen beschäftigen.[2)]

---

1) Jodl (2003). Potenziale im Baubetrieb. 19

2) Bauer (1992). Baubetrieb 1. 456

Bauer[3)] betrachtet die zur Herstellung von Bauprodukten eingesetzten Produktionsfaktoren als das Potenzial eines Betriebes.

Hohes Potenzial besitzen also all jene Baufirmen, die ihre Produktionsfaktoren wirtschaftlich optimal miteinander kombinieren und einsetzen.

2.1.2 Fertigungstechnische Merkmale beim Einsatz von Bauverfahren

Bauteile und Bauwerke werden durch technisch und wirtschaftlich optimalen Einsatz der Produktionsfaktoren unter Anwendung naturwissenschaftlicher oder technologischer Regeln und Erfahrungen (Verfahren) hergestellt bzw. errichtet.

Je nach Bauwerk und Bauweise stehen verschiedene Bauverfahren zur Disposition, bei denen die Arbeits-, Betriebsmittel- und Stoffproduktivität einen unterschiedlichen Stellenwert haben. In Abhängigkeit von Bauwerk und Bauweise weisen die Bauverfahren verschiedene Merkmale auf.

Im Erdbau dominiert der Einsatz von Baugeräten, die meist zu Geräteketten zusammengefasst sind. Die Teilvorgänge Lösen, Laden, Transportieren, Einbauen und Verdichten laufen idealerweise kontinuierlich ab. Die Leistung wird hier wesentlich von den eingesetzten Baugeräten (z.B. Art, Anzahl) bestimmt.

Beim Einbau von Massenbeton (beispielsweise im Kraftwerksbau) hängt die Leistung vom Betontransport oder den Betonfördermitteln ab. Bei Pumpbeton wird die Leistung durch die Bauart der einzelnen Pumpen sowie der Anzahl der eingesetzten Pumpen bestimmt. Betontechnologische Aspekte sind beim Betoneinbau zu berücksichtigen. Ebenso sind Randbedingungen aus der Entwicklung des Frischbetondrucks zu beachten.

Bei Stahlbetonarbeiten im Zuge der Errichtung von Hochbauten wird die Leistung meist von der Dauer der Schalarbeiten bestimmt. Je nach Fertigungsablaufmodell werden die Schalarbeiten kontinuierlich oder diskontinuierlich ausgeführt. Der Leistungsfortschritt wird wesentlich von der Produktivität der Arbeitskräfte (Anzahl, Qualifikation, Motivation etc.) geprägt.

Im Fertigteilbau werden die Fertigteile in der Regel industriell in stationären Werken hergestellt. Die Arbeitsleistung wird von den dort eingesetzten

[3)] Bauer (1992). Baubetrieb 1. 457

Geräten und den Eigenschaften des Betons dominiert. Dadurch gelingt es mittels industrieller Fertigung oft rationeller zu produzieren und den Einfluss der Witterung zu minimieren.

Der Sprengvortrieb im Tunnelbau ist durch einen diskontinuierlichen Arbeitszyklus gekennzeichnet und besteht im Wesentlichen aus den Vorgängen Bohren, Laden, Sprengen, Schuttern und Sichern. Diese Vortriebsart stellt eine Kombination von geräteintensiven (z.B. Bohren und Schuttern) und arbeitsintensiven (z.B. Laden, Sichern) Tätigkeiten dar.

Hingegen dominiert beim kontinuierlichen Vortrieb die Maschinenintensität. Die Vortriebsleistung wird von der Leistung der Tunnelbohrmaschine bestimmt.

2.2 Produktivität

Produktivität ist die wesentliche Kennzahl zur Beurteilung der Ergiebigkeit von einzelnen Arbeiten oder des gesamten Produktions- bzw. Wirtschaftsprozesses.

Die Produktivität ist maßgebend für den wirtschaftlichen Erfolg einer Baustelle – und längerfristig betrachtet für das Bestehen der ganzen Unternehmung. Produktivitätsvorteile sind meist auch entscheidend für die Akquisition (außer z.B. bei der Beziehungsakquisition) von Bauaufträgen und in weiterer Folge für die effektive Abwicklung des Bauvorhabens.

Kosten – und in weiterer Konsequenz Preise – werden maßgeblich von der Produktivität beeinflusst.

In diesem Abschnitt wird die Zusammensetzung der Produktivität beschrieben und die Einflussfaktoren werden dargestellt. Die Abgrenzung zwischen den Begriffen Produktivität und Leistung wird anhand eines Beispiels vertieft. Baubetriebliche Zusammenhänge für die Arbeitsproduktivität werden grafisch dargestellt.

Die Ursachen für Preissteigerungen bzw. Stagnationen liegen teilweise in der Produktivität. Die betriebswirtschaftlichen Ursachen für die Preissteigerungen liegen einerseits in den Preisentwicklungen der Produktionsfaktoren und andererseits in den Änderungen der Produktivität.

Ursächlich baupreiserhöhend wirken in erster Linie die Preisentwicklungen der Produktionsfaktoren Arbeit, Betriebsmittel und Stoffe, während sich

Steigerungen der Arbeitsproduktivität, Betriebsmittelproduktivität und Stoffproduktivität generell preismindernd auswirken.[4)]

Bei der Ermittlung der Arbeitsproduktivität (siehe auch 2.2.3) dient als Größe für den Arbeitseinsatz die Anzahl der Beschäftigten oder Erwerbstätigen oder die Anzahl der geleisteten Arbeitsstunden.

Die Anzahl z.B. der eingesetzten Geräte bezogen auf die Ausbringungsmenge (Output) dient als Bestimmungsgröße für die Betriebsmittelproduktivität.

Bei der Stoffproduktivität wird die verbrauchte Stoffmenge mit der Produktionsmenge ins Verhältnis gesetzt.

2.2.1 Messgrößen für die Produktivität

Messgrößen der Produktivität eines Potenzialeinsatzes sind die Aufwands- und Leistungswerte. Bei reduzierter Produktivität steigen im Vergleich zum ungestörten Sollablauf die Aufwandswerte an, die Leistungswerte von Maschinen fallen ab. Die Folgen sind verlängerte Vorgangsdauern, höhere Herstellkosten pro Mengeneinheit und insgesamt höhere Fertigungskosten für die Behinderungsperiode.[5)]

Aufwands- und Leistungswerte besitzen begrenzte Genauigkeit. Ihr praktisches Eintreten kann nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden. Nach *Schmidt*[6)] ist das Risiko dabei umso kleiner, je exakter sich die Arbeitsbedingungen (z.B. Baustellen- und Bauwerksbedingungen) auf der Baustelle voraussehen lassen und je umfangreicher innerbetriebliche Erfahrungen mit dem vorgesehen Verfahren sind.

Trotz aller Bemühungen bleibt stets eine „Risikospanne“, welche die Unsicherheit bezüglich des Eintreffens des erwarteten Ansatzes aufgrund subjektiver Einschätzung des zu bewertenden Bauverfahrens oder der betrachteten Tätigkeit ausdrückt.

Im Kapitel 9 wird dazu für die Grobplanung exemplarisch die Vorgangsweise zur systematischen Berücksichtigung von Variationsbreiten bei Berechnung des Gesamt-Aufwandswertes, der Leistung und Dauer (jeweils

4) Gaede/Toffel (1985). Zur Dynamik der Baupreise. Der Baubetriebsberater. 393

5) Bauer (1992 u. 1994). Baubetrieb 2. 684

6) vgl. Schmidt (1970). Grundsätze baubetrieblicher Verfahrenswahl dargestellt an Transportverfahren auf Großbaustellen. 95

die Wahrscheinlichkeitsverteilung) gezeigt. Die damit berechneten Werte oder Bandbreiten (untere und obere Grenzwerte), können z.B. als Eingangsparameter in die in dieser Arbeit vorgestellten Interaktionsdiagramme dienen.

2.2.1.1 Leistungswerte

Leistungswerte $L_{a,\,v,\,i}$ (im Zusammenhang mit der Errichtung eines Bauwerks) geben an, welche Produktionsmenge (z.B.Bruttorauminhalt [m^3], Betonmenge [m^3]) in einer bestimmten ausgewählten Zeiteinheit (z.B. Monat, Woche, Schicht, Tag, Stunde) erzeugt (hergestellt) wird.

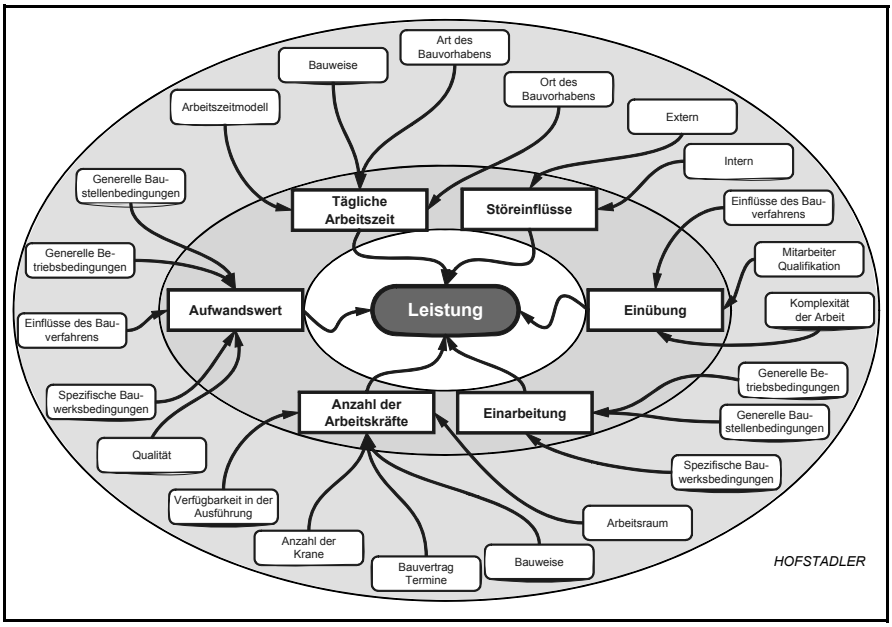


Abb. 2-1 Vielfalt der Einflüsse auf die Leistung (Leistungswert)[7)]

Gleiche Leistungswerte bedeuten in der Regel nicht gleichzeitig eine Übereinstimmung der Produktivität. Die Differenzen resultieren beispielsweise aus der unterschiedlichen Arbeitsproduktivität.

7) Hofstadler (2005). Bauablaufplanung – Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten. 55

Berechnet wird die Leistung nach Glg.(2-1). Der Zähler ist das Produkt aus der Anzahl der Arbeitskräfte $AK_{a,v,i}$ [Std/h] und der Arbeitszeit $AZ_{a,v,d}$ [h/ZEH]. Im Nenner steht der spezifische Aufwandswert $AW_{a,v,i}$ [Std/EH] für den Ablaufabschnitt.

$$L_{a,v,i} = \frac{AK_{a,v,i} \cdot AZ_{a,v,d}}{AW_{a,v,i}} \qquad (2\text{-}1)$$

In Abb. 2-1 sind die Einflüsse auf die Größenordnung der Leistung für die Rohbauarbeiten exemplarisch dargestellt. Störeinflüsse, Einübung und Einarbeitung können beispielsweise durch einen Zuschlag im Aufwandswert berücksichtigt werden. Zu den Haupteinflussgrößen Aufwandswert, tägliche Arbeitszeit, Anzahl der Arbeitskräfte, Einarbeitung, Einübung und Störeinflüsse sind jeweils Beispiele angeführt.

Nach Ermittlung des Leistungswertes kann die Dauer – z.B. für einen betrachteten Ablaufabschnitt – berechnet werden.

Zur Abschätzung von Leistungswerten für Baugeräte, werden von *Gareis/Halpin*[8] folgende Schätzmethoden angeführt:

- Schätzung unter Verwendung eigener Daten von abgeschlossenen Projekten oder Vorgängen
- Schätzung unter Verwendung von Maschinenhandbüchern und bauwirtschaftlicher Literatur
- Schätzung nach analytischer Methode durch Bestimmung der Produktivitäten der für einen Arbeitsvorgang einzusetzenden Produktionseinheiten
- Schätzung nach Durchführung von Probeläufen

2.2.1.2 Aufwandswerte

Den Aufwandswerten kommt in der Bauablaufplanung eine zentrale Bedeutung zu. Die Größenordnung der Aufwandswerte beeinflusst die Arbeitsproduktivität und damit maßgeblich die Leistung in den Ablaufabschnitten.

Aufwandswerte stellen in der Angebotsphase eine wesentliche Grundlage zur Kosten- und Zeitberechnung dar. In der Phase der Arbeitsvorbereitung sind sie wichtiger Bestandteil für die Berechnung der Dauer der einzelnen Vorgänge und damit in weiterer Folge des gesamten Fertigungsablaufs und des Ressourceneinsatzes. Im Zuge z.B. der Nachkalkulation oder des Bau-

[8] Gareis/Halpin (1976). Planung und Kontrolle von Bauproduktionsprozessen. 75f

stellen-Controllings werden Daten aus der Bauausführung systematisch aufgezeichnet. Wenn die Gesamtstunden und spezifische Produktionsmenge für eine Leistung erfasst sind, berechnet sich der Aufwandswert für eine Tätigkeit (oder Vorgang etc.) nach Glg.(2-2).

Der Aufwandswert ist der Quotient aus der Summe der Lohnstunden $\sum L_{Std,\,a,\,v,\,i}$ und der Produktionsmenge $M_{a,\,v,\,i}$ und wird nach Glg.(2-2) berechnet.

$$AW_{a,\,v,\,i} = \frac{\sum L_{Std,\,a,\,v,\,i}}{M_{a,\,v,\,i}} \tag{2-2}$$

In der Abb. 2-2 sind einige Einflüsse auf die Größenordnung von Aufwandswerten dargestellt. Diese Darstellung zeigt die komplexe Zusammensetzung von Aufwandswerten (exemplarische Darstellung). Die Gliederungstiefe und -breite kann beliebig erweitert und verändert werden.

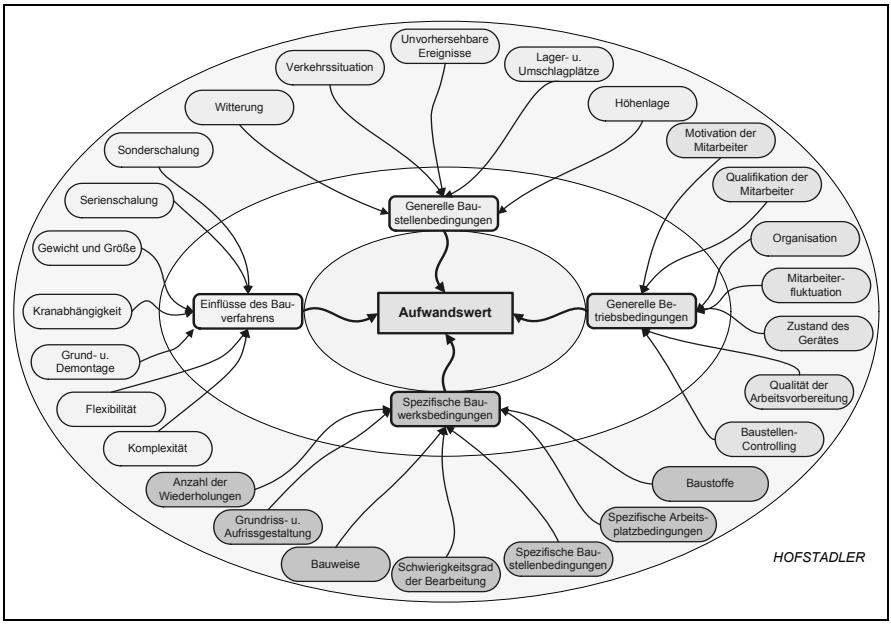


Abb. 2-2 Vielfalt der Einflüsse auf den Aufwandswert – Beispiel: Schalarbeiten[9)]

9) Hofstadler (2005). Schwierigkeitsgrad von Schalarbeiten – Darstellung der Auswirkungen im IAD. 33

Als Beispiel sind in Abb. 2-2 wesentliche Einflussfaktoren auf die Größenordnung des Aufwandswertes für Schalarbeiten dargestellt. Für eine solide Aufwandswertermittlung sind die Leistungen zeitlich und tätigkeitsbezogen klar abzugrenzen (z.B. keine Umlagerungen in andere Leistungen und keine doppelte Erfassung).

Für die systematische Darstellung der Daten sind Angaben zu den Bauwerks-, Baustellen- und Betriebsbedingungen unumgänglich. Anhand dieser zusätzlichen Informationen soll für die Verwendung der vergangenheitsbezogenen Aufzeichnungen eine Verbesserung in der Genauigkeit bei der Ermittlung (Berechnung) der Aufwandswerte für zukünftige Projekte erzielt werden.

Möglichkeiten, die Größenordnung der Aufwandswerte zu bestimmen:

- Erfahrung – Schätzung
- Kalkulationshandbücher
- Berechnungen – Nomogramme
- Berichtswesen Nachkalkulation
- Arbeitsstudien – Richtwerte-Tabellen
- Herstellerangaben
- Simulation des Arbeitsablaufs

2.2.2 Zusammensetzung der Gesamtproduktivität

Die Gesamtproduktivität setzt sich aus Arbeits-, Betriebsmittel- und Stoffproduktivität zusammen. Der Einfluss der einzelnen Teilproduktivitäten ändert sich beispielsweise mit dem Lohnniveau. Im mitteleuropäischen Raum spielt die Arbeitsproduktivität die bedeutendere Rolle.

In Billiglohnländern werden die Betriebsmittelproduktivität und Stoffproduktivität dominant. Bei maschinenintensiven Bauverfahren steht die Betriebsmittelproduktivität und bei arbeitsintensiven Bauverfahren die Arbeitsproduktivität im Vordergrund.

Nach *Blecken/Misch*[10)] hat z.B. im Hochbau die Anzahl und Größe der Krane entscheidenden Einfluss auf die Produktivität.

Die Zusammensetzung und Einflüsse auf die Gesamtproduktivität sind in Abb. 2-3 dargestellt. Auf die Arbeitsproduktivität wird in dieser Arbeit näher eingegangen.

[10)] vgl. Blecken/Misch (1980). Verfahrensoptimierung im Stahlbetonbau. 609ff

Produktivität in der Grobplanung

Im Rahmen der Grobplanung für ein Bauwerk wird die Arbeitsproduktivität z.B. auf den Bruttorauminhalt, Stahlbetonmenge oder auf die Nutzfläche bezogen. Für den Betriebsmitteleinsatz im Stahlbau wird die Produktivität auf die Tonne Stahl bezogen.

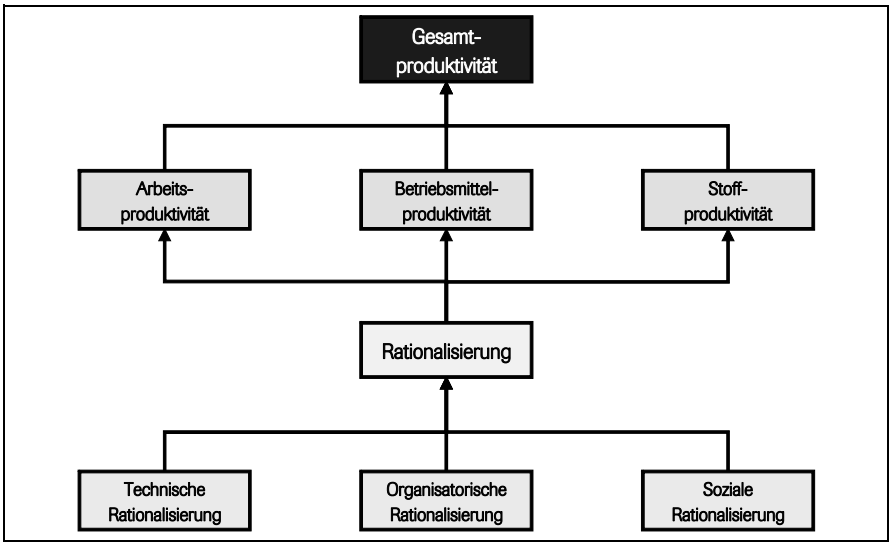


Abb. 2-3 Zusammensetzung der Gesamtproduktivität[11)]

Produktivität in der Feinplanung

In der Feinplanung wird die Produktivität mit einzelnen Vorgängen in Zusammenhang gebracht. So kann beispielsweise die Produktivität bei den Stahlbetonarbeiten getrennt nach Schal-, Bewehrungs- und Betonarbeiten ermittelt werden.

Produktivitätssteigerungen werden durch technische, organisatorische sowie soziale Rationalisierungen erzielt.

2.2.3 Arbeitsproduktivität

Die Arbeitsproduktivität folgt aus dem Quotienten des Produktionsergebnisses (z.B. m^3 eingebauter Beton, m^2 geschalte Deckenfläche etc.) und der Anzahl der eingesetzten Ressourcen.

[11)] vgl. Gaede/Toffel (1985). Zur Dynamik der Baupreise. 397

Für das gesamte Bauwerk wird beispielsweise die gesamte Betonmenge als Produktionsergebnis angesetzt. Bei der Anzahl der Arbeitskräfte ist auf die betriebliche Abgrenzung und zeitliche Abgrenzung zu achten. Werden die Abgrenzungen für Vergleiche nicht einheitlich vorgenommen, sind Vergleiche nicht aussagekräftig bzw. nicht sinnvoll.

Nach *Spranz*[12)] kann die in Gruppen ausgeführte Arbeit als typisch für den Baubetrieb angesehen werden: Unter Fertigungsgruppe (auch als Partie oder Arbeitspartie bezeichnet) wird eine bestimmte Zusammenstellung von Arbeitskräften in Arbeitsgruppen oder Geräten in Gerätegruppen verstanden. Bei Kombinationen führt er die Bezeichnung „Arbeiter-Gerätegruppen“ ein.

Für *Spranz* bestehen für die Planung des Bauablaufs und den Einsatz von Fertigungsgruppen folgende Möglichkeiten:

- *Fertigung mit Arbeitergruppen, die verschiedene Arten von Arbeitsgängen durchführen, so genannte gemischte Kolonnen*
- *Fertigung mit Arbeitergruppen, die fortlaufend gleiche Arten von Arbeitsvorgängen durchführen, so genannte spezialisierte Kolonnen.*

Der Vorteil der Gruppenbetrachtung liegt nach *Spranz* in der erheblichen Steigerung (Größenordnung wird dazu nicht angegeben) der Arbeitsproduktivität durch den Einsatz von spezialisierten Arbeitsgruppen. Die Arbeitsvorgänge sind dabei so angeordnet, dass die einzelnen Arbeitsgruppen kontinuierlich die gleichen Teilarbeiten ausführen.

Dazu muss der Arbeitsablauf so vorbereitet sein, dass eine weitgehend kontinuierliche Beschäftigung in den Arbeitsvorgängen überhaupt möglich ist. Vor allem bei kleineren Bauvorhaben sind die Voraussetzungen für einen kontinuierlichen Arbeitsablauf in der Regel nicht gegeben. Hier führen dieselben Arbeitsgruppen verschiedene Tätigkeiten aus (z.B. Schalen, Bewehren und Betonieren).

Es wird hier bei der Arbeitsproduktivität folgende Unterscheidung vorgenommen:

- Arbeitsproduktivität bezogen auf die Arbeitskraft
- Arbeitsproduktivität bezogen auf den Aufwandswert

[12)] vgl. Spranz (2003). Arbeitsvorbereitung im Ingenieurhochbau. 13f

2.2.3.1 Arbeitsproduktivität bezogen auf die Arbeitskraft

Die Arbeitsproduktivität wird auf die Arbeitskraft bezogen, ohne dass der zeitliche Aspekt direkt im Ergebnis der Berechnung ausgedrückt wird. Bezieht man die Arbeitsproduktivität auf die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte, wird sie aus dem Quotienten der betrachteten Produktionsmenge und der Anzahl der dafür eingesetzten Arbeitskräfte berechnet. Zieht man als Bezugsgröße beispielsweise den Bruttorauminhalt heran, wird die Produktivität $P_{AK,\,BRI}$ [m^3BRI/AK] nach Glg.(2-3) aus dem Quotienten der Produktionsmenge M_{BRI} [m^3BRI] und der Anzahl der dafür eingesetzten Arbeitskräfte AK_{RB} berechnet.

$$P_{AK,\,BRI} = \frac{M_{BRI}}{AK_{RB}} \tag{2-3}$$

Wird die Arbeitsproduktivität auf die Betonmenge bezogen, ist sinngemäß vorzugehen.

Beispiel: Eine Baufirma hat in einem Jahr ca. 100.000 m^3 Stahlbeton auf ihren verschiedenen Baustellen mit insgesamt ca. 300 Arbeitskräften eingebaut. Der durchschnittliche Gesamt-Aufwandswert liegt dafür bei ca. 4 Std/m^3. Auf die Arbeitsproduktivität bezogen heißt das, dass jeder Arbeiter im Durchschnitt ca. 333 m^3 Beton eingebaut hat. In diesem Fall beträgt die Arbeitsproduktivität 333 m^3/AK. Die Werte für die Arbeitsproduktivität können zum Vergleich mit jenen aus vergangenen Jahren herangezogen werden. Anhand der Daten kann der Verlauf der Arbeitsproduktivität über mehrere Jahre dargestellt und bei Differenzen die Ursachen dafür analysiert werden.

Wird die Dauer in die Berechnung aufgenommen, wird die Arbeitsproduktivität nach Glg.(2-4) berechnet.

$$P_{AK,\,BRI} = \frac{M_{BRI}}{D_{RB} \cdot AK_{RB}} \tag{2-4}$$

Im Gegensatz zu Glg.(2-3) wird in Glg.(2-4) im Nenner die Dauer der Rohbauarbeiten berücksichtigt.

Beispiel: Nimmt man z.B. die gesamte Betonmenge als Bezugsgröße für die Auswertung eines abgeschlossenen Projekts, ergibt sich der Wert für die Produktivität mit 150 m^3/AK, d.h. eine Arbeitskraft hat durchschnittlich 150 m^3 auf der Baustelle eingebaut. Wurde im Angebot mit einer Produktivität von 160 m^3/AK gerechnet ergibt sich ein Produktivitätsdefizit von

10 m^3/AK oder ca. 7 %. Eine Erklärung dafür wäre, um beim obigen Beispiel zu bleiben, ein höherer Arbeitskräftebedarf oder höhere Aufwandswerte für die Stahlbetonarbeiten als im ursprünglichen Angebot angenommen.

Wird der Zeitfaktor in die Berechnung mitaufgenommen, steigt die Aussagekraft der Arbeitsproduktivität. Bei einer Dauer von 4 Monaten wäre beispielsweise die Arbeitsproduktivität 37,5 m^3/AK,Mo.

Werte von verschiedenen Baustellen sind nur dann sinnvoll vergleichbar, wenn sie unter annähernd gleichen Bedingungen zustande gekommen sind. Beispielsweise sind Aufwandswerte für Schalarbeiten die im Winter gemessen wurden kaum mit jenen aus der warmen Jahreszeit vergleichbar. Deswegen sind die Angaben zu den Umständen, unter denen die Arbeiten durchgeführt wurden, so wichtig für die Vergleichbarkeit von Werten.

2.2.3.1.1 Interaktionsdiagramm für die Arbeitsproduktivität – Bruttorauminhalt

Mit dem folgenden Interaktionsdiagramm werden im Hinblick auf die Arbeitsproduktivität baubetriebliche Zusammenhänge für die Rohbauarbeiten eines Bauwerks grafisch dargestellt.

Es werden damit die Beziehungen zwischen

- Aufwandswert für die Rohbauarbeiten [Std/m^3],
- stündlicher Leistung [m^3/h],
- Anzahl der Arbeitskräfte,
- täglicher Leistung [m^3/d],
- täglicher Arbeitszeit [h/d],
- Bruttorauminhalt des Bauwerks [m^3],
- Dauer der Rohbauarbeiten [d] und
- Arbeitsproduktivität bezogen auf die Arbeitskraft und den Bruttorauminhalt [m^3BRI/AK]

hergestellt.

Das Interaktionsdiagramm in Abb. 2-4 setzt sich aus vier Quadranten zusammen. Nachfolgend werden die Achsen und Kurven der Diagramme in den einzelnen Quadranten beschrieben.

Im ersten Quadranten (I) des Diagramms sind auf der Abszisse die Aufwandswerte für die Rohbauarbeiten des Bauwerks bzw. des betrachteten Abschnitts aufgetragen. Die Abszissenwerte beginnen bei 0,4 und gehen bis

3,2 Std/m^3. Für das Hauptintervall beträgt die Schrittweite 0,2 und für das Hilfsintervall 0,1 Std/m^3. Auf der Ordinate ist die stündliche Leistung von 0 bis 100 m^3/h dargestellt. Das Hauptintervall ist hier mit 5 und das Hilfsintervall mit 2,5 m^3/h gewählt. Die Kurven im Diagramm stehen für die Anzahl an Arbeitskräften. Der kleinste Wert wird in dieser Darstellung mit 10 und der höchste mit 85 Arbeitskräften angegeben (Schrittweite 5).

Die Ordinate im II. Quadranten entspricht jener des ersten Quadranten. Auf der Abszisse ist die tägliche Leistung von 0 bis 700 m^3/d aufgetragen. Für das Hauptintervall wurden hier 50 und fürs Hilfsintervall 25 m^3/d gewählt. Die Geraden im Diagramm stehen für verschiedene tägliche Arbeitszeiten. Werte für die verschiedenen Arbeitszeiten wurden hier zwischen 8 bis 16 h/d definiert.

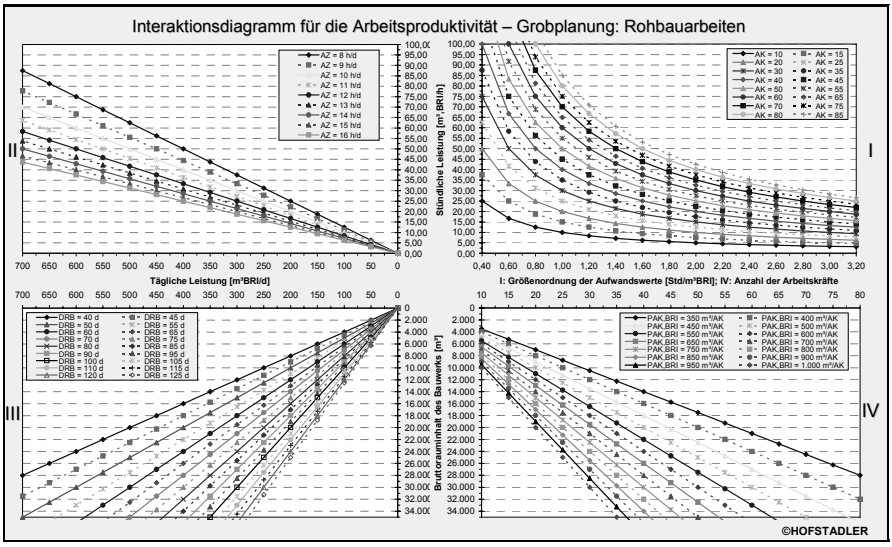


Abb. 2-4 Interaktionsdiagramm für die Arbeitsproduktivität – Grobplanung: Rohbauarbeiten

Zwischen dem II. und III. Quadranten ist die Abszisse gleich. Im III. Quadranten ist auf der Ordinate der Bruttorauminhalt aufgetragen. Die Werte reichen von 0 bis 34.000 m^3 (Hilfsintervall 1.000 und Hauptintervall 2.000 m^3). Die einzelnen Geraden stehen jeweils für eine bestimmte Dauer der Rohbauarbeiten. Die Gerade für die kürzeste Dauer steht für 40 und jene für die längste für 125 Arbeitstage (Intervall ist 5).

Die Ordinate zwischen III. und IV. Quadranten ist deckungsgleich. Verschieden sind die Abszissen zwischen I. und IV. Quadranten. Auf der Abs-

zisse ist die Anzahl der Arbeitskräfte aufgetragen. Das Minimum wurde hier mit 10 und das Maximum mit 80 gewählt. Das Hauptintervall ist 5 und das Hilfsintervall 2,5. Die Geraden im Diagramm geben jeweils die Arbeitsproduktivität an. Beispielsweise steht „$P_{AK,BRI}$ = 700 m^3BRI/AK“ dafür, dass die Arbeitsproduktivität 700 m^3BRI je Arbeitskraft beträgt.

2.2.3.1.2 Anwendungsbeispiel im Hochbau – Beispiel zur grafischen Ermittlung der absoluten Arbeitsproduktivität

Im Folgenden wird ein Beispiel zur Anwendung des Interaktionsdiagramms für die Rohbauarbeiten eines Verwaltungsgebäudes gezeigt. Aufgabe ist es, für die Vorgaben durch die Nutzung des Diagramms in Abb. 2-4, Lösungen auszuarbeiten. Die Vorgangsweise wird dazu für das Beispiel grafisch dargestellt und auch beschrieben.

Für das Beispiel „Rohbauarbeiten für ein Verwaltungsgebäude“ gelten hier folgende Angaben:

- Bruttorauminhalt des Bauwerks: ca. 33.000 m^3
- tägliche Arbeitszeit: 8 h/d
- durchschnittliche Anzahl an Arbeitskräften: 40
- mittlerer Aufwandswert für die Rohbauarbeiten: 0,8 Std/m^3BRI

Aufgabenstellung:

Gesucht ist die Arbeitsproduktivität für die Rohbauarbeiten des Bauvorhabens. Weiters soll mit dem Interaktionsdiagramm dargestellt werden, wie sich eine Erhöhung des Aufwandswertes auf die erforderliche Anzahl der Arbeitskräfte und auf die Arbeitsproduktivität auswirkt.

Lösung: Grafische Ermittlung der Arbeitsproduktivität

Die grafische Lösung ist in Abb. 2-5 durch nummerierte Pfeile dargestellt.

Im ersten Quadranten wird bei 0,8 Std/m^3BRI die Vertikale (1) nach oben gezeichnet. Für die geplanten 40 Arbeitskräfte wird die entsprechende Gerade ausgewählt und mit (1) geschnitten. Vom Schnittpunkt wird eine horizontale Gerade (2) nach links gezeichnet, bis sich der Schnittpunkt mit der Ordinate ergibt. Mit 50 m^3/h ist der Wert für die stündliche Leistung bestimmt.

Die Horizontale (2) wird in den II. Quadranten verlängert und mit der Geraden für die tägliche Arbeitszeit von 8 h geschnitten. Von dort wird die Vertikale (3) nach unten eingezeichnet, bis der Wert für die tägliche Leistung bestimmt ist. Diese beträgt 400 m^3BRI/d.

Zur Bestimmung der Dauer der Stahlbetonarbeiten wird der Wert für den Bruttorauminhalt auf der Abszisse des III. Quadranten ausgewählt. Bei 33.000 m^3BRI wird die Horizontale (4) nach links eingezeichnet und mit der Verlängerung der Geraden (3) zum Schnitt gebracht. Der ermittelte Punkt liegt zwischen der Geraden „D_{RB} = 80 d“ und „D_{RB} = 85 d“. Durch grafisches Interpolieren lässt sich die Dauer mit ca. 82,5 d ablesen.

Im IV. Quadranten wird für die Ermittlung der Arbeitsproduktivität auf der Abszisse bei 40 Arbeitskräften die Vertikale (6) nach unten aufgetragen. Gleichzeitig wird auf der Ordinate bei 33.000 m^3BRI die Horizontale nach links gezogen bis der Schnittpunkt mit (6) folgt. Der ermittelte Punkt liegt zwischen den Geraden „$P_{AK,BRI}$ = 800 m^3BRI/AK“ und „$P_{AK,BRI}$ = 850 m^3BRI/AK“.

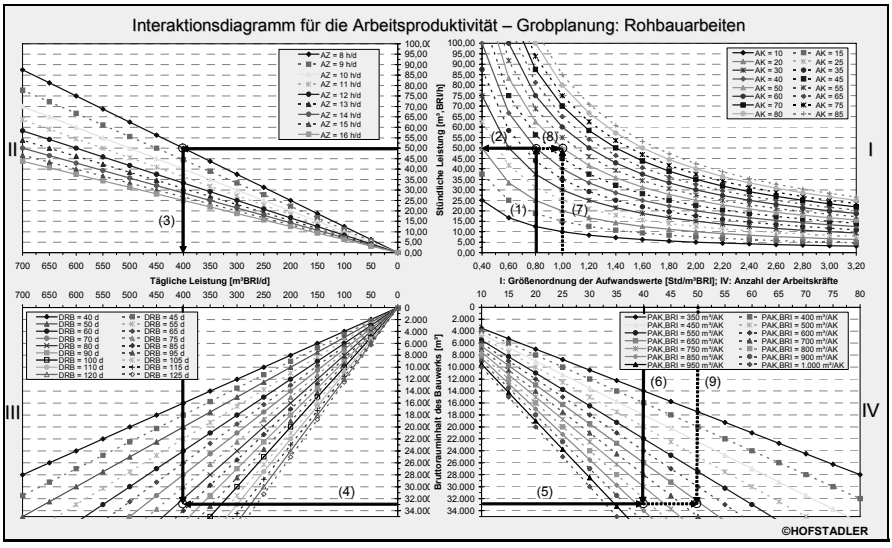


Abb. 2-5 Interaktionsdiagramm für die Arbeitsproduktivität – Grobplanung: Rohbauarbeiten – Anwendungsbeispiel

Unter den angeführten Randbedingungen liegt die Arbeitsproduktivität für das Bauvorhaben bei ca. 825 m^3BRI/AK.

2.2.3.1.3 Beispiel zur Sensitivitätsanalyse

Es soll geklärt werden, wie sich die Anzahl der Arbeitskräfte und die Arbeitsproduktivität nach Erhöhung des mittleren Aufwandswertes um 0,2 Std/m^{3}BRI ändert. Alle anderen Parameter bleiben dabei konstant. Durch die angenommene Steigerung des Aufwandswertes um 0,2 Std/m^{3}BRI, erhöht sich der Wert auf 1 Std/m^{3}BRI oder 25 %. Die Dauer und die tägliche Arbeitszeit bleiben dabei unverändert. Untersucht werden die Auswirkungen auf die Anzahl der Arbeitskräfte und auf die Arbeitsproduktivität.

Auf der Abszisse des ersten Quadranten wird bei 1 Std/m^{3}BRI die Gerade (7) nach oben verlängert. Um die gleiche Dauer beizubehalten bleibt die tägliche Leistung gleich wie im Ausgangsbeispiel. Auch die stündliche Leistung ändert sich bei gleich bleibender täglicher Arbeitszeit nicht. Zur Bestimmung der Anzahl der Arbeitskräfte wird im ersten Quadranten bei 50 m^3/h die Horizontale (8) nach rechts eingezeichnet und mit (7) geschnitten. Der Schnittpunkt liegt auf der Geraden „AK = 50“ und damit ist die Anzahl der Arbeitskräfte mit 50 bestimmt.

Die Auswirkungen auf die Arbeitsproduktivität werden untersucht. Dazu wird im IV. Quadranten auf der Abszisse bei 50 Arbeitskräften die Vertikale (9) nach unten eingezeichnet. Mit der Horizontalen (5), die auf der Ordinate bei 33.000 m^3 nach rechts gezogen wird folgt der Schnittpunkt. Der gesuchte Wert für die Arbeitsproduktivität liegt zwischen den Geraden „$P_{AK,BRI}$ = 650 m^{3}BRI/AK“ und „$P_{AK,BRI}$ = 700 m^{3}BRI/AK“. Durch grafisches Interpolieren ergibt sich der Wert für die Arbeitsproduktivität mit ca. 660 m^{3}BRI/AK.

Durch Steigerung des Aufwandswertes um 25 % hat sich die Arbeitsproduktivität um ca. 165 m^{3}BRI/AK (dies entspricht ca. 20 %) gegenüber der Ausgangsberechnung verringert.

2.2.3.2 Arbeitsproduktivität bezogen auf den Aufwandswert

Aus dem Reziprokwert des Aufwandswertes wird die Arbeitsproduktivität $P_{a,v,i}$ [EH/ZEH,AK] bezogen auf den Aufwandswert berechnet (siehe Glg.(2-5)). Wesentliche Einflüsse auf den Aufwandswert und damit direkt auch auf die Arbeitsproduktivität sind in Abb. 2-2 dargestellt.

$$P_{a,v,i} = \frac{1}{AW_{a,v,i}} \qquad (2\text{-}5)$$

2.2.3.3 Rationalisierungspotenzial der Produktivität

Die Produktivitätssteigerung kann durch technische Rationalisierung, soziale Rationalisierung und organisatorische Rationalisierung erfolgen. Diese Rationalisierungsmaßnahmen können einzeln oder durch Kombination zur Erhöhung der Produktivität beitragen[13)].

2.2.3.3.1 Technische Rationalisierung

Die Mittel der technischen Rationalisierung sind insbesondere[14)]:

- *Die Mechanisierung, der zunehmende Einsatz von Maschinen und Geräten, durch den Handarbeit teilweise durch Maschinenarbeit ersetzt wird.* Beispiel: Einsatz von Schalwagen für die Stahlbetonarbeiten der Wände und Decken von Unterflurtrassen.
- *Der allgemeine technische Fortschritt, der Verbesserungen der Arbeitsmittel mit sich bringt.* Beispiel: Krane mit frequenzgesteuerten Antrieben ermöglichen kürzere Kranspielzeiten.
- *Die Vorfertigung, die es ermöglicht, Baustellenfertigung teilweise durch leistungsfähigere Werkstattfertigung zu ersetzen.* Beispiel: Einsatz von Fertigteilen bei Stahlbetonarbeiten.
- *Die Verbesserung vorhandener oder die Entwicklung neuer Bauverfahren, um eine schnellere und kostengünstigere Bauleistungserstellung zu erzielen.* Beispiel: Entwicklung der Deckelbauweise für einen rascheren Baufortschritt.
- *Die Entwicklung zweckmäßiger Baustoffe und deren rationeller Einsatz.* Beispiel: Entwicklung und Einsatz von Selbstverdichtendem Beton (SVB bzw. SCC).

2.2.3.3.2 Organisatorische Rationalisierung

Die Mittel der organisatorischen Rationalisierung sind in erster Linie[15)]:

- *Die Organisation im engeren Sinne, mit deren Hilfe in den Formen der Ablauf- und Aufbauorganisation, verbunden mit Stellenbeschreibungen und Arbeitsanweisungen, Doppelarbeit vermieden werden kann, Lücken in der Aufgabenerfüllung geschlossen werden können, und die Erfüllung vieler Aufgaben wirtschaftlicher gestaltet werden kann.* Beispiel: Einfüh-

[13)] vgl. Gaede/Toffel (1985). Zur Dynamik der Baupreise. 394

[14)] vgl. Gaede/Toffel (1985). Zur Dynamik der Baupreise. 394

[15)] vgl. Gaede/Toffel (1995). Zur Dynamik der Baupreise. 394f

rung, Umsetzung und Akzeptanz von Qualitätsmanagementsystemen.
- *Die Planung der Bauabläufe, welche kürzere Bauzeiten und einen geringeren Verbrauch von Produktionsmittelmengen zur Erstellung bestimmter Leistungen ermöglichen.* Beispiel: Ermittlung des optimalen Fertigungsablaufs unter Berücksichtigung von Logistik und Ressourcen.
- *Die Standardisierung der Bauproduktion durch Vereinheitlichung von Maßen und Produktionselementen im Wege der Normung und durch Vereinheitlichung der Ausführungsnormen der Erzeugnisse im Wege der Typung.* Beispiel: Ziegelformate, Zementklassen, Bezeichnungen, Begriffe, Stahlprofile
- *Der Einsatz von Spezial-Nachunternehmer-Gruppen, die bestimmte Teilleistungen besonders wirtschaftlich erbringen können.* Beispiel: Baugrundverbesserung durch Spezialtiefbauunternehmen die beispielsweise Hochdruckbodenvermörtelung durchführen.

2.2.3.3.3 Soziale Rationalisierung

Die Mittel der sozialen Rationalisierung sind vor allem[16]:

- *Die Auswahl der Mitarbeiter im Hinblick auf die von ihnen zu erfüllenden Aufgaben.* Beispiel: Ausgebildete Zimmerer für anspruchsvolle Schalarbeiten (z.B. Sichtbeton, Stiegen, Saugschlauch im Krafthaus).
- *Die Anwendung einer leistungsfähigeren Führungsordnung, welche die Zusammenarbeit der Mitarbeiter in der Unternehmung regelt.* Beispiel: Freiheiten zur Selbstorganisation innerhalb definierter Grenzen.
- *Die Schulung von Mitarbeitern für bestimmte Aufgaben.* Beispiel: Analyse des Potenzials der Mitarbeiter mit darauf ausgerichtetem Schulungsprogramm.
- *Die berufliche Förderung der Mitarbeiter.*
- *Die Anwendung eines leistungsbezogenen Entgeltsystems.* Beispiel: Leistungsbezogener Lohn gekoppelt mit Anreizen zur Steigerung der Qualität.

Grote[17] sieht ein wesentliches Potenzial der Produktivitätssteigerung in der Selbstorganisation der Bauarbeiter auf der Baustelle. Diese Aussage stützt sich auf eine wissenschaftliche Umfrage, wonach 80 % der Bauarbeiter die Arbeitsprozesse selbst steuern wollen. Dazu ist anzumerken, dass diese Selbstorganisation aber nur in klar definierten Grenzen erfolgen kann. Beispielsweise kann die Wahl des Schalungssystems und der Abschnitts-

[16] vgl. Gaede/Toffel (1995). Zur Dynamik der Baupreise. 397

[17] vgl. Grote (1992). Perspektiven der Management-Kybernetik im Bauwesen. 40

größe nur im Zuge der Arbeitsvorbereitung vom Bauleiter und/oder Arbeitsvorbereiter erfolgen. Natürlich sollen aber die Erkenntnisse der Bauarbeiter aus vergangenen Projekten in die Arbeitsvorbereitung einfließen.

2.2.4 Zusammenfassung

Die Produktivität ist entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg einer Baustelle und in weiterer Folge für das Unternehmen. Kosten und Zeit werden maßgeblich von der Produktivität beeinflusst. Bei gleichem Ressourceneinsatz wirkt sich eine unterschiedliche Arbeitsproduktivität auf die Leistung und in der Folge auf die Dauer aus. Wenn die Möglichkeiten der Ressourcensteigerung oder der Steigerung der täglichen Arbeitszeit nicht gegeben sind, kann die Leistungssteigerung nur über die Steigerung der Arbeitsproduktivität gelingen.

Motzko[18] betont, dass der Erfolg von Rationalisierungsmaßnahmen in der Bauwirtschaft stark von der richtigen Auswahl der Bauverfahren, Geräte und Baustoffe sowie vom Abstimmungsprozess abhängt.

Gehbauer[19] sieht weiteres Steigerungspotenzial der Produktivität und gleichzeitig der Qualität in der Koppelung von Produktentwicklung und Produktion. Auf das Bauwesen übertragen bedeutet das eine Koppelung von planerischen und bemessenden Elementen mit den Bereichen Ausführung und Betrieb eines Bauwerks. Ausgehend von einer Studie zeigt *Gehbauer* auf, wo die Rationalisierungsreserven liegen: Nämlich in den baubetrieblichen Planungs- und Ausführungsmethoden.

Blecken[20] fordert ebenfalls, dass fertigungstechnische und konstruktive Kosteneinflüsse bereits in der Tragwerksplanung berücksichtigt werden.

2.3 Aufgaben der Arbeitsvorbereitung

Durch die Arbeitsvorbereitung sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, dass

[18] vgl. Motzko (1990). Ein Verfahren zur ganzheitlichen Erfassung und rechnergestützten Einsatzplanung von Schalungssystemen. 159

[19] vgl. Gehbauer (1992). Baubetrieb 2000 – in Forschung, Lehre und Beratung. 236

[20] vgl. Blecken (1979). Kostenoptimierung von Deckentragsystemen im Stahlbetonbau. 2214

- Arbeitskräfte
- Maschinen
- Baustoffe

zur richtigen Zeit und in der notwendigen Menge am richtigen Ort sind.

Diese Forderungen können durch folgende Planungsmaßnahmen verwirklicht werden:

- Auswahl des wirtschaftlichsten Bauverfahrens (Verfahrensvergleich)
- Planung des Bauablaufs (Bauablaufplanung)
- Planung des Ressourceneinsatzes von Arbeitskräften, Maschinen und Baustoffen (Logistik)
- Planung der Baustelleneinrichtung[21)]

In der vorliegenden Arbeit wird vorwiegend auf die Bauablaufplanung und Logistik eingegangen. Die anderen Planungsmaßnahmen werden kurz erläutert (z.B. im Ablaufschema für die Grob- oder Feinplanung) und es werden weiterführende Literaturhinweise angegeben.

Der zeitliche Ablauf der Bauausführung wird unter Berücksichtigung der notwendigen Reihenfolge der einzelnen Arbeitsvorgänge in der Bauablaufplanung festgelegt. Überlegungen zum Bauablauf und zur Logistik werden vor allem im Rahmen der Arbeitsvorbereitung angestellt.

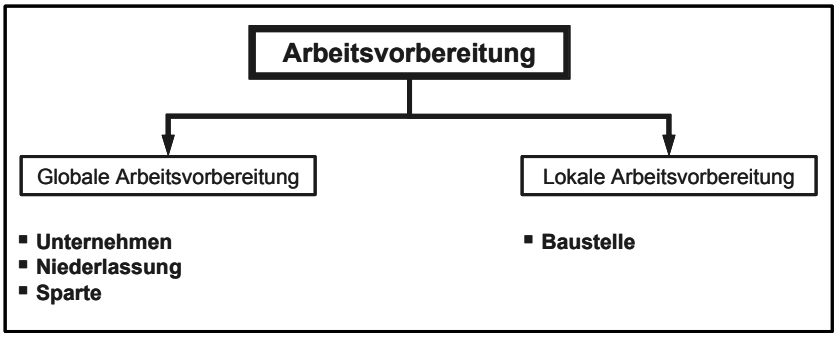


Abb. 2-6 Unterscheidung in globale und lokale Arbeitsvorbereitung

Es wird hier eine Unterscheidung in globale und lokale Arbeitsvorbereitung getroffen (siehe Abb. 2-6). Bei der globalen Arbeitsvorbereitung werden die Baustellen eines Unternehmens, einer Niederlassung oder einer Sparte betrachtet.

[21)] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch für die Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 11

Ziel der globalen Betrachtung ist die optimale Verteilung und Auslastung der Arbeitskräfte und Baugeräte.

Bei der Zuordnung der Arbeitskräfte zu den einzelnen Baustellen soll darauf geachtet werden, dass die höher qualifizierten Arbeitskräfte den technisch anspruchsvolleren Baustellen zugeteilt werden.

Unter der lokalen Arbeitsvorbereitung sind hier die Maßnahmen speziell für eine Baustelle gemeint. Hier wird die Bauablaufplanung für eine Baustelle oder ein Baulos durchgeführt. Die Ziele der globalen Arbeitsvorbereitung sollen dabei weitgehend berücksichtigt werden (sofern die Bestimmungen des Bauvertrags eingehalten werden).

Die Bauunternehmung kann aufgrund der vorhandenen Informationen auf der Ebene der Unternehmensleitung die einzelnen Baustellen so koordinieren, dass die Kapazitäten gleichmäßig ausgenutzt sind und mit Minimalkosten produziert werden kann. Schwankungen im Auftragseingang sowie im Auftragsvolumen (z.B. saisonal bedingt oder nachfragebedingt) sind nicht zu vermeiden und stören oft die optimale Verteilung und Auslastung der Ressourcen.

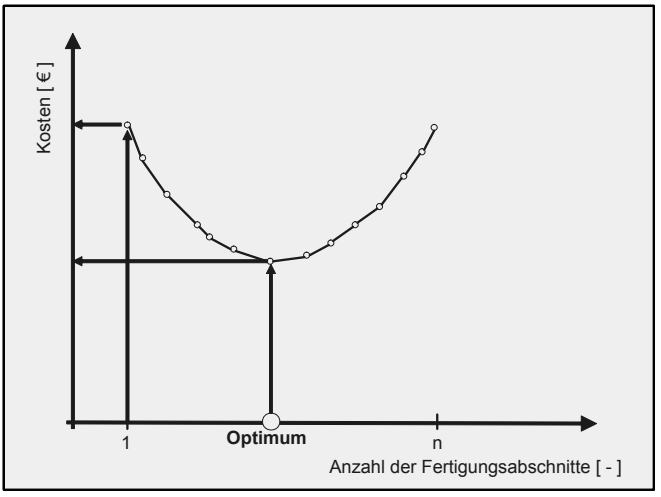


Abb. 2-7 Kostenminimum eines Projekts in Abhängigkeit von der Anzahl der Fertigungsabschnitte[22)]

[22)] vgl. Hofstadler (2003). Planung des Fertigungsablaufs und Optimierung der Herstellung von Stahlbetondecken bei Fließfertigung. a.a.O.

Das Ziel, welches mit der Ablaufplanung und der damit einhergehenden Optimierung erreicht werden soll, ist schematisch in Abb. 2-7 dargestellt.

Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte und auf der Ordinate sind die Kosten aufgetragen. Jeder Punkt in der Abb. 2-7 ist das Ergebnis eines umfassenden Berechnungsdurchgangs der Kosten. Im Zuge der Optimierung, z.B. der Stahlbetonarbeiten für ein Bauwerk, werden für jede Berechnung die Lohn-, Geräte- und Baustoffkosten für die Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten für eine bestimmte Anzahl an Fertigungsabschnitten berechnet. Die Baustellengemeinkosten, die wesentlich von der zur Verfügung stehenden Bauzeit beeinflusst werden, sind ebenfalls zu berücksichtigen. Die einzelnen Punkte werden zu einer Kurve verbunden. Wesentlich dabei ist die Teilbarkeit des Bauwerks bzw. Bauteils in Fertigungsabschnitte. Mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten verringert sich z.B. bei Schalarbeiten die Vorhaltemenge für die Deckenschalung. Die Kosten für die erforderlichen Arbeitsfugen zwischen den Fertigungsabschnitten steigen mit der Anzahl der Abschnitte.

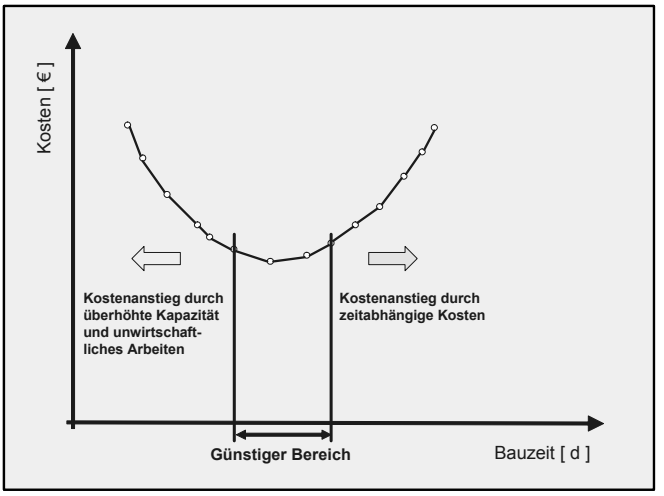


Abb. 2-8 Darstellung des „Günstigen Bereichs“ im Zusammenhang mit Bauzeit und Kosten[23)]

Durch Optimierungen (Veränderung von Eingabeparametern wie z.B. Anzahl der Fertigungsabschnitte, Schalungssystem, Anzahl der Arbeitskräfte, Fertigungsreihenfolge) soll jene Anzahl an Fertigungsabschnitten gefunden werden, bei der das Kostenminimum für die Bauausführung unter den ge-

[23)] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 154

gebenen Randbedingungen erzielt wird. Links und rechts vom Kostenminimum, steigt die Kurve mit steigender bzw. fallender Anzahl an Fertigungsabschnitten wieder an. Als günstiger Bereich werden die Abschnitte neben dem Ort des Kostenminimums bezeichnet, in der die Kurve einem flachen Verlauf (geringe Kostendifferenz zum Optimum) folgt.

Der Herstellprozess in der Bauwirtschaft unterliegt aufgrund seines instationären Unikat-Charakters und der Produktion im Freien einer Vielzahl von inhärenten und äußeren Störeinflüssen. Äußere Störeinflüsse wie z.B. Umwelteinflüsse (z.B. außergewöhnlich lang anhaltende Kälteperioden, unüblich lange Regenperioden) oder Planungsverzug und inhärente Störeinflüsse (z.B. mangelhafte Abstimmung der einzelnen Teilprozesse, unzureichende Arbeitsvorbereitung, Mitarbeiterfluktuation) können bedingt durch den geänderten Bauablauf und/oder geänderte Ressourcennutzung zu höheren als den geplanten Herstellkosten führen. Störungen sind ständige Wegbegleiter im Bauprozess. Es gilt Regeln zu formulieren, wie darauf zu reagieren ist und wie sich der Informationsfluss gestalten soll.

Idealerweise werden bei den Stahlbetonarbeiten die Schalarbeiten, Bewehrungsarbeiten und Betonierarbeiten miteinander vernetzt geplant. Eine vernetzte Betrachtung stellt sicher, dass für das jeweilige Projekt das optimale Ergebnis (z.B. Anzahl der Fertigungsabschnitte bei der sich das Kostenminimum einstellt) erzielt wird. Durch die Verknüpfung ist weiters die Möglichkeit gegeben, die Sensitivität (z.B. Zeit, Kosten) des geplanten Fertigungsablaufs für das Bauwerk, das Geschoss oder den Fertigungsabschnitt auf mögliche Störeinflüsse zu untersuchen. Damit können bereits vor der Ausführung der Arbeiten Szenarien für die Behebung von Störungen entwickelt werden.

In der Abb. 2-8 ist der Zusammenhang zwischen Bauzeit und Kosten dargestellt. Auf der Abszisse ist die Bauzeit und auf der Ordinate sind die Kosten aufgetragen. Abweichend vom Kostenminimum führen eine längere sowie eine kürzere Bauzeit zu einem Anstieg der Kosten.

Als günstiger Bereich werden die Abschnitte neben dem Ort des Kostenminimums bezeichnet, in der die Kurve einem flachen Verlauf (geringe Kostendifferenz zum Optimum) folgt.

Abweichungen von der optimalen Bauzeit[24)]:

- *zu lange Bauzeit: hohe zeitabhängige Kosten, da die Baustelle eine bestimmte Mindestkapazität haben muss*

[24)] Dress/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 153f

- *zu kurze Bauzeit: hohe einmalige Kosten, Verminderung der Arbeitsleistung (die variablen Kosten steigen überproportional an)*

2.3.1 Dilemma der Arbeitsvorbereitung

Für die Arbeitsvorbereitung steht in der Regel – im Verhältnis zur Planung und Bauausführung – sehr wenig Zeit zur Verfügung (schematisch in Abb. 2-9 dargestellt).

Von Entscheidungsträgern im Bauwesen, in Fachartikeln und Büchern wird bekundet, wie wichtig die Arbeitsvorbereitung für die Bauausführung ist. Die Realität zeigt aber, dass für die Arbeitsvorbereitung immer weniger Personal zur Verfügung steht. Weniger Personal und weniger Zeit bedeuten, dass weniger Stunden aufgewendet werden, in denen verschiedene Bauverfahren miteinander verglichen werden und verschiedene Möglichkeiten des Fertigungsablaufs, der Ressourcenverteilung, Baustelleneinrichtung, Bauwerkseinteilung und Unterteilung in Fertigungsabschnitte etc. untersucht werden. Daraus folgt oft eine unzureichende und unvollständige Arbeitsvorbereitung zum Projektstart. Die Rechnung für dieses Dilemma wird schon während der Bauausführung präsentiert. Negative Abweichungen in Qualität, Zeit und Kosten sind oft die Folge. Sie wirken sich auf den Unternehmenserfolg und bei längeranhaltenden Diskrepanzen auf den Fortbestand einer Baufirma aus.



Abb. 2-9 Dilemma der Arbeitsvorbereitung[25)]

Etwa bei Betrachtung der Stahlbetonarbeiten zielt die technische Arbeitsvorbereitung z.B. auf die richtige Wahl des Schalungssystems und der Schalhaut ab. Ist Sichtbeton ausgeschrieben, ist besonderes Augenmerk auf die beschriebenen und/oder durch Pläne bzw. Musterflächen dargestellten Oberflächenmerkmale zu legen.

Die wirtschaftliche und organisatorische Arbeitsvorbereitung zielt auf einen wirtschaftlich optimalen Bauablauf ab. Durch die effiziente Ressourcennutzung soll dabei der wirtschaftlich optimale Fertigungsablauf für die ausführende Firma gefunden werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Sollkosten und die Sollbauzeit erreicht bzw. nicht überschritten und die Qualitätsvorgaben eingehalten werden.

2.3.2 Lösungsansätze für dieses Dilemma

Welche Lösungsansätze für dieses Dilemma gibt es? Es stehen folgende Lösungsansätze zur Auswahl:

1. Ausdehnung der Zeit und der Ressourcen zur Durchführung der Arbeitsvorbereitung
2. bei gleich bleibenden Zeit- und Ressourcenverhältnissen oder gar Einschränkungen: Schaffung von Instrumenten zur Effektivitätssteigerung in der Arbeitsvorbereitung

Die Lösung Nr. 1 wird wohl ein Wunschdenken bleiben. Sobald der Zuschlag (Vertragsabschluss) erteilt wurde, soll bereits mit dem Bau begonnen werden.

Realistisch erscheint Lösung Nr. 2, nämlich mittels Instrumenten die Effektivität in der Arbeitsvorbereitung zu steigern. Die Instrumente haben dabei die Funktion mit gleichem Personaleinsatz mehr Ausführungsmöglichkeiten für ein Bauwerk zu untersuchen.

Computerprogramme mit denen die Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten miteinander vernetzt behandelt werden können eignen sich hier besonders. Dadurch werden eine ganzheitliche Betrachtung und eine Vielzahl von Untersuchungen ermöglicht. Mit Bauzeitplanungsprogrammen können die einzelnen Vorgänge miteinander vernetzt werden; weiters ist die Zuordnung der Ressourcen möglich. Diese Software ersetzt aber nicht das „Know-How“ und „Know-Why“ jener Menschen, welche die Arbeitsvor-

[25] vgl. Hofstadler (2003). Planung des Fertigungsablaufs und Optimierung der Herstellung von Stahlbetondecken bei Fließfertigung. a.a.O.

bereitung und Bauausführung durchführen. Sie dient vor allem als Hilfestellung für die Entscheidungsfindung.

Weiters ist es wichtig, die für die Bauausführung verantwortlichen Personen in die Arbeitsvorbereitung einzubinden. Sie sind jene Menschen, welche die in der Arbeitsvorbereitung getroffenen Maßnahmen auf der Baustelle umsetzen.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Interaktionsdiagramme für die Bauablaufplanung und Logistik dienen allen Beteiligten eines Projekts als Instrument zur Steigerung der Effizienz und Effektivität.

2.4 Grundlagen zur Bauablaufplanung und Logistik

Bauablaufplanung und Logistik sind wesentliche Bestandteile der Arbeitsvorbereitung. Nach der Beschreibung der wesentlichen Grundlagen wird in Grob- und Feinplanung differenziert. Für die Grobplanung sowie Feinplanung wird ein Ablaufschema vorgestellt, anhand dessen systematisch die effizienteste Lösung gefunden werden kann (soll).

2.4.1 Grundlagen zur Bauablaufplanung

Die Errichtung eines Bauwerks erfordert die Kombination vieler komplexer Vorgänge. Komplex deswegen, weil viele verschiedenartige Arbeiten auszuführen sind, viele Beteiligte an der Abwicklung mitwirken und die einzelnen Arbeiten miteinander vernetzt sind. Auch die Eigenschaften der verwendeten Stoffe haben wesentlichen Einfluss auf die Bauablaufplanung (z.B. Ausschalfrist, Festigkeitsentwicklung, Konsistenz, Austrocknungszeit, Lagerungsfähigkeit, Belastbarkeit, Viskosität).

Die Planung des Bauablaufs ist ein wesentlicher Bestandteil der Arbeitsvorbereitung. In der Grobplanung werden die Grundlagen für die Angebotskalkulation und später für die Arbeitsvorbereitung erarbeitet. Die Grobplanung liefert auch für die Planungsphase und später für die Ausschreibung wertvolle Informationen, wie etwa für den Rahmenterminplan oder den Generalablaufplan.

Für die ausführende Baufirma stellt sich ein wirtschaftlich optimales Ergebnis nur dann ein, wenn in der Bauablaufplanung im Zuge der Arbeitsvorbe-

reitung alle Vorgänge der Planung und Ausführung ganzheitlich und miteinander vernetzt betrachtet werden, wie etwa Einflüsse der Konstruktion auf die Arbeitsleistung.

Unter Arbeitsvorbereitung, oft auch als Fertigungsplanung bezeichnet, sind alle vorbereitenden Maßnahmen zu verstehen, die unter den gegebenen Umständen zu einer Bauausführung mit den geringsten Kosten (Minimalkosten) führen. Durch eine fundierte Bauablaufplanung ist also eine maximale Wirtschaftlichkeit zu erzielen.

Die Wirksamkeit der Arbeitsvorbereitung beruht darauf, dass bei einem geplanten (vorgedachten) Arbeitsablauf rechtzeitig alle Maßnahmen ergriffen werden können, die für eine optimale Bauausführung notwendig sind.

Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung wird das „Drehbuch“ für den Bauablauf geschrieben. Während der Bauausführung ist dieses „Drehbuch“ immer wieder an die tatsächlich angetroffenen Baustellen-, Bauwerks- und Betriebsbedingungen anzupassen.

Bei einem ungeplanten Arbeitsablauf ist stets mit objektiv vermeidbaren Verlusten zu rechnen, die sich negativ auf die maximale Wirtschaftlichkeit auswirken. Auch bei einem effektiv geplanten Fertigungsablauf treten unerwartete Ereignisse auf (z.B. Regen, Frost, Kälteeinbruch, Hitzewelle, plötzlicher Geräteschaden), welche die wirtschaftliche Bauausführung erheblich negativ beeinflussen können. Bei einem geplanten („vorgedachten“) Arbeitsablauf aber lassen sich die Störungen leichter erkennen, beheben und wirksamere Gegensteuerungsmaßnahmen setzen als bei einem ungeplanten Arbeitsablauf[26)].

Die Bauablaufplanung hat nicht nur die Funktion einer vorausschauenden Planung des Bauablaufs, sondern bildet die Grundlage für Kontroll- und Steuerungsmaßnahmen. Der im Voraus geplante Bauablauf soll nicht ein starres „Gebilde“ sein, sondern die Grundlage für die Steuerung des Bauablaufs durch den Bauleiter bilden.

Wird die Bauablaufplanung nicht vom Bauleiter selbst durchgeführt, sind die handelnden Personen so früh wie möglich in die Planung einzubinden. Sonst besteht die Gefahr, dass die von „externen“ Personen (z.B. eigene Abteilung für die Arbeitsvorbereitung) erstellte Bauablaufplanung von den auf der Baustelle handelnden Personen nicht oder nur widerwillig angenommen wird; auch gute Lösungen können, wenn sie nur widerwillig umgesetzt werden, ein schlechtes Ergebnis zur Folge haben.

[26)] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch für die Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 11

Bauer[27] führt an, dass eine sinnvolle Wirtschaftlichkeitskontrolle von Baustellen mit Soll-Ist-Vergleichen nur auf der Grundlage einer exakten Bauablaufplanung und einer ständig aktualisierten Arbeitskalkulation erfolgen kann.

Nach *Drees/Spranz*[28] bewährt sich für die Bauablaufplanung folgende Vorgangsweise:

1. Analyse des Bauwerks und Durchführung der Grobplanung, die sich auf die wichtigsten Bauabschnitte bezieht und hierfür Rahmenterminpläne festlegt.
2. Durchführung der Feinplanung, in der die Vorgänge und Fertigungsabschnitte genau betrachtet werden.
3. Kontrolle der Ergebnisse und Durchführung von Anpassungen und Optimierungen.

In der Ablaufplanung der Stahlbetonarbeiten ist nach *Drees/Spranz*[29] besonders auf die Schalarbeiten zu achten, da hier der größte Anteil an Lohnkosten anfällt und dadurch erhebliche Rationalisierungserfolge erzielbar sind. Angaben zur Größenordnung der Einsparungen sind dazu jedoch nicht angeführt.

Hoffmann[30] gibt für Schalarbeiten – bei so genannter „qualifizierter" Arbeitsvorbereitung – ein Einsparungspotenzial von mindestens 0,1 Std/m^2 Schalfläche an.

2.4.2 Grundlagen zur Logistik

Die Logistik hat ihren Ursprung in der Philosophie der griechischen Antike. In der römischen Antike und Neuzeit wurde die Logistik für das Militärwesen weiterentwickelt. In der Mitte der Neuzeit wurde die Logistik vom Militärwesen aufgegriffen und dort angewendet. *Clausewitz*[31] beschäftigte sich in seinem Werk „Vom Kriege" neben der Natur und Theorie des Krieges auch mit den Themen Unterhalt, Lager, Quartiere und Märsche.

Für die Wirtschaft wurde die Logistik in der Nachkriegszeit (nach 1970) entdeckt.

---

[27] Bauer (1992). Baubetrieb 2. A 24

[28] Drees/Spranz (1976). Handbuch für die Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 83

[29] Drees/Spranz (1976). Handbuch für die Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 178

[30] vgl. Hoffmann (1985). Zeitgemäßer Schalungsbau. 657

[31] vgl. Clausewitz (1832). Vom Kriege

Bereitstellungsauftrag und -ziel der Logistik nach *Ziems*[32] ist

- das richtige Objekt
- in der richtigen Qualität
- in der richtigen Menge
- am richtigen Ort
- zum richtigen Zeitpunkt
- zu richtigen (minimalen) Kosten
- ökologisch richtig

bereitzustellen.

Für das Bauwesen wurde der Begriff Baulogistik[33] eingeführt und in die Bereiche

- Beschaffungslogistik,
- Produktionslogistik
- und Entsorgungslogistik

unterteilt.

2.4.2.1 Beschaffungslogistik

Die Beschaffungslogistik ist das Bindeglied zwischen Baustoffhersteller bzw. -lieferant und der Baustelle (Produktionsstätte). Die Hauptaufgaben der Beschaffungslogistik am Bau sind die Ermittlung des Baustoffbedarfs auf der Baustelle, die Ermittlung der Gesamtanzahl der erforderlichen Transporte, Analyse der zeitlichen Abfolge der Transporte, Aufzeigen der Transportspitzen, Entflechtung der Transportspitzen, die Sondierung der möglichen Bezugsquellen, die Beschaffung der Baustoffe und die zeitliche und räumliche Koordination des Baustoffflusses zur Baustelle.

Zeitliche Koordination:

Viele Transporte mit den unterschiedlichsten Baustoffen und Baugeräten (z.B. Schalung) sind zu koordinieren. In der Phase „Bauwerk-Rohbau“ sind es in der Regel nur wenige verschiedene Baustoffe (z.B. Beton, Zement, Bewehrung, Mörtel, Ziegel, Bauholz etc.). In der Phase „Bauwerk-Ausbau“ und „Bauwerk-Technik“ nimmt die Anzahl der Gewerke stark zu und damit steigt auch die Zahl an zu beschaffenden Baustoffen und Geräten. Der Aufwand für die Logistik steigt daher beträchtlich.

[32] vgl. Ziems (2003/2004). Technische Logistik. 30

[33] vgl. Blömeke (2001). Die Baustellenlogistik als neues Dienstleistungsfeld im Schlüsselfertigbau. 51

Räumliche Koordination:

Bei größeren Bauvorhaben gilt es ein Konzept für den Baustellenverkehr zu erstellen. Es sind dabei die Verkehrsanbindung an öffentlichen Verkehrsflächen und die Situation innerhalb der Baustelleneinrichtungsfläche zu betrachten.

Nach *Boenert/Blömeke*[34] hängt die Effizienz des Baustellenverkehrs (gemeint sind hier die Transporte zur Baustelle) von folgenden Kriterien ab:

- geografische Lage der Baustoffbezugsquellen und der Baustelle
- vorhandene Infrastruktur
- örtliche Rahmenbedingungen der Baustelle und Vorgaben des Bauherrn
- die Menge und Beschaffenheit der zu transportierenden Stoffe (Gase, Flüssigkeiten, Stückgut, Schüttgut)
- Größe und Lage von Freiflächen für mögliche Zwischenlager und deren Geländeverhältnisse
- zeitliche Vorgaben aus dem Projektablauf

Davon ausgehend müssen nach *Boenert/Blömeke*[35] folgende Punkte im Logistikkonzept festgeschrieben werden:

- einfache Erreichbarkeit der Übergabepunkte und Anlieferflächen
- Transportmittelwahl passend zu den Transportgeräten der Baustelle
- Wegeplanung und Flächennutzung
- Verkehrssicherung und Baustellenzufahrtsregelungen

Als Ergebnis der Umsetzung dieser Konzeptionen zur Beschaffungslogistik nennt *Boenert*[36]*:*

- die Gewährleistung der baubetrieblich abgestimmten Belieferung der Baustelle mit den benötigten Baustoffen,
- Erkennung und Vermeidung von Engpässen in der Baustoffbelieferung,
- gewerkeübergreifende (vor allem für den Ausbau), frühzeitige Koordination der Baustofftransporte mit Übersichten

und damit die Optimierung der Baustoffflüsse in der Beschaffungslogistik durch Beseitigung der Ursachen von kostentreibenden Störfaktoren.

---

[34] vgl. Boenert/Blömeke (2003). Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. Bauingenieur. 278

[35] vgl. Boenert/Blömeke (2003). Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. Bauingenieur. 278

[36] vgl. Boenert/Blömeke (2003). Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. Bauingenieur. 279

Da die räumliche Koordination auf der Baustelle wesentlich von der Grundriss- und Aufrissgestaltung des Bauwerks geprägt wird, sind generell folgende Punkte zu beachten um eine termin- und bedarfsgerechte Baustoffbereitstellung sicherzustellen:

- einfache Erreichbarkeit der Übergabepunkte und Anlieferungsflächen
- Abstimmung der Transportmittel mit den Transportgeräten auf der Baustelle
- gründliche Planung der Verkehrswege, Baustellenzufahrten und Flächennutzung auf der Baustelle
- Arbeiten auf der Baustelle sollen durch die Transporte auf die Baustelle nicht gestört werden

Die Einrichtung eines Warteplatzes ist weiters eine Möglichkeit bei engen innerstädtischen Baustellen das Platzproblem zu lösen. Dieser dient als Puffer in der näheren Umgebung der Baustelle. Der Transportfahrer meldet seine Anwesenheit der Bauleitung oder einer eigenen Logistikabteilung und erhält telefonisch die Freigabe für die Zufahrt zur Baustelle. Dadurch wird eine fließende und stockungsfreie Anfahrt zu und Ablieferung von den Übergabepunkten der Baustelle gewährleistet.

2.4.2.2 Produktionslogistik

Die Produktionslogistik am Bau wird auch als Baustellenlogistik bezeichnet und beschäftigt sich mit der Planung der Transporte innerhalb der Lagerflächen der Baustelle und des Bauwerks. Der Übergang von der Beschaffungslogistik zur Produktionslogistik erfolgt auf den Anlieferungsflächen. Die Baustoffe werden auf den Lagerflächen oder im Bauwerk zwischengelagert bzw. direkt oder nach erforderlichen Zwischentransporten eingebaut.

Der Baustofftransport auf der Baustelle erfolgt mittels Fördermittel. Für die rationelle Transportgestaltung ist die Transportkapazität richtig zu bestimmen und es sind die geeignetsten Fördermittel auszuwählen.

Seeling[37)] unterscheidet für gebräuchliche Fördermittel hinsichtlich ihrer Beweglichkeit in:

- räumlich (z.B. Turmdrehkran, Mobilkran, Autokran)
- vertikale Ebene (z.B. Betonpumpe mit Knickausleger od. Verteilermast)

[37)] vgl. Seeling (1978). Auswahl und Kombination der Hauptfördermittel auf Betonbaustellen. 1730

- horizontale Ebene (z.B. LKW, Gabelstapler, Muldenkipper)
- eindimensional (z.B. Förderband, Aufzug, Seilbahn, Zementschnecke)

Weiters unterteilt *Seeling* die Fördermittel hinsichtlich ihrer Stoffbeschränkung. Beispielsweise gibt es für Turmdrehkrane keine Stoffbeschränkungen. Bei Betonpumpen gibt es jedoch diese Stoffbeschränkungen, da mit Betonpumpen nur pumpfähiger Beton (z.B. abhängig von Konsistenz, Feinstoffanteil, Größtkornanteil) gefördert werden kann.

Die rationelle Transportgestaltung besteht einmal darin, die Transportkapazität der Fördermittel richtig zu bestimmen und die am besten geeigneten Fördermittel auszuwählen. Eine zu geringe Leistungsfähigkeit der Transportmittel verteuert die Bauproduktion ebenso wie die überhöhte Ausstattung einer Baustelle mit zu großen oder zu vielen Fördereinrichtungen.[38)]

Beim Baustoffumschlag auf der Baustelle ist es wichtig, dass geeignete Abladegeräte zur Verfügung stehen. Falls die Transport-LKWs keine eigenen Selbstentladevorrichtungen (z.B. LKW-Ladekran) besitzen, werden die Baustoffe mittels Gabelstapler, Radlader, Autokran oder Baustellenkran abgeladen. Bei vorhandenen Öffnungen und großzügigen räumlichen Bedingungen ist ein Direktumschlag in die Geschosse anzustreben. Dafür müssen Baustellenkrane oder Bauaufzüge freie Kapazitäten besitzen oder Selbstentladevorrichtungen mit genügend großer Reichweite vorhanden sein.

Der vertikale Baustofftransport (vgl. *Boenert/Blömeke*[39)]) erfolgt über Baustellenkrane oder Bauaufzüge, die in den meisten Fällen an der Fassadenaußenseite positioniert werden. Folgende Voraussetzungen sind für einen reibungslosen vertikalen Baustofftransport zu erfüllen:

- Die Anlieferungsflächen müssen in der Reichweite der vertikalen Transporteinrichtungen liegen.
- In den jeweiligen zu beliefernden Geschossen sind auskragende Stockwerksbühnen anzuordnen, damit die Übergabe an das horizontale Transportmittel erfolgen kann.
- In den jeweiligen Geschossen muss Platz für Zwischenlager vorhanden sein.

Das horizontale Verteilen in den Geschossen wird mit Gabelstaplern, Hubwagen, kleinen Transportkraftwagen, usw. durchgeführt. Handtransporte

[38)] vgl. Seeling (1978). Auswahl und Kombination der Hauptfördermittel auf Betonbaustellen. 1730

[39)] vgl. Boenert/Blömeke (2003). Logistikkonzepte im Schlüsselfertigbau zur Erhöhung der Kostenführerschaft. Bauingenieur. 278f

sind zu vermeiden und die zurückzulegenden Wegstrecken sollen so gering wie möglich sein. Besonders zu beachten ist, dass das Gesamtgewicht des beladenen Transportgeräts nicht die zulässige Deckenlast überschreitet. Weiters sind die Transportwege und Lagerflächen ausreichend groß zu dimensionieren, damit keine gegenseitigen Behinderungen auftreten.

Da man die Stahlbetonarbeiten von unten nach oben durchführt (außer bei Deckelbauweise), kann der Baustellenkran für den Transport von Schalung, Bewehrung und Beton gleichzeitig als horizontales und vertikales Transportmittel verwendet werden. Für das Umsetzen der Deckenschalung in das nächste oder übernächste Geschoss sind „Ausfahrmöglichkeiten“ vorzusehen. Innerhalb des Bauwerks können Bauwerksöffnungen genutzt werden oder es sind temporäre Aussparungen vorzusehen. Außerhalb des Bauwerks sind z.B. umsetzbare Konsolen einzusetzen.

Lagerflächen dienen als Ausgleich von unregelmäßigen Baustoffanlieferungen und schwankendem, leistungsabhängigem Baustoffverbrauch. Im Regelfall sind die Lagerflächen im innerstädtischen Bereich begrenzt. Aus diesem Grund werden Lagerflächen und Transportfrequenzen meist auf die tägliche Einbauleistung abgestimmt. Weiters ist eine Aufteilung der Lagerflächen (bedarfsgerecht) entsprechend den jeweiligen Gewerken, bei welchen in der jeweiligen Bauphase Arbeiten durchzuführen sind, vorzunehmen. Die Lagerflächen sollen möglichst nahe dem Verbrauchsort positioniert werden, um die horizontalen Transportentfernungen klein zu halten. In einem Baustelleneinrichtungsplan werden die ermittelten Lagerflächen eingezeichnet und den ausführenden Firmen zur Verfügung gestellt. Wichtig ist die Kennzeichnung der Lagerflächen auf der Baustelle, um Verwechslungen bzw. gegenseitige Behinderungen unter den ausführenden Firmen zu vermeiden.

Sind bei Hochhausbauten außerhalb der Bauwerksgrenzen keine Lagerungsmöglichkeiten gegeben, sind diese Randbedingungen für die Logistik bei der Auswahl des Bauverfahrens zu berücksichtigen. Selbstkletterplattformen bieten hier die Möglichkeit der Lagerung von Baustoffen auf der Oberfläche des Trägerrostes.

2.4.2.3 Entsorgungslogistik

Die Aufgabe der Entsorgungslogistik ist die Planung und Steuerung des Abtransports von auf der Baustelle anfallenden Baurestmassen zu den Abnehmern. Baurestmassen entstehen im Verlauf der Bauproduktion bei Neubauten, Ausbauten und insbesondere bei Umbau- und Abrissarbeiten.

Für die Baurestmassen kann folgende Einteilung getroffen werden:

- Aushub
- Bauschutt (Betonabbruch, Mischabbruch)
- Straßenaufbruch (bituminös oder hydraulisch gebunden)
- Baustellenabfälle (Holz, Metalle, Kunststoffe)
- Sonderabfälle

Auf Grund der großen anfallenden Mengen und der immer knapper werdenden Deponieflächen wird die Entsorgungslogistik am Bau in Zukunft einen immer höheren Stellenwert einnehmen und Auswirkungen auf den Bauvertrag, die Preisbildung und den Produktionsprozess (Rückführung von wiederverwendbaren Baustoffen) haben.

Die Aufgaben und Probleme der Beschaffungslogistik wie Transport und zeitliche und räumliche Koordination des Baustoffflusses sowie der Baustellenlogistik (z.B. Baustoffumschlag, vertikaler und horizontaler Baustofftransport, Zwischenlagerflächen) treten bei der Entsorgungslogistik in gleichermaßen auf. Ein Unterschied besteht nur darin, dass bei der Entsorgungslogistik die Baustoffe von der Baustelle abtransportiert werden.

2.4.3 Grob- und Feinplanung des Bauablaufs und der Logistik

Je nach Projektstadium wird für die Planung des Bauablaufs und der Logistik die Grob- oder Feinplanung angewendet, um Ergebnisse wie etwa für Dauer, Ressourceneinsatz, Logistik und Kosten zu erhalten.

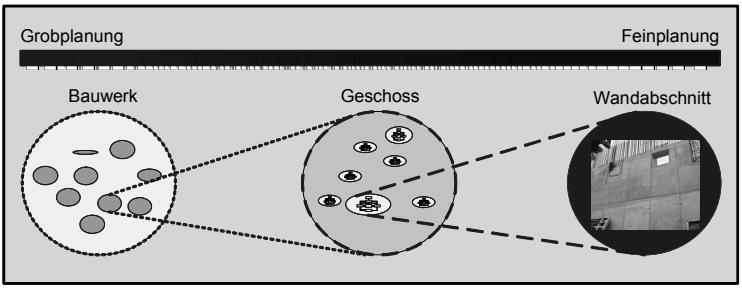


Abb. 2-10 Bauablaufplanung – Von der Grobplanung zur Feinplanung[40)]

Für die Grobplanung wird das Projekt (Bauwerk) entweder als Einheit betrachtet (Gesamtablauf) oder in Bauabschnitte und Teilabläufe aufgeteilt.

Exemplarisch ist in Abb. 2-10 die Betrachtungsintensität von der Grobplanung (für z.B. Planung oder Angebotsbearbeitung) bis zur Feinplanung (z.B. für Arbeitsvorbereitung, Ablaufkontrolle) dargestellt.

In der Arbeitsvorbereitung für die Bauausführung geht man – ausgehend von der bereits durchgeführten Grobplanung – in die Feinplanung (z.B. Betrachtung eines Wandabschnittes) über.

Mit dem Detaillierungsgrad steigen auch die Bearbeitungsintensität und der Informationsbedarf (z.B. Detailpläne und sonstige Arbeitsanweisungen, die sich aus dem Bauvertrag ergeben).

2.5 Grobplanung

Die Grobplanung wird sowohl für die Angebotsbearbeitung als auch in der Arbeitsvorbereitung der Bauarbeiten und für die Bauausführung angewendet.

Auf der Bauherrenseite wird die Grobplanung des Projekts herangezogen, um z.B. überschlägig die Dauer für die Rohbauarbeiten zu ermitteln. Die Ergebnisse aus der Grobplanung können z.B. zur Erstellung des Rahmenterminplans oder für die Kostenschätzung verwendet werden. Später kann die Grobplanung für die Ausschreibung herangezogen werden, um Anhaltspunkte für die mögliche Gesamtdauer und Zwischentermine zu erhalten.

Andererseits führen Bieter die Grobplanung durch, um anhand dieser Planung die Angebotskalkulation vornehmen zu können. Dazu werden die Ausschreibungsunterlagen auf ihre Besonderheiten hin untersucht. Spezielle Bauweisen (z.B. Weisse Wanne) oder der Einsatz von besonderen Baustoffen (z.B. Selbstverdichtender Beton) und die spezifischen Bauwerks- und Baustellenbedingungen haben wesentlichen Einfluss auf die Kostenermittlung und die darauf aufbauende Preisgestaltung.

In der Grobplanung werden die Vorgaben für die Feinplanung formuliert (z.B.: Vorgabezeiten für Gründungsarbeiten, Erdarbeiten, Stahlbetonarbeiten, Mauerwerksarbeiten).

[40] vgl. Hofstadler (2003). Abwicklung von Bauprojekten Teil 1: Arbeitsvorbereitung – Ablaufplanung und Optimierung. a.a.O.

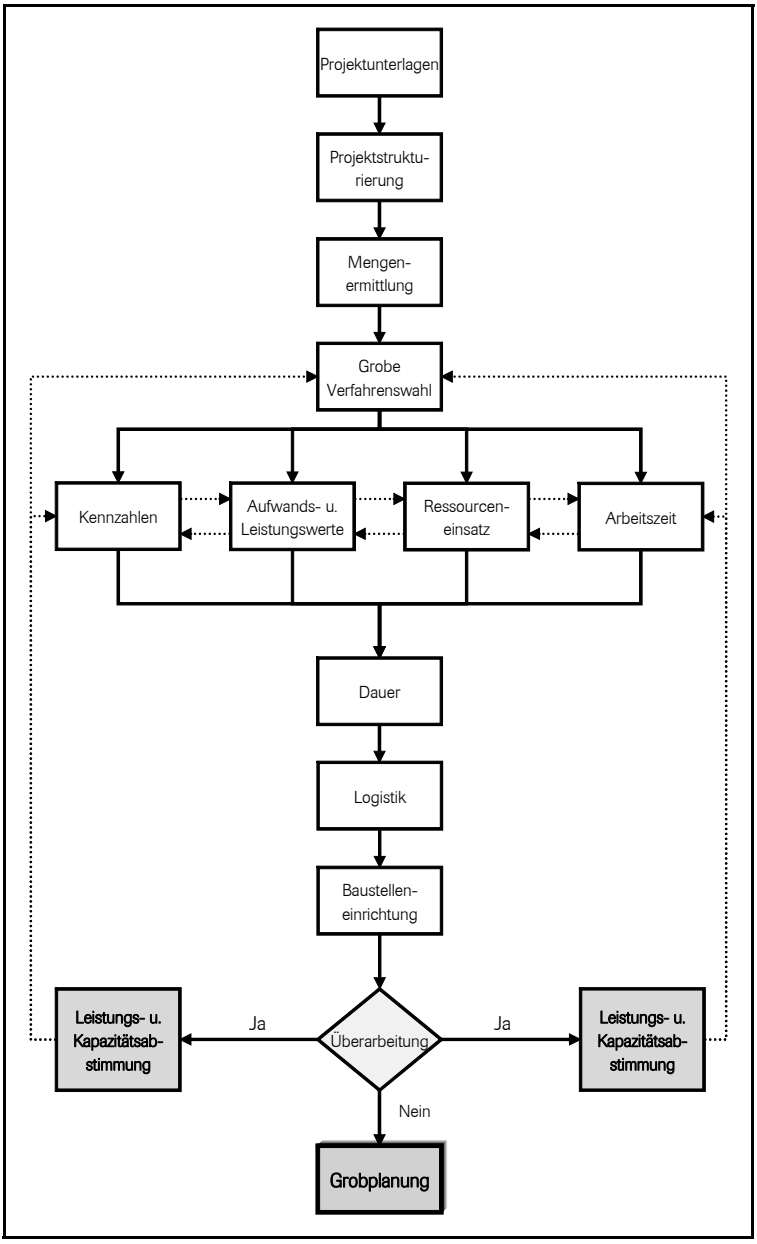


Abb. 2-11 Ablaufschema für die Grobplanung[41)]

[41)] in Anlehnung an Bauer (1992). Baubetrieb 2. 469

Für die Grobplanung wird das Bauwerk in der Regel entweder als Gesamtablauf oder in Teilabläufe gegliedert betrachtet. Anhand der Mengenermittlung und/oder mit Hilfe von Kennzahlen werden die kosten- und zeitbestimmenden Produktionsmengen ermittelt. Auf Basis der Mengenermittlung wird mit den Ansätzen zum Arbeitsaufwand bzw. zu den Leistungswerten die Dauer und die Summe der Lohnstunden für das Bauvorhaben berechnet. Schematisch ist der Ablauf für die Grobplanung in Abb. 2-11 dargestellt.

Das Schema wird – beginnend beim Arbeitsschritt Projektunterlagen (Studium der Unterlagen) – bis zu jenem der Überarbeitung durchlaufen. Anhand der Leistungs- und Kapazitätsabstimmung werden die notwendigen Anpassungen (z.B. Veränderung in der Anzahl der Arbeitskräfte) für die Grobplanung durchgeführt. Diese Abstimmungen werden solange vorgenommen, bis die Vorgaben z.B. der Projektziele (Kosten, Zeit) oder der Ausschreibung erfüllt sind bzw. als erfüllt scheinen.

Die Kennzahlen für Arbeitsaufwand und Leistung werden je nach Art des Bauvorhabens z.B. auf folgende Größen bezogen:

- Bruttorauminhalt [m^3]
- Fläche [m^2]
- Aushubmenge [m^3]
- Stahlmenge [to]
- Betonmenge [m^3]
- Ausbruchsmenge [m^3]
- Straßenlänge [km]
- Kanallänge [lfm] etc.

Die Mengen für die bauzeitbestimmenden Teilabläufe werden ermittelt oder anhand von Kennzahlen (z.B. Baustoff-, Schalungs-, Bewehrungsgrad) abgeschätzt. Für ein Gebäude wird z.B. der Bruttorauminhalt (BRI) als Referenzgröße für die Grobplanung herangezogen. Mit den zeitlichen Randbedingungen lässt sich der zu bebauende BRI je Zeiteinheit (z.B. Monat) berechnen. In einer ersten Auswahl wird für die Hauptmenge (z.B. Beton) ein Bauverfahren (z.B. bestimmtes Schalungssystem oder Schalverfahren wie Kletter- oder Gleitschalung) ausgewählt.

Anhand der erforderlichen Anzahl der Arbeitskräfte kann damit auf die Anzahl der notwendigen Krane geschlossen werden und umgekehrt. Am Ende kann ein erster Wert für die Dauer angegeben werden.

Wenn Ziele nicht erreicht werden, sind mittels Leistungs- und Kapazitäts-

abstimmungen Anpassungen durchzuführen bis sich das gewünschte Ergebnis für die Grobplanung einstellt.

Logistische Randbedingungen sind in der Grobplanung dahingehend zu überprüfen, ob sich Beschränkungen für den geplanten Ressourceneinsatz ergeben.

Für die Grobplanung können die entsprechenden Interaktionsdiagramme für Bauablaufplanung und Logistik – wie in dieser Arbeit dargestellt – herangezogen werden.

2.5.1 Projektunterlagen

In der Phase der Planung eines Projekts stehen meist verschiedene Entwürfe zur Disposition. Hier stehen in der Regel wenig konkrete Angaben zum Bauwerk zur Verfügung. Anhand von überschlägigen Mengenermittlungen und Annahmen zum Arbeitsaufwand können Ergebnisse für die Dauer und Kosten erzielt werden. Diese Ergebnisse unterliegen Schwankungen und können daher sinnvollerweise nur in einer Bandbreite angegeben werden.

Für die Grobplanung des Bauvorhabens im Angebotsstadium bilden die Ausschreibungsunterlagen (z.B. Pläne, Leistungsverzeichnis, Technische Vertragsbestimmungen, Rechtliche Vertragsbestimmungen) die Grundlage. Wesentliche Bauwerks- und Baustellenbedingungen werden hinsichtlich ihres Einflusses auf Kosten und Zeit untersucht.

Im Zuge der Grobplanung ist es auch notwendig, sich mit den örtlichen Bedingungen des Baugrundes genau vertraut zu machen. Hierzu zählt die Analyse der

- topografischen,
- geologischen
- und der sonstigen Bedingungen (z.B. privatrechtliche oder kommunale)

im Umfeld der Baustelle.

Anhand dieser Analyse werden wichtige Erkenntnisse für die Bauablaufplanung und Logistik gewonnen. Für Tiefbauten sind in der Regel zusätzlich Baugrunderkundungen (z.B. Bohrungen) notwendig.

2.5.2 Projektstrukturierung

Das Ziel der Projektstrukturierung besteht in der Formulierung eines Ablaufplans, in dem jeder einzelne Vorgang, sowohl in der Planung als auch in der Ausführung, zu einem Ergebnis führt. *Rösel*[42)] unterscheidet dabei zwischen erzeugnisorientierter und funktionsorientierter Projektstruktur.

Beispiel zur erzeugungsorientierten Gliederung:

Die Bauwerksplanung wird z.B. in Architektur, Statik, Verkehrplanung, Ausbauplanung, Technikplanung und Einrichtungsplanung unterteilt.

Beispiel zur funktionsorientierten Gliederung:

Ein Bauwerk kann in die Bereiche Rohbau, Technik und Ausbau gegliedert werden. Für die Feinplanung wird der Bereich Rohbau wiederum z.B. in Erdarbeiten, Gründungsarbeiten, Stahlbetonarbeiten und Mauerwerksarbeiten unterteilt. Bei Stahlbetonarbeiten wird beispielsweise in Bauteile (z.B. Stützen, Wände, Decken) und Vorgänge (z.B. Einschalen, Bewehren, Betonieren, Ausschalen) differenziert.

In der Projektstrukturierung ist darauf zu achten, dass die geschaffene Struktur planbar und kontrollierbar bleibt.

2.5.2.1 Strukturierung für die Projektentwicklung und Projektplanung

Zur Projektstrukturierung können folgende Tätigkeiten und Methoden gezählt werden:

- Strukturierung des Projektergebnisses bzw. Produktes (Strukturplan)
- Projektumfeldanalyse (insbes. Stakeholderanalyse)
- Strukturierung der Projektaufgaben
- Festlegung von Teilprojekten
- Abgrenzung von Projektphasen
- Setzen von Meilensteinen
- Definition und hierarchische Anordnung von Teilaufgaben und Arbeitspaketen
- Erstellung des vollständigen Projektstrukturplans
- Festlegung der Ablaufstruktur des Projekts (meist ohne Ressourcenzuordnung)

[42)] vgl. Rösel (1992). Baumanagement. 116

Die so erhaltenen Projektstrukturen, insbesondere der Projektstrukturplan, begleiten das Projekt während seiner gesamten Dauer. Eine sorgfältige und fehlerfreie Projektstrukturierung ist daher eine der wichtigsten Aufgaben des Projektmanagements.[43)]

2.5.2.2 Strukturierung für die Angebotsbearbeitung, Arbeitsvorbereitung und Bauausführung

Ein Projekt wird in verschiedene Bauteile (z.B. Bauteil A, Bauteil B, Bauteil C usw.), Leistungsgruppen und Bauabschnitte (z.B. Aufschließung, Gründung, Wasserhaltung, Bodenplatte, Rohbauarbeiten usw.) strukturiert.

Die Strukturierung hängt dabei wesentlich von den vertraglich vorgegebenen Anfangs-, Zwischen- und Endterminen ab.

2.5.3 Mengenermittlung

Für die Grobplanung wird beispielsweise die Gesamtmenge des Hauptbaustoffes des Bauwerks betrachtet. Die Präzision in der Mengenermittlung hängt vom Planungsstadium ab. In der Grobplanung sind nur wenige Werte ermittelbar (z.B. Bruttorauminhalt, Betonmenge). Die Verwendung von Baustoffkennzahlen für eine grobe Mengenermittlung ist für die Grobplanung zielführend.

Die Größenordnungen der verwendeten Kennzahlen stammen aus ähnlichen eigenen oder fremden Projekten (z.B. Aufzeichnungen von Bauwerken über deren spezifische Schalungs- und Bewehrungsgrade) oder aus der Literatur.

Auf Kennzahlen zur Mengenermittlung wird im Detail in Kapitel 3 eingegangen. Vor allem in der Grobplanung sind die Angaben zu den Mengen unscharf oder teilweise gar nicht vorhanden. Zur ersten Orientierung und um überhaupt eine zutreffende Aussage (z.B. über Dauer und Logistik) treffen zu können werden Kennzahlen herangezogen. Bei Stahlbetonarbeiten sind dies etwa Schalungs- und Bewehrungsgrad.

[43)] Projekt Magazin (2005). Projektstrukturierung. http://www.projektmagazin.de/glossar/gl-0656.html

2.5.4 Grobe Verfahrenswahl

Für die Grobplanung der Hauptleistungen sind Bauverfahren auszuwählen, mit denen es zum Betrachtungszeitpunkt möglich scheint das Bausoll hinsichtlich Zeit, Kosten, Qualität usw. zu erfüllen. Vergleichswerte von vergangenen Projekten bilden erste Anhaltspunkte für die Verfahrenswahl. Wichtig ist hier, dass anhand der Unterlagen erkannt wird, welche Bauverfahren aufgrund des Bauvertrags (z.B. fugenloses Bauwerk) oder der spezifischen Grund- und Aufrissgestaltung auszuschließen sind. Die Auswahl eines später nicht anwendbaren Bauverfahrens kann zu falschen Annahmen für die Grobplanung und in weiterer Folge für die Angebotskalkulation führen.

Anhand des gewählten Bauverfahrens werden unter Berücksichtigung der bereits erkennbaren Einflüsse aus den spezifischen Bauwerks- und Baustellenbedingungen die Größenordnungen für Gesamt-Aufwands- und Leistungswerte abgeleitet.

Für den Vergleich von verschiedenen Bauverfahren können folgende Methoden (Beschreibung siehe Abschnitt 2.6.5) herangezogen werden:

- kalkulatorischer Verfahrensvergleich
- differenzierter Verfahrensvergleich

Die Anwendung der Vergleichsmethoden richtet sich nach der Komplexität der zu vergleichenden Bauverfahren. Im Vergleich zwischen zwei Schalverfahren für die Stahlbetondecken reicht meist der kalkulatorische Ver-fahrensvergleich aus.

Vergleicht man zwei technologisch verschiedene Verfahren, ist der differenzierte Verfahrensvergleich zielführend. Beispielsweise eignet sich dieser sehr gut für den Vergleich zwischen Kletter- und Gleitschalung.

2.5.5 Kennzahlen

Kennzahlen gibt es z.B. zur Ermittlung von Menge, Zeit und Kosten. Je nach Kennzahl kann auf diese Parameter geschlossen werden. Die Einbeziehung der Wahrscheinlichkeitsrechnung ermöglicht die Berechnung der wahrscheinlichsten Werte für z.B. Menge, Gesamt-Aufwandswert, Leistung, Dauer oder Kosten (zur Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Dauer eines Bauvorhabens siehe Kapitel 9).

Auf die Kennzahlen zur Mengenermittlung und für Aufwands- und Leistungswerte wird weiters in Kapitel 3 und 4 eingegangen.

2.5.6 Gesamt-Aufwands- und Leistungswerte

Richtwerte für Aufwands- und Leistungswerte unterliegen in der Grobplanung einer größeren Schwankungsbreite als in der Feinplanung. Die Gründe hierfür liegen einerseits in nur oberflächlich quantifizierbaren Einflüssen aus Baustellen- und Bauwerksbedingungen und andererseits in der beschränkten Übertragbarkeit von Erfahrungs-, Nachkalkulations- oder Literaturwerten auf das konkrete Projekt.

Gesamt-Aufwandswerte bei arbeitsintensiven (z.B. Hochbau, Brückenbau) und Leistungswerte bei geräteintensiven Bauvorhaben (z.B. Erdbau, Grundbau) bilden die Grundlage für die Berechnung der Dauer und Kosten. Um mit dem Gesamt-Aufwandswert den Leistungswert berechnen zu können, benötigt man dazu die Anzahl der Arbeitskräfte und die tägliche Arbeitszeit.

Anhand von bekannten Größenordnungen für den Arbeitsaufwand des gewählten Verfahrens (z.B. aus vergleichbaren Projekten oder aus der Literatur) und der täglichen Arbeitszeit kann beispielsweise auf die erforderliche Anzahl an Arbeitskräften geschlossen werden. Die Größenordnung des Arbeitsaufwands kann unter Berücksichtigung der bereits erkennbaren Einflüsse aus den Bauwerks- und Baustellenbedingungen meist in einer sinnvoll erscheinenden Bandbreite (minimaler und maximaler Wert) angegeben werden. Innerhalb dieser Bandbreite sollte dann der tatsächliche Wert liegen.

Durch die Feinplanung wird die mögliche Bandbreite kleiner und die Ergebnisse werden weiter präzisiert. Auf den Erwartungswert legt man sich für die Angebotslegung und später in der Arbeitsvorbereitung fest. Die Auswirkungen von Abweichungen zu diesem Wert können im Rahmen von Sensitivitätsanalysen untersucht werden. In der Bauablaufplanung sind Vorkehrungen zur Kompensierung der Abweichungen vom Sollablauf zu treffen. Zur Berücksichtigung von zeitlichen Abweichungen werden z.B. Puffer in den Bauablaufplan eingebaut.

Auf die vor allem für Stahlbetonarbeiten sehr wichtige Kennzahl Gesamt-Aufwandswert wird in Kapitel 3 näher eingegangen. Dieser bildet die Basis für die Leistungsberechnung. Häufig wird die Leistung ohne Berücksichtigung von logistischen Randbedingungen und Beschränkungen hinsichtlich

des Arbeitsraums (Geräte und Arbeitskräfte) abgeschätzt. Eine Leistungsabschätzung ohne Berücksichtigung der maximal einsetzbaren Anzahl an Arbeitskräften und Geräten führt zu nicht realisierbaren Ergebnissen.

Für geräteintensive Tätigkeiten werden die Leistungswerte aus der überschlägigen Berechnung der Nutzleistung aus Angaben aus der Literatur gewonnen.

2.5.7 Ressourceneinsatz

Einerseits folgt der notwendige Ressourceneinsatz (Arbeitskräfte und Geräte) aus der zur Verfügung stehenden Bauzeit und der Produktionsmenge. Andererseits ergibt sich die kürzest mögliche Bauzeit aus dem Maximum an einsetzbaren Ressourcen. Die Anzahl der Arbeitskräfte ist immer im Zusammenhang mit dem zur Verfügung stehenden Arbeitsraum und der Anzahl an installierbaren Geräten zu sehen. Die maximale Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften im Hochbau hängt z.B. von der maximalen Anzahl an einsetzbaren Kranen ab.

Für den „Arbeitsraum“ (Arbeitsfläche) im Betonbau geben *Bauer*[44)] und *Krampert*[45)] für den Hochbau die Mindestfläche mit 15 m^2 je Arbeitskraft an.

Zur Lagerhaltung (Vorratsberechnung) der Baustoffe und Ermittlung der Vorhaltemenge für die Schalung siehe Abschnitte 3.7 und 3.8.

2.5.7.1 Anzahl an Arbeitskräften

Die Anzahl an erforderlichen Arbeitskräften hängt von der Bauzeit und der Produktionsmenge ab. Begrenzt wird diese nach oben einerseits von der Arbeitskräfte-Verfügbarkeit hinsichtlich Anzahl und Qualifikation und andererseits von den Bauwerks- und Baustellenbedingungen (Arbeitsraum und maximale Anzahl an einsetzbaren Engpassgeräten wie z.B. den Kranen im Hochbau).

Aus Fertigungsablauf, Anzahl der Fertigungsabschnitte und der Mindestarbeitsfläche bezogen auf eine Arbeitskraft folgt die Obergrenze an einsetzbaren Arbeitskräften. Bis zu dieser Anzahl wird angenommen, dass im

[44)] Bauer (1991). Baubetrieb 2. 466

[45)] Krampert (1986). Der Einfluß von Arbeitseinsatz und Arbeitstakt auf die Kosten von Hochbauten in Ortbeton. 126

Bauablauf keine Leistungsminderungen und damit keine Erhöhungen im Arbeitsaufwand aufgrund von gegenseitigen Behinderungen auftreten.

Für die Grobplanung sind vor allem die maximale sowie die durchschnittliche Anzahl an Arbeitskräften von Bedeutung.

Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase sind die drei Hauptphasen im Bauablauf für die Errichtung eines Bauwerks. In der Anlaufphase steht nur begrenzter Arbeitsraum für die Arbeitskräfte und Geräte zur Verfügung. Erforderliche Geräte werden Schritt für Schritt in Abhängigkeit vom Baufortschritt aufgebaut. Wenn die Arbeitskräfteanzahl von der Anzahl der Geräte abhängig ist, steigt der Bedarf an Arbeitskräften mit der Geräteanzahl bzw. kann dieser nur mit der Anzahl an bereits installierten (aufgebauten) Geräten steigen.

Wenn über die Wintermonate gebaut wird, entstehen – bedingt durch die Winterpause – neuerlich Aus- und Anlaufphasen. Jede Störung im Bauablauf führt zu temporären Aus- und Anlaufphasen des Baubetriebs. Dies betrifft vor allem die Einarbeitung. Bei länger andauernden Störungen kann es je nach Regelung im Bauvertrag bis zum teilweisen Abzug von Geräten kommen (z.B. kostenintensive Großgeräte).

Die bestimmenden Einflussgrößen für die Ermittlung der Anzahl der Arbeitskräfte sind z.B.:

- Aufwands- bzw. Leistungswerte
- tägliche Arbeitszeit
- Produktionsmenge
- Bauzeit
- Anzahl der Engpassgeräte wie z.B. die Krane im Hochbau
- verfügbarer Arbeitsraum
- Fertigungsablauf
- Verfügbarkeit der Arbeitskräfte in qualitativer bzw. quantitativer Hinsicht
- Bauverfahren
- Kosten (im Zuge des Ressourcenausgleichs)

2.5.7.1.1 Grundlagen zur Berechnung der Anzahl der Arbeitskräfte

Die minimale Dauer für die Rohbauarbeiten folgt aus dem Quotienten der Produktionsmenge und der maximalen Leistung.

Ist die Dauer vertraglich vorgegeben, ergibt sich aus der Produktionsmenge die dazu notwendige Durchschnittsleistung.

Für die Bauablaufplanung und Logistik ist eine konstante Leistung über die Bauzeit als ideal anzusehen. Geometrisch würde das einer Rechteckverteilung gleichkommen (Ressourcen über die Zeit aufgetragen). Praktisch kann die rechteckige Verteilung aufgrund der An- und Auslaufphase und der unregelmäßigen Lohnstundenentwicklung (z.B. aufgrund unterschiedlicher Mengen und Arbeitsaufwände für Decken, Stützen und Wände) nur näherungsweise erreicht werden.

In der Anlaufphase haben der zur Verfügung stehende „Arbeitsraum“ und die Einarbeitung – ihr Ausmaß ist abhängig von der Tätigkeit und hat etwa bei Schalarbeiten einen weit größeren Einfluss als bei den Bewehrungsarbeiten – die größte Bedeutung bei der Ermittlung der Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte. Mit dem Ende der Hauptbauzeit beginnt die Auslaufphase. Bei den Stahlbetonarbeiten werden in der Auslaufphase die letzten Fertigungsabschnitte und Bauteile ausgeschalt und nachbehandelt bzw. nachbearbeitet. Der Arbeitskräftebedarf sinkt rapide ab (Arbeitskräfte für Bewehren, Betonieren und der größte Teil der Schalungsmannschaft werden abgezogen).

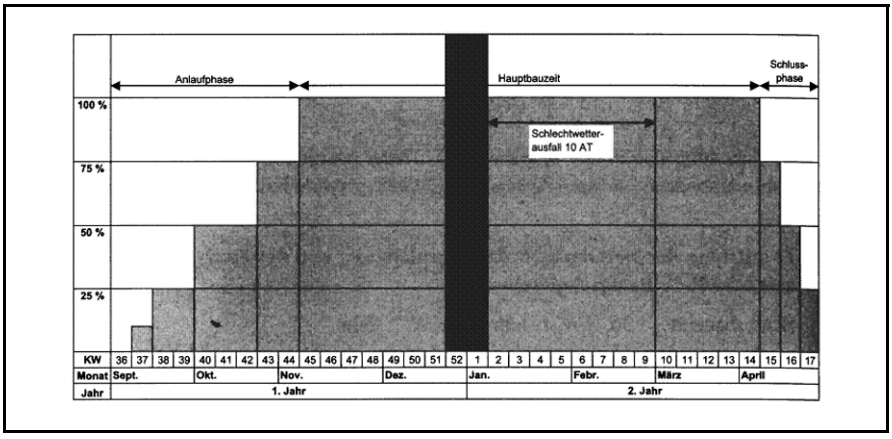


Abb. 2-12 Darstellung des Arbeitskräfteeinsatzes über die Bauzeit[46)]

Exemplarisch wird für ein Hochbauprojekt der erforderliche Arbeitskräfteeinsatz in Abb. 2-12 als baupraktisches Beispiel dargestellt. Der Arbeitskräfteeinsatz steigt „treppenförmig“ bis zur Hauptbauzeit an. In der Haupt-

[46)] Spranz (2003). Arbeitsvorbereitung im Ingenieurhochbau. 122

bauzeit wird die maximale Anzahl an Arbeitskräften eingesetzt. Am Ende der Hauptbauzeit reduziert sich der Arbeitskräfteeinsatz wieder „treppenförmig“. Diese Ressourcenverteilung der Arbeitskräfte über die Bauzeit lässt sich hier vereinfacht durch ein Trapez darstellen. Für die Grobplanung des Bauablaufs und der Logistik werden dadurch mathematisch einfache Aussagen zum Verlauf der Arbeitskräfteanzahl über die Bauzeit möglich.

In Abb. 2-13 ist die Entwicklung des Arbeitskräftebedarfs idealisiert über die Bauzeit (Gesamtdauer) dargestellt. Zur Vereinfachung wurde eine trapezförmige Entwicklung angenommen. Die „Praxistauglichkeit“ dieser Simplifikation wurde anhand von Ressourcenplänen für verschiedene Bauwerke im Bereich des Hochbaus überprüft. Es konnte dabei eine gute Annäherung zum Trapezmodell festgestellt werden.

Die Gesamtdauer eines Bau-Projekts setzt sich aus der Dauer für die Anlaufphase, Hauptbauzeit und Auslaufphase zusammen. Der maximale Arbeitskräftebedarf ergibt sich in der Hauptbauzeit.

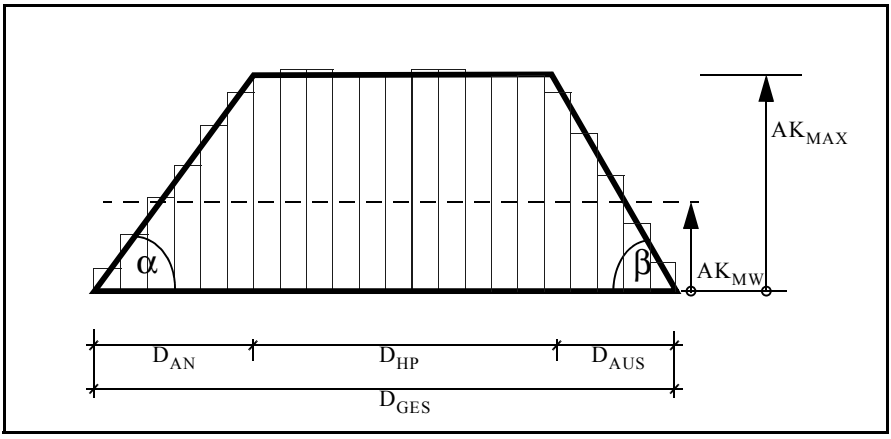


Abb. 2-13 Darstellung der Anzahl der Arbeitskräfte über die Bauzeit

Die Summe der Lohnstunden $\Sigma L_{Std,\,STB}$ [Std] für die Rohbauarbeiten wird hier nach Glg.(2-6) berechnet. Dabei wird nach Addition der Gesamtdauer D_{GES} [d] mit der Dauer für die Hauptbauzeit D_{HP} [d] der Summand mit der maximalen Anzahl der Arbeitskräfte $AK_{RB,\,MAX}$ [Std/h] und der täglichen Arbeitszeit AZ_{RB} [h/d] multipliziert und durch 2 geteilt.

$$\Sigma L_{Std,\,STB} = \frac{1}{2} \cdot (D_{GES} + D_{HP}) \cdot AK_{RB,\,MAX} \cdot AZ_{RB} \qquad (2\text{-}6)$$

Die Summe der Lohnstunden kann auch mit Hilfe der entsprechenden Interaktionsdiagramme ermittelt werden (z.B. für Rohbauarbeiten oder Stahlbetonarbeiten).

2.5.7.1.2 Berechnung der Dauer und Anzahl an Arbeitskräften

Für die Rohbauarbeiten wird in der Grobplanung für die Produktionsmenge der Bruttorauminhalt oder die Stahlbetonmenge angesetzt. Wird die Stahlbetonmenge herangezogen, folgt die erforderliche durchschnittliche Anzahl der Arbeitskräfte $AK_{STB,\,MW}$ [Std/h] aus Glg.(2-7).

$$AK_{STB,\,MW} = \frac{M_{STB} \cdot AW_{STB}}{D_{STB} \cdot AZ_{STB}} \tag{2-7}$$

Hierin ist die Dauer (vertraglich) vorgegeben und Menge, Gesamt-Aufwandswert und Arbeitszeit werden angenommen oder überschlägig ermittelt. Im Zähler steht die gesamte Betonmenge M_{STB} [m^3] und der Gesamt-Aufwandswert AW_{STB} [Std/m^3] für die Stahlbetonarbeiten. Die Dauer D_{STB} [d] für die Stahlbetonarbeiten und die durchschnittliche tägliche Arbeitszeit AZ_{STB} [h/d] steht im Nenner.

Werden andere Mengeneinheiten (z.B. Bruttorauminhalt, Stahlmenge, Mauerwerksmenge) für die Produktionsmenge eingesetzt, ist sinngemäß vorzugehen. Wenn rechnerisch nach der kürzesten Dauer gesucht wird, ist vorher die maximale mittlere Anzahl an Arbeitskräften zu ermitteln. Die durchschnittliche Anzahl der Arbeitskräfte kann anhand der Interaktionsdiagramme ermittelt werden.

Die maximale Zahl an einsetzbaren Arbeitskräften wird im Hochbau einerseits von der maximalen Anzahl an einsetzbaren Kranen und andererseits vom zur Verfügung stehenden „Arbeitsraum“ bestimmt. Der niedrigere der beiden Werte ist für die Gesamtanzahl maßgebend.

Abweichend von der „optimalen“ Arbeitskräfteanzahl, sinkt mit steigender Anzahl an Arbeitskräften die Wirtschaftlichkeit der Ausführung.

In Abhängigkeit von der Anzahl der Krane folgt die Maximalanzahl an einsetzbaren Arbeitskräften $AK_{STB,\,MAX}$ aus dem Produkt der Anzahl der Krane $ANZ_{K,\,AK}$ und dem Kran-Proportionalitätsfaktor $PF_{K,\,AK}$ [AK/Kran] (siehe dazu auch in Abschnitt 3.6.3.1):

$$AK_{STB,\,MAX} = ANZ_{K,\,AK} \cdot PF_{K,\,AK} \tag{2-8}$$

Wird die Anzahl der Arbeitskräfte vom „Arbeitsraum“ abhängig gemacht, folgt der Maximalwert aus Glg.(2-9):

$$AK_{STB,\,MAX} = \frac{GES_{AF}}{AK_{AR}} \tag{2-9}$$

Im Nenner steht die gesamte Arbeitsfläche GES_{AF} [m^2] die durchschnittlich zur Hauptbauzeit zur Verfügung steht und im Zähler die Mindestfläche, die je Arbeitskraft AK_{AR} [m^2/AK] erforderlich ist. Der kleinere der aus den Glg.(2-8) und Glg.(2-9) berechneten Werte ist für den weiteren Rechenverlauf maßgebend.

Wird zur Berechnung der vorhandenen bzw. erforderlichen Arbeitsfläche die durchschnittliche Regelgeschossfläche herangezogen, folgt die Anzahl der gleichzeitig zu bearbeitenden Fertigungsabschnitte $p_{a,\,fa}$ [-] aus Glg.(2-10).

$$p_{a,\,fa} = \frac{n_{fa} \cdot AK_{STB,\,MAX} \cdot AK_{AR}}{F_{RG}} \tag{2-10}$$

Im Zähler steht das Produkt aus Anzahl der Fertigungsabschnitte je Geschoss, maximaler Anzahl an Arbeitskräften und „Arbeitsraum“ je Arbeitskraft. Die durchschnittliche Regelgeschossfläche F_{RG} [m^2] wird im Nenner eingesetzt.

Die rein rechnerisch notwendige maximale Anzahl an Arbeitskräften folgt in Analogie zur Berechnung des Flächeninhalts eines unregelmäßigen Trapezes aus Glg.(2-11).

$$AK_{STB,\,MAX} = \frac{D_{GES} \cdot AK_{STB,\,MW}}{\left[D_{HP} + \frac{1}{2} \cdot (D_{AN} + D_{AUS})\right]} \tag{2-11}$$

Maßgebend für eine realistische Bauablauf- und Logistikplanung ist die Ermittlung eines wirklichkeitsnahen Maximalwerts in der Hauptbauzeit. Wird die maximale Anzahl der Arbeitskräfte in der Grob- und/oder Feinplanung überschätzt, führt das unweigerlich zu Bauzeitverlängerungen falls keine zeitlichen oder kapazitiven Anpassungen möglich sind.

Das Verhältnis von Anlauf- und Auslaufphase zur Hauptbauphase hängt dabei wesentlich von der Grund- und Aufrissgestaltung des Bauwerks ab.

Bei Hochhausbauten dauert die Anlaufphase länger als bei Flachbauten (z.B. Industriebauwerke, Krankenhäuser, Lager) mit großen Grundrissaus-

dehnungen. Bei Hochhausbauten sind kaum Parallelarbeiten (außer wenn der Gebäudekern vorgezogen wird oder bei der Deckelbauweise) möglich, während bei flächigen Bauwerken auch von Anfang an prinzipiell Parallelarbeiten möglich sind (z.B. gleichzeitiger Beginn von 2 Fertigungsabschnitten in der Bodenplatte).

Für die An- und Auslaufphase gilt:

$$D_{AN} + D_{AUS} = D_{GES} - D_{HP} \tag{2-12}$$

Sind die maximale Dauer, die durchschnittliche und die maximale Anzahl der Arbeitskräfte bekannt, folgt die Dauer für die Hauptbauzeit aus Glg.(2-13).

$$D_{HP} = \frac{2 \cdot D_{GES} \cdot AK_{STB,\,MW}}{AK_{STB,\,MAX}} - D_{GES} \tag{2-13}$$

Mit der nach Glg.(2-13) ermittelten Hauptbauzeit kann die Dauer für die An- und Auslaufphase ermittelt werden.

Man kann für eine erste Näherung annehmen (nach Auswertung des Bauablaufs einiger Rohbauten), dass sich die Anlauf- und Auslaufphase (für Stahlbetonarbeiten) im Verhältnis zweidrittel zu eindrittel verhält.

Mit

$$D_{AUS} = \frac{1}{3} \cdot D_{AN} \tag{2-14}$$

folgt

$$D_{AN} = \frac{3}{4} \cdot (D_{GES} - D_{HP}) \tag{2-15}$$

Ist die nach Glg.(2-14) und Glg.(2-15) ermittelte Dauer für die An- und Auslaufphase zu gering, ist die Dauer dafür zu verlängern und es verkürzt sich die Hauptbauzeit und eventuell ist dadurch eine längere Gesamtbauzeit notwendig. Die geänderte Dauer für die Hauptphase wird durch Einsetzen in Glg.(2-12) berechnet. Weiters vergrößert sich auch der Wert für die notwendige Maximalanzahl der Arbeitskräfte.

Durch Einsetzen von Glg.(2-12) in Glg.(2-11), folgt daraus:

$$AK_{STB,\,MAX} = \frac{D_{GES} \cdot AK_{STB,\,MW}}{\frac{1}{2} \cdot (D_{GES} + D_{HP})} \tag{2-16}$$

Die Berechnung nach Glg.(2-16) ist dann erforderlich, wenn Gesamtdauer, Hauptbauzeit und Mittelwert für die Anzahl der Arbeitskräfte gegeben oder bereits ermittelt sind und die Maximalanzahl der Arbeitskräfte noch zu berechnen ist.

Ist die Gesamtdauer nicht gegeben, kann sie mit Hilfe der maximalen Anzahl der Arbeitskräfte, der durchschnittlichen Anzahl an Arbeitskräften und der Dauer für die Hauptbauzeit ermittelt werden. Die Dauer für die Hauptbauzeit folgt z.B. auch aus Glg.(2-17). Im Zähler steht das Produkt aus der um den Faktor $f_{HP,\,M}$ abgeminderten Betonmenge und dem Gesamt-Aufwandswert. Durch den Abminderungsfaktor $f_{HP,\,M}$ wird die gesamte Betonmenge um die Menge, welche in der An- und Auslaufphase eingebaut wird, reduziert. In der Regel entfallen zwischen 10 und 30 % auf die An- und Auslaufphase (Beispiel: Faktor ist 0,75, unter der Annahme, dass 25 % der Gesamtmenge auf die An- und Auslaufphase entfallen).

$$D_{HP} = \frac{f_{HP,\,M} \cdot M_{STB} \cdot AW_{STB}}{AK_{STB,\,MAX} \cdot AZ_{STB}} \tag{2-17}$$

Der Nenner wird aus dem Produkt der maximalen Anzahl an Arbeitskräften und der täglichen Arbeitszeit gebildet.

In der Regel beträgt die Dauer der Hauptbauzeit zwischen 60 und 80 % der Gesamtdauer. Mit Hilfe des Faktors $f_{HP,\,Z}$ (Beispiel: Faktor ist 0,4, unter der Annahme, dass die Hauptbauzeit 60 % der Gesamtdauer beträgt) kann die Gesamtdauer durch die Hauptbauzeit ausgedrückt werden.

Mit Glg.(2-18) kann die durchschnittliche Anzahl der Arbeitskräfte für die Gesamtdauer berechnet werden. Im Zähler wird ein Wert für den Faktor $f_{HP,\,Z}$ und die Maximalanzahl an Arbeitskräften ($AK_{STB,\,MAX}$) eingesetzt.

$$AK_{STB,\,MW} = \frac{(2 - f_{HP,\,Z}) \cdot AK_{STB,\,MAX}}{2} \tag{2-18}$$

Bezüglich An- und Auslaufphasen ist folgendes festzustellen (bei fester Gesamtdauer):

- je länger die An- und Auslaufphase dauert, desto kürzer wird die zur Verfügung stehende Hauptbauzeit

- je länger die An- und Auslaufphase dauert, desto größer wird der Maximalwert bei den benötigten Ressourcen
- je kleiner das Verhältnis zwischen Haupt- und Gesamtbauzeit, desto größer die Abweichung vom optimalen Bauablauf (theoretischer Idealwert)
- je kleiner das Verhältnis zwischen Haupt- und Gesamtbauzeit ist, desto geringer das Forcierungspotenzial
- je kleiner das Verhältnis zwischen Haupt- und Gesamtbauzeit ist, desto größer die negativen Auswirkungen aus verspäteter Planlieferung etc.

2.5.7.1.3 Berechnung der Anzahl der Arbeitskräfte für die An- und Auslaufphase in Abhängigkeit vom Betrachtungszeitpunkt

Zur Ressourcenplanung ist die Kenntnis über die Arbeitskräfteverteilung über die Zeit wesentlich für die Überlegungen hinsichtlich Bauablauf und Logistik.

Mit den nachfolgenden Gleichungen kann der Arbeitskräftebedarf zu jedem Zeitpunkt der An- und Auslaufphase ermittelt werden:

Arbeitskräfteanzahl in der Anlaufphase

Für die Anlaufphase ist in Abhängigkeit vom Betrachtungszeitpunkt i die Anzahl der Arbeitskräfte zu ermitteln. Ausgehend von der trapezförmigen Darstellung für die Verteilung der Anzahl der Arbeitskräfte über die Bauzeit nach Abb. 2-13 berechnet sich die Winkelfunktion $\tan\alpha$ für die Anlaufphase wie folgt:

$$\tan\alpha = \frac{AK_{STB,\,MAX}}{D_{AN}} \tag{2-19}$$

Ausgehend vom Start der Anlaufphase, folgt für den Betrachtungszeitpunkt $D(i)$ die Anzahl an Arbeitskräften aus Glg. (2-20).

$$AK_{STB}(i) = D_{AN}(i) \cdot \tan\alpha \tag{2-20}$$

Wobei für $D(i)$ gilt, dass $0 \le D(i) \le D_{AN}$ ist.

Arbeitskräfteanzahl in der Auslaufphase

Ausgehend von der trapezförmigen Darstellung für die Verteilung der Anzahl der Arbeitskräfte über die Bauzeit nach Abb. 2-13, wird die Winkelfunktion $\tan\beta$ für die Auslaufphase wie folgt berechnet:

$$\tan\beta = \frac{AK_{STB,\,MAX}}{D_{AUS}} \tag{2-21}$$

Für den Betrachtungszeitpunkt $D(i)$ (ausgehend vom Baubeginn) folgt die Anzahl der Arbeitskräfte aus Glg. (2-22).

$$AK_{STB}(i) = [D_{GES} - D(i)] \cdot \tan\beta \tag{2-22}$$

Wobei für $D(i)$ gilt, dass $D_{AN} + D_{HP} \leq D(i) \leq D_{GES}$ ist. Mit Glg.(2-22) kann für die Auslaufphase für jeden beliebigen Betrachtungszeitpunkt i die entsprechende Anzahl der Arbeitskräfte berechnet werden.

2.5.7.1.4 Arbeitskräfteverhältniszahl

Wie die Anzahl der Arbeitskräfte für die Stahlbetonarbeiten ermittelt werden kann, wurde bereits gezeigt. Baubetrieblich interessant ist, wie sich die ermittelte Anzahl auf die einzelnen Vorgänge Schalen, Bewehren und Betonieren verteilt. Nach Analyse von einigen Projekten konnte für Hochbauten, die vorwiegend aus Stahlbeton bestehen, folgendes Verhältnis (Durchschnittswerte) festgestellt werden:

$$AK_{BT} : AK_{BW} : AK_{S} = 1 : (2-3) : (5-6) \tag{2-23}$$

In Glg.(2-23) wurde die Anzahl der Arbeitskräfte zueinander ins Verhältnis gesetzt. Auf einen Betonierer kommen 2 bis 3 Bewehrer bzw. 5 bis 6 Schaler (eine größere Anzahl wird bei Bewehrungsarbeiten z.B. für Bewehrungsgrade angesetzt, die höher als der übliche Mittelwert sind).

Dieses Verhältnis gilt dann, wenn Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten jeweils von eigenen Arbeitsgruppen ausgeführt werden. Die Größe der Betoniergruppe beträgt für Wände und Stützen mindestens zwei und für Decken und Bodenplatten mindestens vier Arbeitskräfte.

2.5.7.2 Anzahl an Geräten

Im Stahlbetonbau sind die Krane und die Schalung in der Regel die am meisten bauzeitbeeinflussenden Geräte. Die Schalarbeiten liegen im Ortbeton-

bau in der Regel am kritischen Weg und bestimmten die Bauzeit (zur Vorhaltemenge an Schalung und zur Krananzahl siehe Kapitel 3).

Der Transportbetrieb oder die Ladegeräte stellen z.B. im Erdbau die bauzeitbestimmenden Geräte dar. Der niedrigere der beiden Leistungswerte – Aushubleistung oder Transportleistung – bestimmt die Bauzeit. Zur Berechnung der Leistung von Ladegeräten sowie Geräteketten wird hier auf z.B. *Bauer*[47], *Dress/Krauß*[48], *Girmscheid*[49], *Jurecka*[50] oder *Stadler*[51] verwiesen.

Wesentlich für die Logistik ist die Ermittlung der Anzahl der erforderlichen Transporte je Zeiteinheit sowie die Transportintervalle. Baustellen- und Bauwerksbedingungen sind auf mögliche Beschränkungen hinsichtlich Kapazität der einzelnen Geräte und der Transportintervalle zu untersuchen (zur Logistik siehe u.a. Kapitel 7 und 8). Für die Ermittlung der Anzahl der erforderlichen Krane ist sinngemäß nach Abschnitt 2.5.7.1 (in Abstimmung mit Abschnitt 3.6) vorzugehen.

2.5.8 Arbeitszeit

Hier wird überschlägig ermittelt, welche tägliche Arbeitszeit oder welches Arbeitszeitmodell erforderlich ist, um die notwendige Leistung zu erbringen. Daraus lässt sich ableiten, ob ein Einschichtbetrieb ausreicht oder ein Mehrschichtbetrieb in Betracht gezogen werden muss. Weiters ist zu klären, welche Arbeitszeiten oder -modelle gesetzlich möglich sind. Auf Gegebenheiten im Auslandsbau ist Rücksicht zu nehmen.

Die Arbeitszeit ist auch vom gewählten Bauverfahren und vom Ort des Bauvorhabens (Stadt oder Land) abhängig. Beispielsweise erfordert der Einsatz der Gleitschalung einen Durchlaufbetrieb. Zur Erzielung einer bestimmten täglichen Leistung, kann die dazu notwendige tägliche Arbeitszeit aus den entsprechenden Interaktionsdiagrammen ermittelt werden (siehe u.a. in Kapitel 5).

---

[47] Bauer (1992). Baubetrieb 1

[48] Drees/Krauß (2002). Baumaschinen und Bauverfahren

[49] Girmscheid (2002). Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse

[50] Jurecka (1975). Kosten und Leistungen von Baumaschinen

[51] Stadler (2004). Allgemeine Baubetriebslehre

2.5.9 Dauer

Die Dauer der Rohbauarbeiten oder einzelner Teilabläufe davon wird anhand der zur Verfügung stehenden Angaben zum Bauwerk und unter Anwendung von Kennzahlen zu Mengen, Arbeitsaufwand und Ressourcen ermittelt. Sowohl für die Grobplanung als auch für die Feinplanung kann die Dauer anhand der Interaktionsdiagramme ermittelt werden.

2.5.10 Logistik

Anhand der logistischen Überlegungen sollen die Möglichkeiten und Grenzen des Ressourceneinsatzes aufgezeigt werden (siehe u.a. bei den entsprechenden Interaktionsdiagrammen für die Grob- und Feinplanung).

2.6 Feinplanung

Ausgangsbasis für die Feinplanung bilden die Überlegungen aus der Grobplanung. In der Grobplanung werden die Vorgaben für die Feinplanung formuliert (z.B.: Vorgabezeiten für die Gründungsarbeiten, Erdarbeiten, Stahlbetonarbeiten, Mauerwerksarbeiten).

Der detaillierte Bauablauf von Projekten wird im Zuge der Feinplanung konzipiert. Das Ablaufschema für den Arbeitsablauf in der Feinplanung ist in Abb. 2-14 dargestellt. Für die Feinplanung wird das Bauwerk in der Regel in Vorgänge gegliedert; diese werden miteinander vernetzt betrachtet. Durch die Vernetzung wird sichergestellt, dass Veränderungen in den Eingangsgrößen der Berechnungen (z.B. Aufwandswert, Arbeitszeit, Anzahl der Arbeitskräfte) zu den folgerichtigen Veränderungen in den Ressourcen, Zeit und Kosten (auf Kosten wird in dieser Arbeit nicht im Speziellen eingegangen) führen.

Die Reihenfolge im Ablaufschema kann sich je nach Aufgabenstellung ändern und ist entsprechend anzupassen. Das Ablaufschema stellt die systematische Vorgangsweise für die Feinplanung dar. Die Grenzen zwischen Grob- und Feinplanung sind nicht scharf zu ziehen, je nach Betrachtungsweise vermischen sich Elemente aus der Grob- und Feinplanung.

.

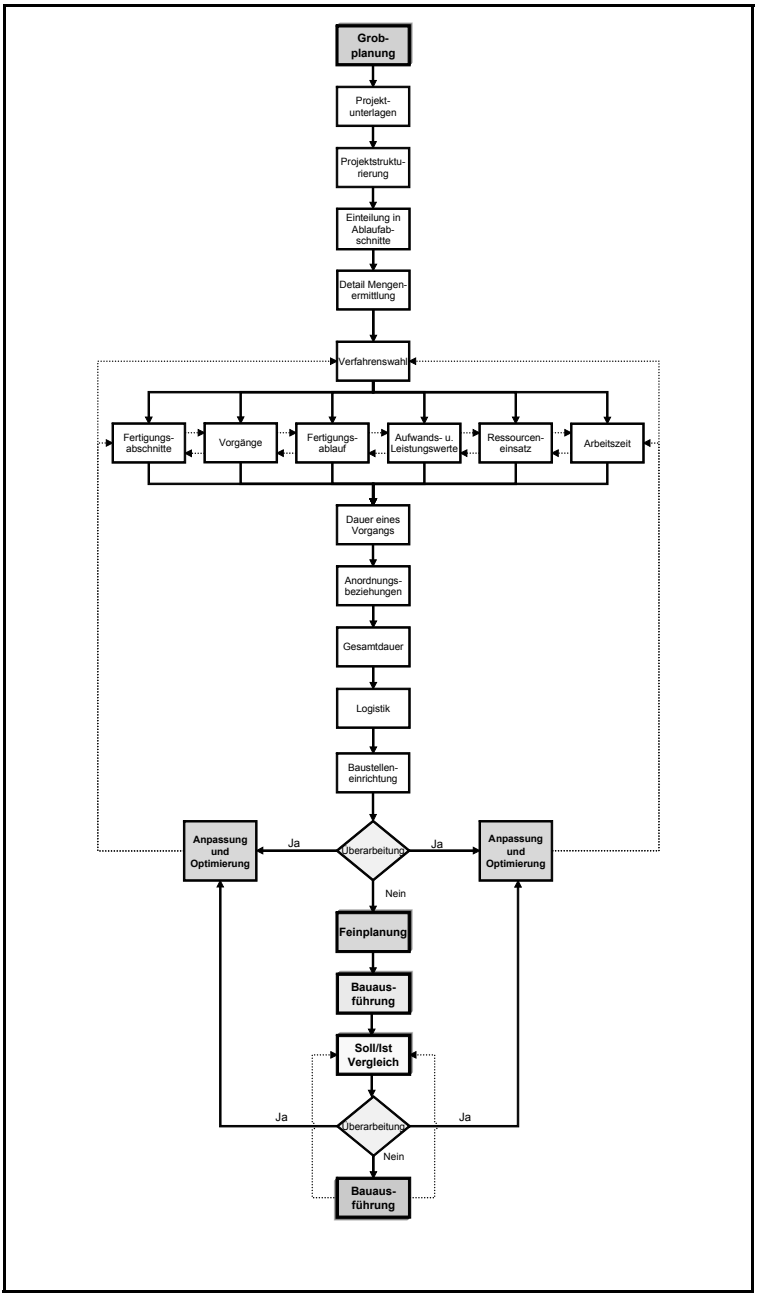


Abb. 2-14 Ablaufschema für die Feinplanung[52)]

Aus der Sicht des Bauherrn steht in der Projektplanung im Vordergrund wie lange die einzelnen Phasen im Zuge der Errichtung eines Bauwerks dauern können. Kennzahlen dienen hier als Instrument, um die Bandbreite der Dauer der einzelnen Projektphasen feststellen zu können. Für die Feinplanung können entsprechende Interaktionsdiagramme für Bauablaufplanung und Logistik, die in dieser Arbeit dargestellt sind, herangezogen werden.

2.6.1 Projektunterlagen

Ausgangspunkt für die Arbeitsvorbereitung sind der Bauvertrag und unternehmensinterne Vorgaben (z.B. bevorzugtes Bauverfahren, am Bauhof vorhandenes Schalsystem). Die Überlegungen und Unterlagen aus der Grobplanung sind zu überprüfen. Für die fachgerechte Durchführung der Beton- und Stahlbetonarbeiten ist die rechtzeitige Übergabe der Schalungs- und Bewehrungspläne von besonderer Bedeutung.

2.6.1.1 Schalpläne[53)]

Schalpläne sind planliche Darstellungen der einzuschalenden Bauteile im Maßstab 1:50. Die Schalpläne sollen folgende Informationen beinhalten:

- *Maße des Bauwerks und der Bauteile, auch Höhenkoten und ev. Bauwerksachsen*
- *Aussparungen innerhalb dieser Bauteile, soweit sie für das Tragverhalten von Bedeutung sind*
- *Auflager der einzuschalenden Bauteile, wie z.B. Umrisse der tragenden Mauerwerkswände oder Kopfplatten von Stahlstützen sowie tragende Einbauteile, die in die Schalung verlegt werden*
- *Arten und Festigkeitsklassen der Baustoffe*

2.6.1.2 Bewehrungspläne[54)]

In den Bewehrungsplänen sind alle für die Standsicherheit und für die Dauerhaftigkeit (Rissesicherung) erforderlichen Bewehrungen und die für die

[52)] in Anlehnung an Bauer (1992). Baubetrieb 2. 469

[53)] vgl. Petzschmann (2000). Handbuch für Bauingenieure, Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz. 56

[54)] Petzschmann (2000). Handbuch für Bauingenieure, Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz. 56

Durchführung der Bewehrungsarbeiten auf der Baustelle, d.h. alle zum Biegen und Verlegen der Bewehrung erforderlichen Angaben, dargestellt. Die Vermaßung der Bewehrung erfolgt im Plan oder in der Stahlliste.

Bewehrungspläne sollen folgende Informationen beinhalten:

- *Hauptmaße der Stahlbetonbauteile*
- *Betonstahlsorten und Betonfestigkeitsklassen*
- *Anzahl, Durchmesser, Form und Lage der Bewehrungsstäbe und Baustellenschweißungen, z.B. gegenseitiger Abstand, Rüttellücken, Übergreifungslängen von Stäben und Verankerungslängen, Abstandhalter*
- *die Betondeckung der Bewehrung und die Unterstützung der obenliegenden Bewehrungen*
- *die Mindestdurchmesser der Biegerollen*
- *zum Tragwerk gehörende Bauteile*

2.6.1.3 Planvorlauf[55)]

Um das Vorliegen von Schalungs- und Bewehrungsplänen für die Ausführung von fristgebundenen Stahlbetonarbeiten auf der Baustelle zu sichern, ist es wichtig, die Dauer der Vorlauffristen für die Schal- und Bewehrungspläne zu bestimmen und vertraglich zu vereinbaren. Für Hochbauten in Ortbeton muss für einen ungestörten Bauablauf von folgenden baubetrieblich erforderlichen und durch die Praxis bestätigte Mindestvorlaufdauern ausgegangen werden:

- *Schalpläne Vorabzüge: 6 Wochen*
- *Schalpläne freigegeben: 4 Wochen*
- *Bewehrungspläne freigegeben und geprüft: 3 Wochen*

2.6.2 Projektstrukturierung

Ausgehend von der Grobplanung wird die dort vorgenommene Projektstrukturierung überprüft und in der Folge immer weiter verfeinert. Das Projekt wird z.B. in Geschosse und Bauteile (z.B. Stützen, Wände, Decken) strukturiert.

[55)] Petzschmann (2000). Handbuch für Bauingenieure, Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz. 57

2.6.3 Einteilung in Ablaufabschnitte[56)]

Im Bauwesen wird der Arbeitsablauf (siehe Abb. 2-15) in Ablaufabschnitte zerlegt. Die Zerlegung ist für die Vergabe der Bauleistung und für die Planung und Steuerung der Baudurchführung erforderlich.

Zur Ausschreibung von Bauleistungen wird der Bauablauf im Leistungsverzeichnis zerlegt. Dieses dient der exakten Beschreibung der Leistungsart und des Leistungsumfanges, damit der Bieter eine ordnungsgemäße Kalkulation zwecks Angebotsabgabe durchführen kann. Das Leistungsverzeichnis ist im Allgemeinen nach Gruppen und Positionen gegliedert. Das entspricht der Zerlegung des gesamten Bauablaufs in Makroablaufabschnitte.

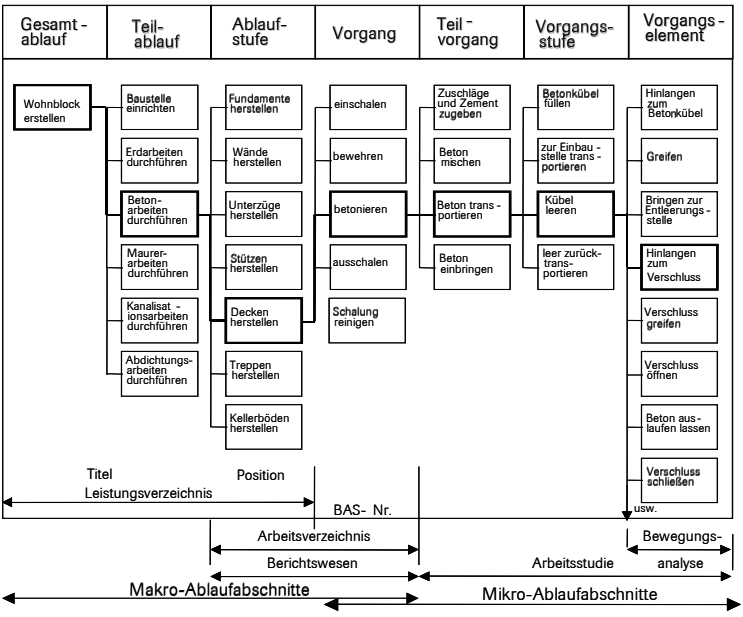


Abb. 2-15 Unterteilung eines Bauwerks in Ablaufabschnitte[57)]

Die Planung des Bauablaufs selbst erfordert eine Gliederung, die häufig von der des Leistungsverzeichnisses erheblich abweicht und Arbeitsverzeichnis genannt wird. Während das Leistungsverzeichnis der exakten Beschreibung der Bauleistung dient, soll das Arbeitsverzeichnis die Planung

[56)] Stadler (2004). Grundlagen der Bauverfahren.

[57)] vgl. Stadler (2004). Grundlagen der Bauverfahren

und Steuerung der räumlichen und zeitlichen Folgen der Ablaufabschnitte ermöglichen. Sie dient ferner der Bemessung der Ablaufabschnitte hinsichtlich der Kapazitäten (Mensch und Betriebsmittel) sowie der Eingaben (Information, Baustoff, Energie), der Zeiten und der Kosten.

Die Gliederungstiefe in Vorgang und Teilvorgang ist in der Regel für die Feinplanung ausreichend.

Die Zerlegung des Bauablaufs im Arbeitsverzeichnis geht in den Bereich der Mikroablaufabschnitte bis zu Vorgang und Teilvorgang hinein, erreicht aber niemals die Feinstruktur von Vorgangsstufe oder Vorgangselement.

Die Abfolge der kleinsten Abschnitte, der Vorgangselemente (z.B. Greifen, Loslassen) ergibt eine Vorgangsstufe (Betonkübel entleeren, Schalungsanker setzen).

Mehrere Vorgangsstufen einer Arbeitsaufgabe werden zur besseren Überschaubarkeit zum Teilvorgang (Schalung stellen, Beton in Schalung einbringen) zusammengefasst. Zur Herstellung eines ganzen Bauteiles (z.B. Kellerwand herstellen) sind mehrere Vorgänge (Wand einschalen, Wand bewehren, Wand betonieren) erforderlich. Die Vorgänge entsprechen im Allgemeinen dem Arbeitsauftrag an eine Gruppe oder an einen einzelnen Menschen für einen oder mehrere Tage. Sie erscheinen in einem detaillierten Ablaufplan (z. B. siehe Abb. 2-15) als der kleinste noch betrachtete Ablaufabschnitt.

Im Leistungsverzeichnis für ein Bauwerk entspricht der Vorgang einer Position, im Arbeitsverzeichnis einer BAS-Nr. (Bauarbeitsschlüssel) oder jeweils Teilen davon.

Die weitere Gliederung baut sich in der gleichen Weise auf. Die Ablaufstufe besteht aus einer Folge von Vorgängen, die z.B. zur Herstellung eines Bauteiles oder Bauabschnittes erforderlich sind.

Mehrere Ablaufstufen ergeben einen Teilablauf, mehrere Teilabläufe den Gesamtablauf. Unter einem Gesamtablauf wird der gesamte Arbeitsablauf verstanden, der zur Herstellung eines Erzeugnisses oder Bauwerks mit einem, wenigen oder auch vielen Einzelteilen erforderlich ist.

Die erläuterte Gliederung des Arbeitsablaufs dient der sinnvollen Auflösung eines komplexen Bauvorhabens. Dabei ist es selbstverständlich, dass Umfang und Komplexität eines Projekts maßgebend sind für die Anzahl der erforderlichen Stufen. Vor allem Teilvorgang und Vorgang sind jene Abschnitte die für die Feinplanung von Bedeutung sind.

Die vertikale Prozessgliederung wird vor allem zur betrieblichen Arbeitsvorbereitung, bei der Arbeitsnormung und der Erteilung bzw. Abrechnung von Arbeitsaufträgen angewendet.

Bei der in Abb. 2-15 gezeigten Gliederung des Gesamtablaufs in Ablaufabschnitte ist zu erkennen, welche Ablaufabschnitte für Leistungsverzeichnis, Arbeitsverzeichnis und Arbeitsstudie wirksam werden.

2.6.4 Mengenermittlung

Die Mengenermittlung ist die Basis für sämtliche Aufgaben in der Feinplanung. Die Mengen (Produktionsmengen) der verwendeten Baustoffe zur Errichtung eines Bauwerks, bilden die Basis zur Berechnung der Dauer der einzelnen Ablaufabschnitte. Für die Grobplanung wird beispielsweise die Gesamtmenge des Hauptbaustoffes betrachtet. In der Feinplanung werden die Mengen getrennt nach Baustoffen und Bauteilen ermittelt und dazu die baubetrieblichen Überlegungen angestellt. Die Präzision in der Mengenermittlung hängt vom Planungsstadium ab. In der Grobplanung sind nur wenige Werte ermittelbar (z.B. Bruttorauminhalt, Betonmenge). Für die Feinplanung sind die Mengen der einzelnen Bauteile genau zu berechnen (z.B. Schalfläche für eine Wand, Betonmenge für eine Stütze, Bewehrungsmenge einer Geschossdecke etc.). Zur Kontrolle können die Werte aus der Mengenermittlung anhand von Kennzahlen (z.B. Schalungs- und Bewehrungsgrad) überprüft werden. Auf Kennzahlen zur Mengenermittlung wird im Detail in Kapitel 3 eingegangen. Vor allem in der Grobplanung sind die Angaben zu den Mengen unscharf oder teilweise gar nicht vorhanden.

2.6.5 Verfahrenswahl

Für die Ausführung der verschiedenen Tätigkeiten zur Errichtung eines Bauwerks stehen in der Regel verschiedene Bauverfahren zur Verfügung, mit denen das gleiche Bausoll erreicht werden kann. Die verschiedenen Verfahren unterscheiden sich in technischer, wirtschaftlicher und organisatorischer Hinsicht.

Je nach dem wie viele verschiedene Einflussfaktoren bei der Verfahrenswahl für den Vergleich herangezogen werden, unterscheidet man zwei Methoden:

- den kalkulatorischen Verfahrensvergleich
- den differenzierten Verfahrensvergleich

Unabhängig vom eingesetzten Verfahrensvergleich sollen in der Verfahrensauswahl folgende Ziele verfolgt werden:

- Erfüllung der technischen und ästhetischen Ansprüche
- Erzielung der minimalen Herstellkosten
- Belastungen des Vertragsverhältnisses mit dem Bauherrn sind zu vermeiden
- innerbetriebliche organisatorische Schwierigkeiten sind zu minimieren
- Ausschluss bzw. Reduktion von Unfallgefahren

Nachfolgend wird auf die wesentlichsten Punkte des kalkulatorischen und differenzierten Verfahrensvergleichs kurz eingegangen.

2.6.5.1 Kalkulatorischer Verfahrensvergleich

Beim kalkulatorischen Verfahrensvergleich werden für jedes der untersuchten Bauverfahren vergleichende Kostenermittlungen durchgeführt[58)].

Für die zu vergleichenden Bauverfahren sind die Kostenverläufe in Abhängigkeit von veränderlichen Einflussgrößen darzustellen (z.B. Menge, Dauer). Aus der Darstellung folgen die Unterschiede zwischen den in Betracht gezogenen Verfahren.

2.6.5.2 Differenzierter Verfahrensvergleich

Neben den rein wirtschaftlichen Kriterien werden hier auch

- technische Kriterien,
- organisatorische Kriterien und
- sicherheitstechnische Kriterien

formuliert und in die Bewertung einbezogen.

Der differenzierte Verfahrensvergleich ist umfassender als der kalkulatorische, erfordert aber eine größere Datenmenge und ist zeitaufwendiger. Der Vorteil liegt hier aber in der ganzheitlichen Betrachtung, der wesentlich zur Risikoreduzierung in der Kalkulation und Bauausführung beiträgt.

[58)] Hoffman (2004). Zahlentafeln für den Baubetrieb. 481

Schmidt[59] gibt folgenden Arbeitsablauf für den differenzierten Verfahrensvergleich an:

1. Gewichten von Kriterien und Zielen und Kontrolle der Gewichte: Gleiche Beurteilungskriterien für alle Verfahren und Objektivierung subjektiver Gewichtung
2. Vorauswahl der Verfahren: Ausscheiden technisch ungeeigneter bzw. nicht verfügbarer Verfahren
3. Ermitteln der wahrscheinlichsten Kosten des Verfahrenseinsatzes: Ausscheiden von kostenungünstigen Verfahren
4. Ermittlung der zu erwartenden Kostenspannen der Verfahren: Erfassen des Kostenrisikos
5. Bewerten und Gewichten aller Kriterien durch Punktsystem: Quantifizieren und Addierbarmachen aller Eignungskriterien
6. Ermitteln der Gesamtwirksamkeit jedes Verfahrens: Verfahrensvergleich

Schmidt zeigt die Anwendung des differenzierten Verfahrensvergleichs anhand von Transportverfahren auf Großbaustellen.

2.6.6 Fertigungsabschnitte

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Fertigungsablaufmodellen wie z.B. Fließ- und Taktfertigung, ist die Teilbarkeit des Bauwerks bzw. der Bauteile (z.B. Geschossdecken, Fundamentplatte, Wände) in Fertigungsabschnitte. Die Fertigungsabschnitte bilden den Arbeitsraum für die einzelnen Arbeitspartien, die sich in einem bestimmten Takt von Abschnitt zu Abschnitt bewegen und dabei ihre spezifische Tätigkeit verrichten.

Drees/Spranz[60] führen als Beispiele für Fertigungsabschnitte folgendes an:

- Geschossteil eines Verwaltungsgebäudes
- Wohnungseinheit eines Hochhauses
- Feld einer mehrfeldrigen Brücke
- Stütze oder Binder einer mehrfeldrigen Industriehalle

[59] Schmidt (1970). Grundsätze baubetrieblicher Verfahrenswahl dargestellt an Transportverfahren auf Großbaustellen. 129

[60] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 74

Die Anzahl der Fertigungsabschnitte, hat wesentlichen Einfluss auf die Herstellkosten eines Bauwerks (wie auch schematisch in Abb. 2-7 dargestellt).

2.6.6.1 Unterteilung der horizontalen Bauteile in Fertigungsabschnitte

Die Herstellung von horizontalen Bauteilen wie z.B. Fundamentplatten und Geschossdecken stellt hohe Anforderungen an die Betontechnologie und an die ausführende Baufirma. In Abhängigkeit der Anforderungen an den Bauteil (beispielsweise Flachdecke in Sichtbeton), Abmessungen und die einzubringende Betonmenge, erfolgt die Herstellung monolithisch oder in Abschnitten.

Wird in Abschnitten geschalt, bewehrt und betoniert, sind Arbeitsfugen auszubilden. Bei Fundamentplatten (z.B. wasserundurchlässiger Beton) stehen je nach Funktion verschiedene Konstruktionen zur Auswahl oder werden diese vorgeschrieben. Mit zunehmenden Anforderungen an die Ausbildung der Arbeitsfugen steigen die Herstellkosten.

Verschiedene Möglichkeiten der Anordnung – hier als Typ A, Typ B und Typ C bezeichnet – von Arbeitsfugen bei Fundamentplatten und Geschossdecken werden gezeigt. Die Art der Anordnung der Arbeitsfugen wirkt sich auf deren Gesamtlänge aus. Die Unterschiede in den Längen (bei gleicher Anzahl an Fertigungsabschnitten), aufgrund unterschiedlicher Anordnung der Arbeitsfugen, werden aufgezeigt; weiters wird eine allgemein gültige Berechnungsformel hergeleitet.

Anhand einer Fundamentplatte wird dargestellt, zu welchem Vorteil eine optimale Anordnung der Arbeitsfugen führen kann. Für das Beispiel reduzieren sich z.B. bei zwölf Fertigungsabschnitten, bei „optimaler“ Anordnung der Arbeitsfugen, die Herstellkosten um ca. 9.100 €.

Mit Hilfe der entwickelten Auswahldiagramme ist diese Optimierung in kurzer Zeit und ohne großen Aufwand möglich. Auf die Vorgangsweise zur Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Anzahl an Fertigungsabschnitten wird hier nicht weiter eingegangen.

2.6.6.2 Anordnung der Arbeitsfugen[61) 62) 63)]

Meist weisen die herzustellenden Fundamentplatten und Geschossdecken einen rechteckigen oder quadratischen Grundriss auf.

Ist es erforderlich diese Bauteile in Abschnitte zu unterteilen, sind Arbeitsfugen anzuordnen. Mit L_{HB} wird die Länge bezeichnet und mit B_{HB} die Breite. Weiters gilt, dass $L_{HB} \geq B_{HB}$ ist.

Für die folgenden Berechnungsformeln ist die Längsseite parallel zur Abszisse und die Breitseite parallel zur Ordinate angeordnet.

Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ A

Abb. 2-16 zeigt den Grundriss einer rechteckigen Fundamentplatte oder Geschossdecke, die in vier gleiche Abschnitte eingeteilt ist. Die Arbeitsfugen (als unterbrochene Linie dargestellt) sind parallel zur Breitseite B_{HB} angeordnet.

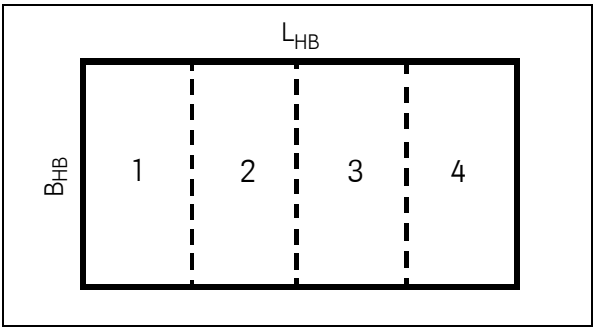


Abb. 2-16 Austeilung der Arbeitsfugen nach Typ A

Durch Einsetzen in die Glg.(2-24) erhält man für die Arbeitsfugen die Gesamtlänge $L_{AF,\,Typ\,A}$, in Abhängigkeit der Breite des Bauteils und der Anzahl an Fertigungsabschnitten n_{fa}.

$$L_{AF,\,Typ\,A} = B_{HB} \cdot (n_{fa} - 1) \tag{2-24}$$

61) vgl. Hofstadler (2000). Unterteilung von Stahlbetondecken in Fertigungsabschnitte

62) vgl. Hofstadler (2003). Unterteilung von Fundamentplatten (Bodenplatten) in Fertigungsabschnitte; Einsparungsmöglichkeiten bei effizienter Anordnung der Arbeitsfugen – Teil 1+2: Anordnungstypen und Berechnungsformeln

63) vgl. Hofstadler (2003). Unterteilung von Fundamentplatten (Bodenplatten) in Fertigungsabschnitte; Einsparungsmöglichkeiten bei effizienter Anordnung der Arbeitsfugen – Teil 3: Beispiel zur effizienten Anordnung der Arbeitsfugen

Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ B

Der in der Abb. 2-17 dargestellte rechteckige Bauteil ist wieder in vier Abschnitte eingeteilt.

Zum Unterschied zur Austeilung nach Abb. 2-16 wird hier eine Arbeitsfuge immer parallel zur Längsseite angeordnet.

Für eine weitere Unterteilung z.B. in sechs, acht oder zehn Abschnitte, erfolgt – analog zu Typ A – die weitere Anordnung der Arbeitsfugen parallel zur Breitseite.

Für eine beliebig gewählte Austeilung in Längsrichtung wird die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Glg.(2-25) berechnet.

$$L_{AF,\,Typ\,B} = L_{HB} + \frac{B_{HB}}{2} \cdot (n_{fa} - 2) \tag{2-25}$$

Relevante Lösungen (nach Glg.(2-25)) werden nur für eine gerade Anzahl an Fertigungsabschnitten erzielt und es gilt, $n_{fa} = 2 \cdot i$ und für i, dass $i \geq 1$ und $i \in G$ ist.

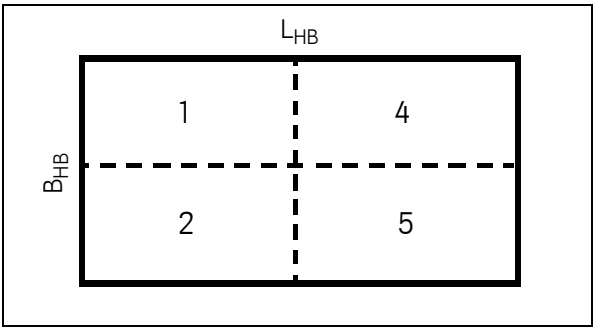


Abb. 2-17 Austeilung der Arbeitsfugen nach Typ B

Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ C

Bei der Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ C wird die Breitseite des betrachteten Bauteils in drei Felder eingeteilt. Eine weitere Unterteilung erfolgt in Längsrichtung (siehe Abb. 2-18, Einteilung für sechs Fertigungsabschnitte).

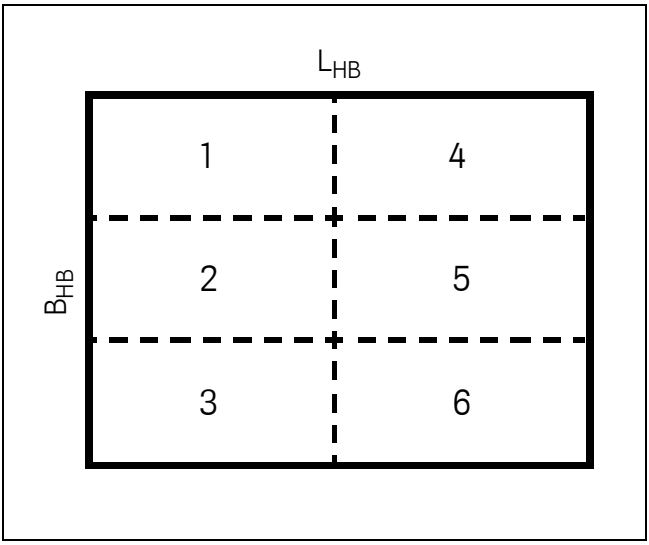


Abb. 2-18 Austeilung der Arbeitsfugen nach Typ C

$$L_{AF,\,Typ\,C} = 2 \cdot L_{HB} + B_{HB} \cdot \left(\frac{n_{fa}}{3} - 2\right) \tag{2-26}$$

Für diesen Anordnungstyp berechnet sich die Gesamtlänge der Arbeitsfugen nach Glg.(2-26).

Praktikable Lösungen werden nur für eine Anzahl an Fertigungsabschnitten erzielt für die gilt, $n_{fa} = 3 \cdot i$ und für i, dass $i \geq 1$ und $i \in G$ ist.

Berechnung der Arbeitsfugenlänge für eine beliebige Austeilung in Längs- und Querrichtung

Unterteilt man die Breitseite öfter als zweimal, kann die Berechnung der Arbeitsfugenlänge nicht mehr nach Glg.(2-26) erfolgen.

In der Abb. 2-19 ist ein Beispiel für eine Einteilung in zwölf Fertigungsabschnitte angeführt. Dabei wurden zwei Arbeitsfugen parallel zur Breitseite angeordnet und drei parallel zur Längsseite. Um zu einer allgemeinen Berechnungsformel zu kommen, wurden Einzelberechnungen anhand von Beispielen durchgeführt.

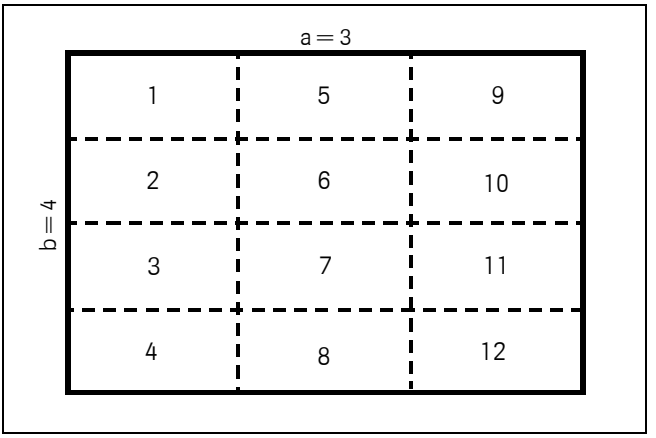


Abb. 2-19 Austeilung in „a-Felder“ in Längsrichtung und „b-Felder“ in Querrichtung

Für beliebige Unterteilungen in „a-Felder“ in Längsrichtung und „b-Felder“ in Querrichtung wurden die Arbeitsfugenlängen berechnet. Die Ergebnisse der Berechnung führten durch Induktion zur Berechnungsformel nach Glg.(2-27).

$$L_{AF} = (b-1) \cdot L_{HB} + (a-1) \cdot B_{HB} \tag{2-27}$$

Durch Einsetzen in die Glg.(2-27) kann die Gesamtarbeitsfugenlänge für den Typ A, Typ B oder Typ C oder eine beliebige Feldeinteilung in Längs- bzw. Querrichtung berechnet werden. Eingangsparameter sind Länge, Breite und Anzahl der Felder in Längsrichtung (a) und Querrichtung (b).

2.6.6.3 Anordnungsdiagramme zu den Arbeitsfugen

Auswahldiagramme zur Ermittlung der optimalen Austeilung der Arbeitsfugen werden nachfolgend gezeigt. Anhand dieser Diagramme können die vorgestellten Austeilungstypen miteinander verglichen werden.

Auswahldiagramm zur Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ A oder Typ B

Durch mehrere Einzelberechnungen durch Einsetzen in Glg.(2-27) lässt sich eine Aussage treffen, ob der Austeilung nach Typ A oder Typ B der Vorzug zu geben ist.

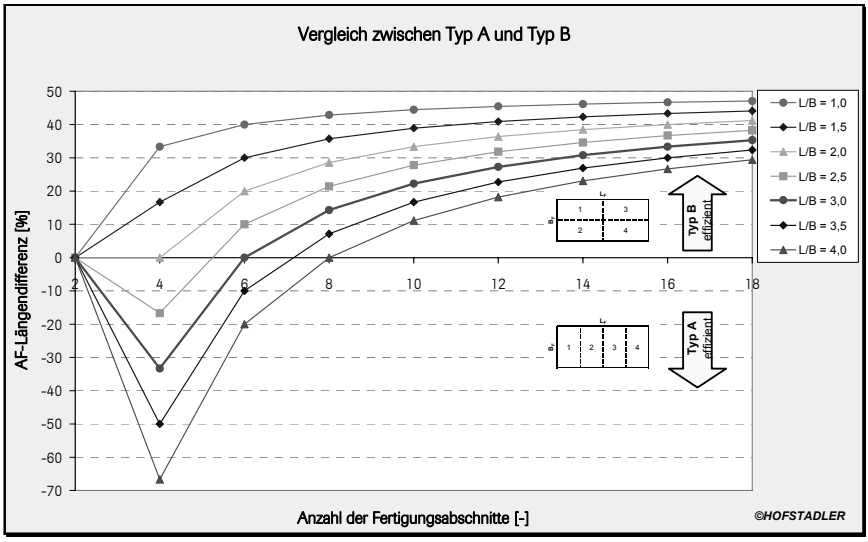


Abb. 2-20 Auswahldiagramm für Typ A und Typ B

Als Entscheidungshilfe zur Auswahl des optimalen Anordnungstyps (ohne Vorberechnungen) wurde das Diagramm nach Abb. 2-20 entwickelt. Das Auswahldiagramm (bei zwei Fertigungsabschnitten und ab $L/B \geq 1,5$ wird nach Typ A ausgeteilt) lässt die Beantwortung der Frage zu, welcher Anordnung – nach Typ A oder Typ B – für eine gerade Anzahl an Fertigungsabschnitten der Vorzug zu geben ist.

Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte und auf der Ordinate die Differenz ΔL (in %) aufgetragen. Die Differenz ΔL bezieht sich auf die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Typ A. Ein positiver Wert schreibt der Arbeitsfugenanordnung nach Typ B eine geringere Gesamtlänge in den Arbeitsfugen zu, als gegenüber jener nach Typ A. Negative Werte bedeuten, dass mit der Unterteilung nach Typ A geringere Gesamtarbeitsfugenlängen erzielt werden. Liegt der Punkt einer Kurve auf der Abszisse, sind die Längen der Arbeitsfugen gleich.

Die einzelnen Kurven (die einzelnen Punkte wurden linear verbunden) repräsentieren ein wechselndes Längen- zu Breitenverhältnis (L/B). Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nur sieben Kurven dargestellt. Schrittweite und Anzahl der Kurven können nach Erfordernis beliebig geändert bzw. ergänzt werden.

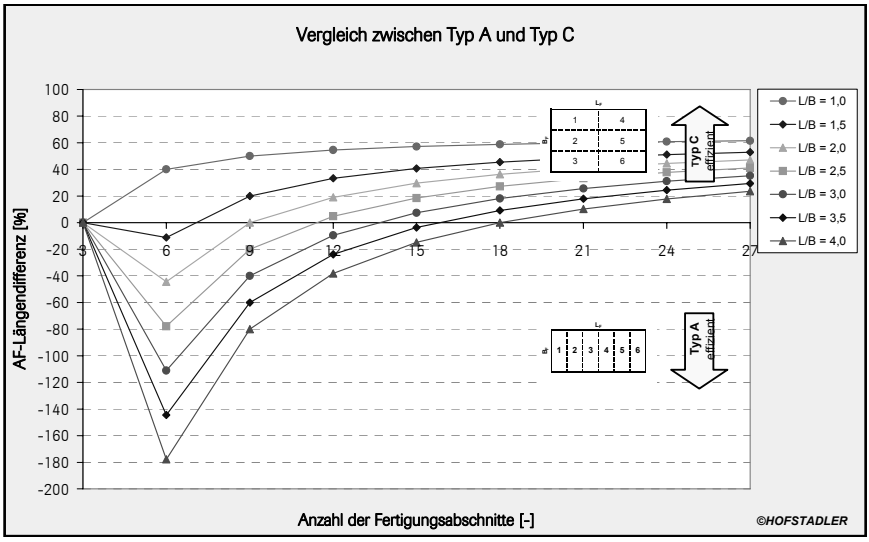


Abb. 2-21 Auswahldiagramm für Typ A und Typ C

Auswahldiagramm zur Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ A oder Typ C

Der Vergleich in den Arbeitsfugenlängen zwischen der Anordnung nach Typ A und Typ C ist in Abb. 2-21 dargestellt. Für drei Fertigungsabschnitte und $L/B \geq 1,5$ wird angenommen, dass die Arbeitsfugen nach Typ A ausgeteilt werden (kürzere Arbeitsfugenlängen als nach Typ C).

Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte und auf der Ordinate die Differenz ΔL [%] aufgetragen. Die Differenz ΔL bezieht sich auf die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Typ A. Ein positiver Wert schreibt der Arbeitsfugenanordnung nach Typ C eine geringere Gesamtlänge in den Arbeitsfugen zu, als gegenüber jener nach Typ A.

Vergleichbar ist nur eine Anzahl an Fertigungsabschnitten für die gilt, $n_{fa} = 3 \cdot i$ und für i, dass $i \geq 1$ und $i \in G$ ist.

Auswahldiagramm zur Anordnung der Arbeitsfugen nach Typ B oder Typ C

Der Unterschied in den Gesamtarbeitsfugenlängen ist durch die einzelnen Kurven in Abb. 2-22 dargestellt. Bei sechs Fertigungsabschnitten und $L/B \geq 1,5$ wird nach Typ B ausgeteilt (kürzere Arbeitsfugenlängen als nach Typ C).

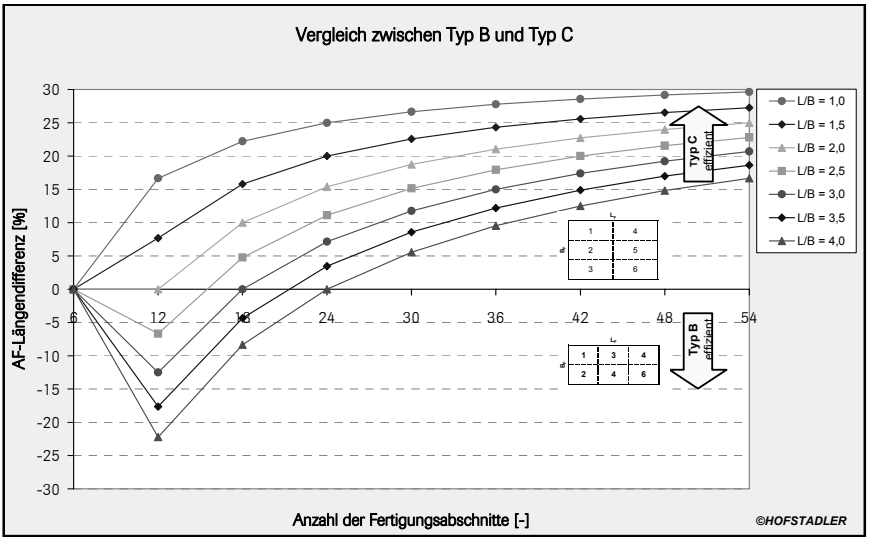


Abb. 2-22 Auswahldiagramm für Typ B und Typ C

Die Anzahl der Fertigungsabschnitte ist auf der Abszisse und die Differenz ΔL [%] auf der Ordinate aufgetragen. Auf die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Typ B ist die Differenz ΔL bezogen. Positive Werte im Diagramm schreiben der Arbeitsfugenanordnung nach Typ C eine geringere Gesamtlänge in den Arbeitsfugen zu, als gegenüber jener nach Typ B.

Gültigkeit hat das Diagramm nur für eine Anzahl an Fertigungsabschnitten für die gilt, $n_{fa} = 6 \cdot i$ und für i, dass $i \geq 1$ und $i \in G$ ist.

2.6.6.4 Beispiel zur Anwendung der Diagramme für eine Fundamentplatte

Anhand eines Beispiels wird die Anwendung der Auswahldiagramme gezeigt.

Für eine Fundamentplatte die in 12 Fertigungsabschnitten (Vorgabe) hergestellt wird, sind die Abmessungen angegeben (Höhe der Fundamentplatte H_F, Anzahl der Fertigungsabschnitte n_{fa}).

Angaben zu den Abmessungen:

$L_F = 90$ m

$B_F = 30$ m

$H_F = 1$ m

$n_{fa} = 12$

Aufgabe ist es, anhand der Auswahldiagramme den optimalen Anordnungstyp (statische und konstruktive Randbedingungen sind dabei entsprechend zu berücksichtigen) zu bestimmen und die dazugehörige Arbeitsfugenlänge zu berechnen.

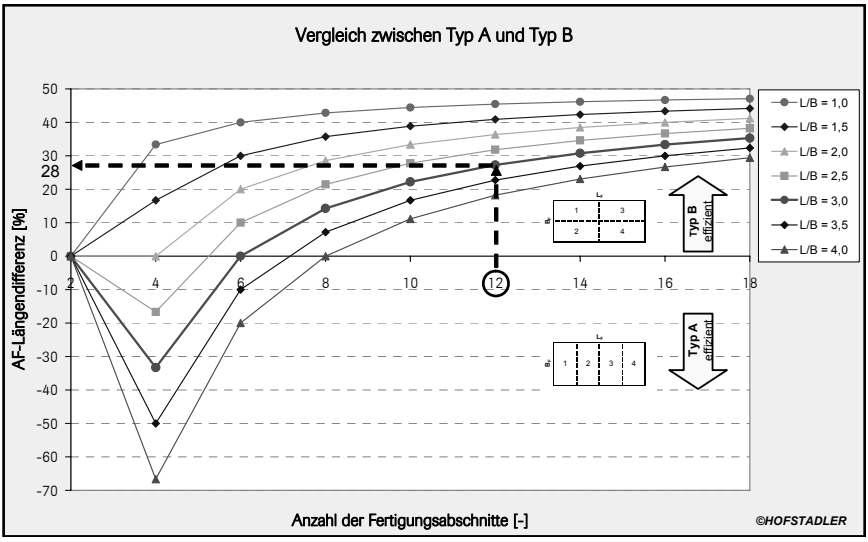


Abb. 2-23 Auswahldiagramm für Typ A und Typ B – Beispiel

Arbeitsschritte:

1. Ermittlung des L/B-Verhältnisses

$L_F/B_F = 90\text{ m}/30\text{ m} = 3$

2. Mit $L_F/B_F = 3$ im Diagramm nach Abb. 2-20 wird die entsprechende Kurve auswählt (Vorgangsweise siehe Abb. 2-23)

3. Aus dem Diagramm folgt, dass bei zwölf Fertigungsabschnitten die Austeilung nach Typ B die geringste Gesamtarbeitsfugenlänge ergibt

4. Berechnung der Gesamtarbeitsfugenlänge durch Einsetzen in Glg.(2-27)
Ordnet man die Arbeitsfugen nach Typ B an, führt dies zu einer Gesamtarbeitsfugenlänge von 240 m.

Zur Veranschaulichung wird die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Typ A berechnet.

$$L_{AF} = (2-1) \cdot 90\ \text{m} + (6-1) \cdot 30\ \text{m} = 240\ \text{m} \tag{2-28}$$

Durch Einsetzen in Glg.(2-28) erhält man für Typ A 330 m (Differenz zu Typ B ca. 28 %, wie auch im Diagramm ablesbar).

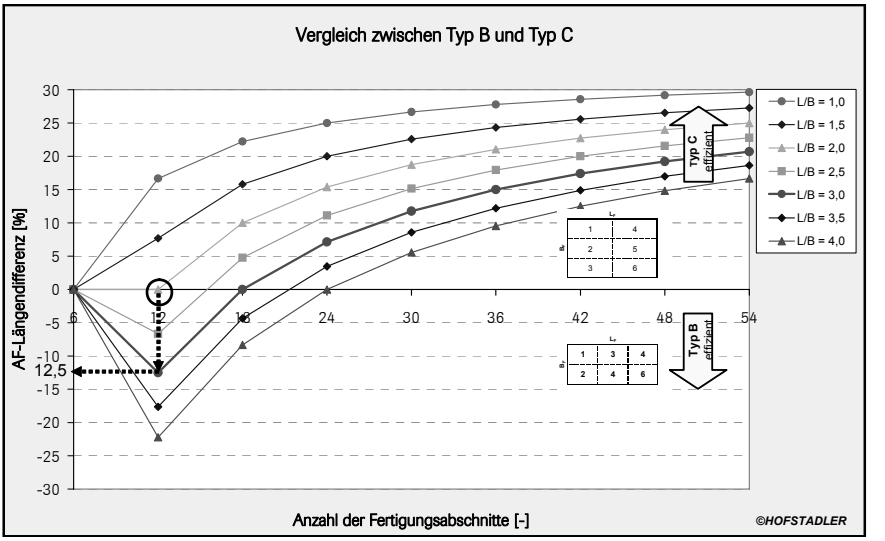


Abb. 2-24 Auswahldiagramm für Typ B und Typ C – Beispiel

Als Kontrolle ob wirklich bereits die optimale Austeilung für die Aufgabenstellung gefunden wurde, wird die Anordnung nach Typ B mit jener von Typ C verglichen (siehe Abb. 2-24). Die Kurve $L_F/B_F = 3$ wird im Diagramm ausgewählt. Sie liegt unterhalb der Abszisse. Demnach ist auch hier die Austeilung nach Typ B zu bevorzugen.

Als nächstes wird die Differenz in den Arbeitsfugenlängen ermittelt. Bei 12 Fertigungsabschnitten wird dazu die Vertikale nach unten abgetragen, bis sich der Schnittpunkt mit der ausgewählten Kurve ergibt. Von diesem Punkt aus wird die Horizontale nach links eingezeichnet, bis sie auf die Ordinate trifft. Aus dem Diagramm geht eindeutig hervor, dass mit Typ B die optimale Anordnung gefunden wurde (die Gesamtarbeitsfugenlänge nach Typ C ist um ca. 12,5 % höher). Eine weitere Untersuchung für einen anderen Anordnungstyp ($b \geq 4$) ist damit nicht erforderlich.

2.6.6.5 Beispiel – Auswirkungen auf die Herstellkosten

Um die Auswirkungen auf die Kosten aufzuzeigen, werden nachfolgend die Herstellkosten für die Arbeitsfugen des angeführten Beispiels ermittelt. Als Basis zur Berechnung der Lohn-, Baustoff- und Gerätekosten dienen Herstellerangaben und übliche Aufwandswerte. Die Abschalung der Arbeitsfugen erfolgt für das Beispiel mit Streckmetall. Nachfolgend sind die wesentlichen Eingangsgrößen für die Berechnungen angeführt.

Baustoffe und Gerät:

- Bewehrung: 740 €/to
- Abschalung mit Streckmetall: 50 €/lfm (Streckmetall, Dreikantleiste, obere Abschalung, Kleinteile)
- Übergreifungslänge: 0,50 m
- Bewehrungsgrad: 100 kg/m^3

Lohn:

- Mittellohnpreis: 35 €/Std
- Aufwandswert für die Bewehrungsarbeiten im Bereich der Arbeitsfugen: 20 Std/to
- Streckmetall: 0,20 Std/Bügel (Montage, Dreikantleisten, obere Abschalung, Abstützung)
- Rüsten je Abschnitt: 3 Std/Abschnitt

Die Ergebnisse der Berechnungen sind im Diagramm in der Abb. 2-25 dargestellt. Die Einarbeitung wurde in der Kostenberechnung nicht berücksichtigt; nach *Dress/Spranz*[64)] ist bei Bewehrungsarbeiten – wenn überhaupt – nur mehr ein sehr geringer Einarbeitungseffekt zu verzeichnen. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte aufgetragen und auf der Ordinate die Herstellkosten.

Bei zwei Fertigungsabschnitten erfolgt die Austeilung der Arbeitsfugen nach Typ A (deswegen hier auch kein Unterschied in den Kosten). Wird in vier Abschnitte unterteilt liegt der Kostenvorteil bei Austeilung nach Typ A bei ca. 3.000 €. Bei 6 Abschnitten liegen beide gleich auf und ab acht Fertigungsabschnitten ist die Austeilung nach Typ B kostengünstiger.

[64)] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 75

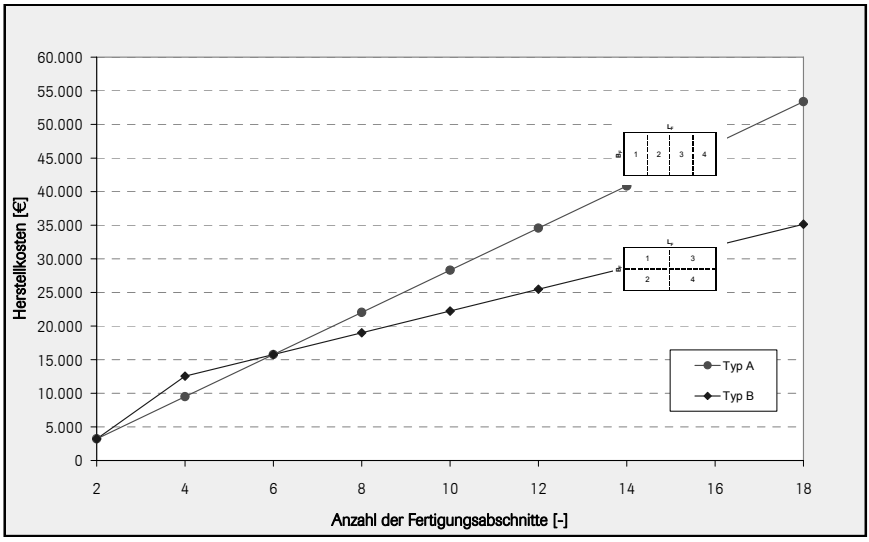


Abb. 2-25 Herstellkosten für Typ A und Typ B – Vergleich

Mit zunehmender Anzahl an Fertigungsabschnitten nimmt die Kostendifferenz zu. Für das Beispiel beträgt die Kostendifferenz bei zwölf Fertigungsabschnitten ca. 9.100 €.

2.6.6.6 Zusammenfassung

Die allgemein gültige Berechnungsformel für verschiedene Möglichkeiten der Anordnung von Arbeitsfugen wurde in diesem Abschnitt vorgestellt. Für rechteckige und quadratische Bodenplatten oder Decken (diese repräsentieren die häufigsten Grundrissformen) ist es, durch Einsetzen in Glg.(2-27) einfach möglich die Gesamtlängen der Arbeitsfugen für den jeweiligen Anordnungstyp zu berechnen.

Bei abschnittsweiser Herstellung der Fundamentplatte erhöht sich das Einsparungspotenzial durch die optimale Anordnung der Arbeitsfugen mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten. Die Differenz beträgt für das gezeigte Beispiel (siehe auch Abb. 2-25) z.B. bei 8 Fertigungsabschnitten ca. 3.000 €, bei 10 Abschnitten ca. 6.000 € und bei 12 Abschnitten ca. 9.100 €. Mit wachsenden Anforderungen an die Konstruktion der Arbeitsfugen oder durch Einbau von z.B. Fugenbändern, steigt der Einfluss der Arbeitsfugen auf die Herstellkosten.

Da in der heutigen Zeit immer weniger Zeitraum für die Arbeitsvorbereitung zur Verfügung steht, ist es wichtig, einfach, schnell und sicher zu kostenoptimalen Ergebnissen zu kommen.

Die hier dargestellten Auswahldiagramme veranschaulichen, bei welcher Anzahl an Fertigungsabschnitten welcher Austeilung der Vorzug zu geben ist. Für die Anwendung der Diagramme ist in einem ersten Schritt lediglich das L/B-Verhältnis zu ermitteln. Mit dieser Eingangsgröße kann in weiterer Folge der optimale Anordnungstyp bestimmt werden.

Bei zwölf Fertigungsabschnitten ergibt sich für das gezeigte Beispiel eine Kostendifferenz von 9.100 € (im Vergleich zwischen der Anordnung nach Typ A und Typ B). Umgelegt auf die Betonmenge bedeutet dies eine Einsparung von 3,37 €/m^3 Beton. Ist man sich dieses Potenzials bewusst, kann schon im Vorfeld bei der Entwicklung der Schalungs- und Bewehrungspläne – hinsichtlich der Anordnung der Arbeitsfugen – auf eine, für die Herstellung optimale Lösung Einfluss genommen werden.

2.6.7 Fertigungsablauf

Bauzeit und Baukosten werden wesentlich vom gewählten Fertigungsablauf beeinflusst. Der Fertigungsablauf beschreibt die zeitliche und räumliche Aufeinanderfolge der Ablaufabschnitte (siehe Abb. 2-15). Für die Feinplanung geht man in der Regel bis zur Vorgangstiefe; nach Erfordernis können auch Teilvorgänge untersucht werden.

Die Fertigungsablauftypen aus der stationären Industrie werden teilweise – nach entsprechender Anpassung an den instationären Baubetrieb – für die Bauablaufplanung herangezogen. In der Ablaufplanung geht *Bauer* auf die Fließfertigung und Taktfertigung näher ein und unterscheidet auch in Aussetzerbetrieb, Wechselbetrieb, Asynchronbetrieb und Springerbetrieb.

Bauer[65)] bezeichnet die Fließfertigung als Reihenfertigung mit Zeitzwang. Die Arbeitskräfte oder Geräte bewegen sich in einem bestimmten Rhythmus über das geplante und damit Zug um Zug entstehende Bauwerk hinweg und vollziehen dabei die einzelnen Arbeitsvorgänge. Die Dauer, welche die Tätigkeiten der Arbeitskräfte oder Geräte für einen Ablaufabschnitt (z.B. Stahlbetondecken herstellen, Mauerwerksarbeiten ausführen oder Einschalen) innerhalb eines Fertigungsabschnittes in Anspruch nehmen wird als Taktzeit bezeichnet.

[65)] vgl. Bauer (1992 u. 1994). Baubetrieb 2. 496ff

In dieser Arbeit wird zwischen Fließ- und Taktfertigung unterschieden. Es wird für die Stahlbetonarbeiten jeweils ein Beispiel dazu angeführt.

2.6.7.1 Fließfertigung

Als Beispiel für die Anwendung der Fließfertigung werden hier die Stahlbetonarbeiten für die Decken herangezogen. Die Geschossdecke ist dabei in annähernd gleich große Fertigungsabschnitte unterteilt.

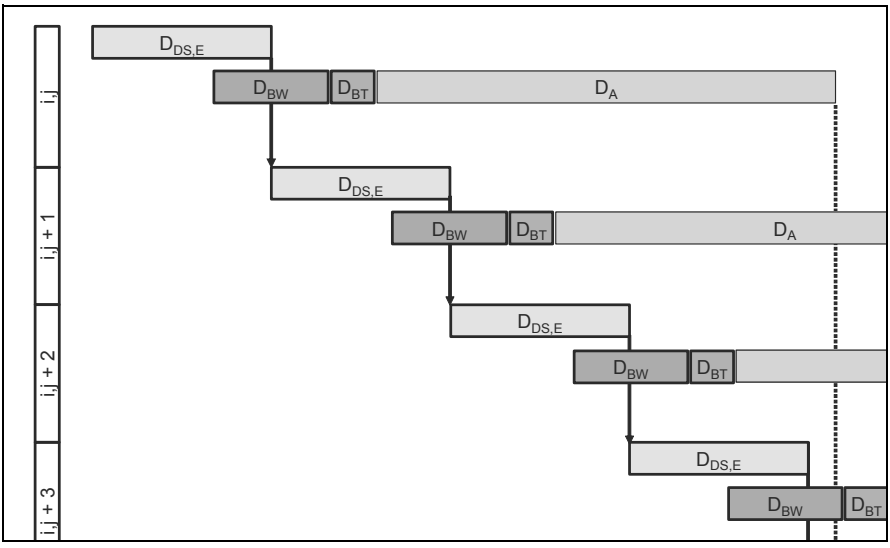


Abb. 2-26 Stahlbetonarbeiten für die Decken (Ausschnitt aus dem Ablaufplan) – Fließfertigung bei Schalarbeiten

Die Fließfertigung bezieht sich hier auf die Schalarbeiten der Decken. Der geplante Arbeitsablauf ist in Abb. 2-26 dargestellt. Die Dauer für die jeweiligen Arbeiten ist durch die Balkenlänge dargestellt. Die Schalarbeiten liegen hier am kritischen Weg und stellen den „Leitbetrieb“ dar. Bei den Schalarbeiten ist eine Fließfertigung dann gegeben, wenn die Arbeitsgruppe(n) nach Herstellung der Schalung für den Fertigungsabschnitt i, j in den Fertigungsabschnitt i, j+1 wechselt (fließender Übergang). Mit j wird der jeweilige Fertigungsabschnitt und mit i das jeweilige Geschoss bezeichnet.

In Abb. 2-26 ist die Dauer für die Deckenschalungsarbeiten durch Balken mit der Bezeichnung $D_{DS,E}$ (nur Einschalen der Schalung) dargestellt. Die Balken mit der Bezeichnung D_{BW} stehen für die Dauer des Bewehrens und

die Balken D_{BT} bezeichnen die Dauer fürs Betonieren. Die Balken mit der Bezeichnung D_A stehen für die Ausschalfrist der Schalung. Die Balken für die vertikalen Tragglieder sind hier nicht dargestellt. Die Arbeiten für das Bewehren und Betonieren werden bei Fließfertigung von anderen Arbeitsgruppen ausgeführt. Die Schalungspartie wechselt nach Fertigstellung der Schalung im Fertigungsabschnitt i, j in den Fertigungsabschnitt i, j + 1. Die Bewehrungsarbeiten beginnen versetzt mit den Schalarbeiten (Anordnungsbeziehungen siehe 2.6.12). Sobald die Bewehrungsarbeiten abgeschlossen sind, wird der Fertigungsabschnitt betoniert und mit dem Ende des Vorgangs beginnt die Ausschalfrist zu laufen.

Die vertikalen Bauteile – wie Stützen und Wände – werden vorauseilend von eigenen Arbeitsgruppen hergestellt (in Abb. 2-26 nicht dargestellt). Wenn mit den Schalarbeiten in einem Deckenabschnitt begonnen wird, sind die vertikalen Bauteile im betreffenden Abschnitt bereits ausgeschalt.

2.6.7.2 Taktfertigung

Unter Taktfertigung wird hier die von *Bauer*[66)] bezeichnete erweiterte Form der Taktarbeit verstanden. Eine Arbeitsgruppe führt dabei nacheinander verschiedene Vorgänge innerhalb eines Fertigungsabschnittes aus.

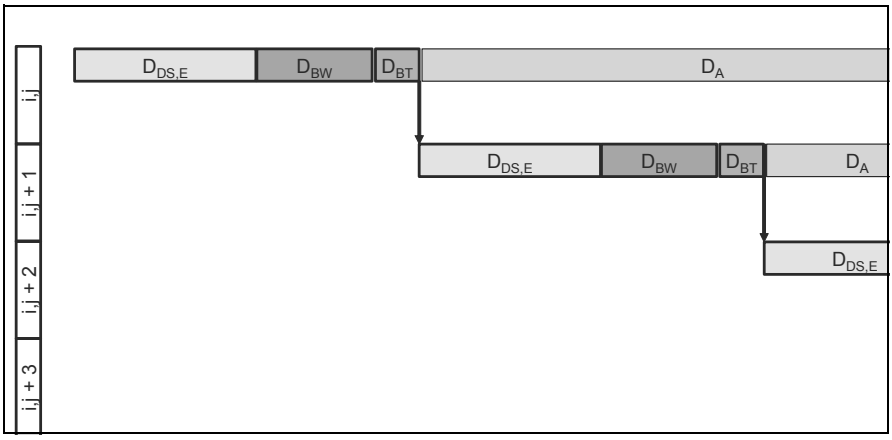


Abb. 2-27 Stahlbetonarbeiten für die Decken (Ausschnitt aus dem Ablaufplan) – Taktfertigung

Diese Form der Taktfertigung wird in folgender Weise auf die Stahlbetonarbeiten angewendet. Bei den Stahlbetonarbeiten – in Abb. 2-27 ist der Bau-

66) Bauer (1992 u. 1994). Baubetrieb 2. 510

ablauf für die Herstellung der Decken dargestellt – führt dieselbe Arbeitsgruppe die Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten in einem Fertigungsabschnitt durch. Erst nach Abschluss der Betonierarbeiten in einem Fertigungsabschnitt wechselt die Arbeitsgruppe in den nächsten Fertigungsabschnitt. Für den Fertigungsablauf in Abb. 2-27 wurde angenommen, dass die vertikalen Bauteile von eigenen Arbeitsgruppen im Voraus hergestellt werden.

Werden die vertikalen Bauteile von der gleichen Arbeitsgruppe hergestellt verlängert sich die Dauer der Stahlbetonarbeiten, da die vertikalen Bauteile nunmehr auch am kritischen Weg liegen.

Gegenüber der Fließfertigung dauern die Stahlbetonarbeiten für die Decken länger. Der Vorteil liegt hier aber im geringeren Ressourceneinsatz (z.B. Arbeitskräfte, Schalung usw.).

2.6.8 Aufwands- und Leistungswerte

Aufwandswerte bilden bei arbeitsintensiven Tätigkeiten die Grundlage für die Leistungsberechnung. Für geräteintensive Tätigkeiten hängt die Leistung von den eingesetzten Geräten ab. Die Technische Nutzleistung ist für die Bauablaufplanung und Logistik heranzuziehen (siehe dazu auch Abschnitt 2.6 und 3.2).

2.6.9 Ressourceneinsatz

Leistung und Ressourcen stehen zueinander in Wechselbeziehung. Eine höhere Leistung zieht einen größeren Ressourceneinsatz nach sich. Die Grenzen für den Ressourceneinsatz folgen etwa aus Arbeitsraum, Logistik, Verfügbarkeit etc. Für die Planung der Ressourcen hinsichtlich Anzahl und Intensität sind die entsprechenden Interaktionsdiagramme anzuwenden.

In Software-Programmen wie z.B. *Powerproject*[67)] oder *MS-Project*[68)] können Ressourcen und Dauer gemeinsam auf der Zeitachse dargestellt werden (als Beispiel siehe Abb. 2-34).

Durch Verkürzung oder Verlängerung einzelner Balken ändert sich auch die Ressourcenanzahl in der Zeiteinheit. Mit dieser Vorgangsweise ist auch ein

67) ©ASTA DEVELOPMENT GmbH

68) ©2005 Microsoft Corporation

Kapazitätsausgleich möglich. Durch Verschieben von Balken können (innerhalb der Grenzen, die vorher festzulegen sind) z.B. Ressourcenspitzen ausgeglichen werden.

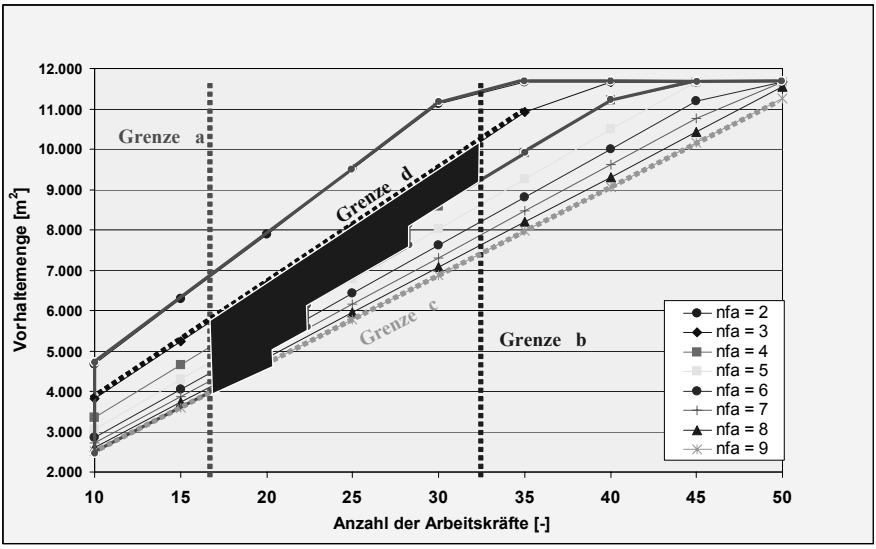


Abb. 2-28 Anzahl der Arbeitskräfte für die Schalarbeiten bei Fließfertigung – Beispiel zur Begrenzung der möglichen Lösungen

Wichtig in der Ressourcenplanung ist die Beachtung der Grenzen für die Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften. In Abb. 2-28 ist das Feld der möglichen Lösungen als dunkle Fläche dargestellt. Das Feld der möglichen Lösungen wird durch die Grenzen a, b, c und d sowie dem „Mindest-Arbeitsraum“ je Arbeitskraft begrenzt. Innerhalb dieser Fläche liegen die sinnvollen Lösungen für die hier als Beispiel gewählten Schalarbeiten für die Geschossdecken eines Bauwerks.

Auf der Abszisse ist die Anzahl der Arbeitskräfte und auf der Ordinate die Vorhaltemenge an Schalung aufgetragen. Die einzelnen Geraden im Diagramm (in der Legende mit n_{fa} bezeichnet) stehen jeweils für eine bestimmte Anzahl an Fertigungsabschnitten. Mit steigender Anzahl an Fertigungsabschnitten und sinkender Anzahl an Arbeitskräften wird die erforderliche Vorhaltemenge reduziert.

Nicht alle Ergebnisse, die durch die einzelnen Punkte der verschiedenen Geraden im Diagramm dargestellt sind, sind auch praktikabel. Zur klaren Unterscheidung von „unmöglichen Lösungen“ sind vorher genaue Grenzen

festzulegen. Die Grenzen ergeben sich z.B. aus den Bauwerks-, Baustellen- und Betriebsbedingungen.

Im Diagramm in Abb. 2-28 haben die Grenzen, die als unterbrochene Linien dargestellt sind, folgende Bedeutung:

- Grenze a

Begrenzt die Anzahl der Arbeitskräfte nach unten. Die minimale Anzahl an Arbeitskräften folgt z.B. aus der vorgegebenen Bauzeit oder dem geplanten Fertigungsrhythmus.

- Grenze b

Begrenzt die Anzahl der Arbeitskräfte nach oben. Die maximale Anzahl an einsetzbaren Arbeitskräften in der Ausführung folgt beispielsweise aus den „Arbeitsraumverhältnissen“ (siehe 2.5.7) und der Verfügbarkeit der Arbeitskräfte.

- Grenze c

Begrenzt die Anzahl der Fertigungsabschnitte nach oben. Die maximale Anzahl an Fertigungsabschnitten folgt z.B. aus konstruktiven Vorgaben oder aus dem Stützenraster.

- Grenze d

Begrenzt die Anzahl der Fertigungsabschnitte nach unten. Die minimale Anzahl an Fertigungsabschnitten folgt z.B. aus konstruktiven Vorgaben oder aus der maximalen Betoniermenge die eingebaut werden kann; oder aus dem optimalen Fertigungsrhythmus.

Die Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte richtet sich auch nach dem geplanten Fertigungsablauf und dem Kostenverlauf (zur Ermittlung der „optimalen“ Anzahl an Fertigungsabschnitten siehe 2.3).

2.6.10 Arbeitszeit

Die Arbeitszeit beeinflusst die tägliche Leistung. Leistungsschwankungen, z.B. durch Einarbeitung oder Störungen (wie etwa Leistungsabfall), können in bestimmten Grenzen durch zeitliche Anpassungen kompensiert werden. Auf Leistungsanpassungen wird im Detail in Abschnitt 6.7 eingegangen. Weiters sind auch jahreszeitlich bedingte Schwankungen in der Arbeitsleistung zu berücksichtigen. In den Wintermonaten ist bei Arbeiten im Freien in der Regel mit geringeren Leistungen zu rechnen als in den Sommermonaten.

Leistungsverluste aufgrund längerer Arbeitszeiten können z.B. mittels der Leistungskurve nach *Winter*[69] berücksichtigt werden (siehe dazu Abschnitt 6.7.8.5). *Winter* hat die idealisierte Leistungskurve bei Überstunden zur Berücksichtigung des Leistungsabfalls von der 8. bis zur 16. Stunde entwikkelt.

Erfahrungswerte für Leistungsverluste aufgrund von Witterungseinflüssen werden z.B. von *Petzschmann*[70] angeführt.

2.6.11 Dauer eines Vorgangs

Die Dauer wird für jeden Vorgang im Detail ermittelt. Bei den Stahlbetonarbeiten ist sinnvollerweise in die Vorgänge Einschalen, Bewehren, Betonieren, Ausschalen und Umsetzen zu unterscheiden. Zur Ermittlung der Dauer sind u.a. die entsprechenden Interaktionsdiagramme für die Bauablaufplanung heranzuziehen.

2.6.12 Anordnungsbeziehungen

Die Ermittlung der Anordnungsbeziehungen zwischen den einzelnen Ablaufabschnitten umfasst die Festlegung aller unmittelbaren Abhängigkeiten zwischen den Vorgängen sowie die Art der Abhängigkeit. Durch die Festlegung von Anordnungsbeziehungen werden technologische und fertigungstechnische Abhängigkeiten[71] zwischen den Vorgängen berücksichtigt.

Parallel ablaufende Vorgänge und Überschneidungen in den Vorgängen tragen zur Verkürzung der Bauzeit bei, erfordern aber einen höheren Ressourceneinsatz.

2.6.12.1 Abhängigkeiten

Um in der Bauablaufplanung unrealistische Ergebnisse für die Bauzeit auszuschließen, ist es besonders wichtig die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Vorgängen zu erkennen. Diese Interdependenzen haben in weiterer Folge wesentlichen Einfluss auf die Anordnungsbeziehungen (z.B. Ende-Anfang oder versetzte Ende-Anfang-Beziehung).

[69] vgl. Winter (1966). Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie. 83ff

[70] Petzschmann (1995) in Avak/Goris. Der Baubetrieb des Beton und Stahlbetonbaus. F 58

[71] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 70

Technologische Abhängigkeiten (Beispiele):

- Betonieren einer Wand nach dem Einschalen und Bewehren
- Vorspannen einer Flachdecke nach Erreichen der entsprechenden Festigkeit des Betons
- Einschalen eines Deckenabschnittes nach dem Ausschalen der vertikalen Traglieder im betreffenden Abschnitt etc.
- Ausschalen der Decke nach Ablauf der Ausschalfrist
- Umsetzen der Kletterschalung in den nächsten Fertigungsabschnitt nach Erreichen der erforderlichen Mindestbetonfestigkeit

Fertigungstechnische Abhängigkeiten (Beispiele):

- Einschalen des nächsten Wandabschnittes, nach dem Ausschalen der Wandschalung des vorhergehenden Abschnittes (wenn nur ein Schalsatz vorgehalten wird)
- Pfahlgründung eines Brückenpfeilers nach Gründung des Widerlagers, wenn nur ein Gerät zur Verfügung steht etc.
- Schließen der Schalung einer Wand nach dem Ende der Bewehrungsarbeiten

In Abb. 2-29 ist eine Ende-Anfang-Beziehung (Normalfolge) dargestellt. Der Vorgang 1 (hier Schalen) muss abgeschlossen sein, damit Vorgang 2 (hier Bewehren) beginnen kann. Konkret sind die Normalfolge für das Schalen (Vorgang 1) eines Fertigungsabschnittes und das anschließende Bewehren (Vorgang 2) angeführt.

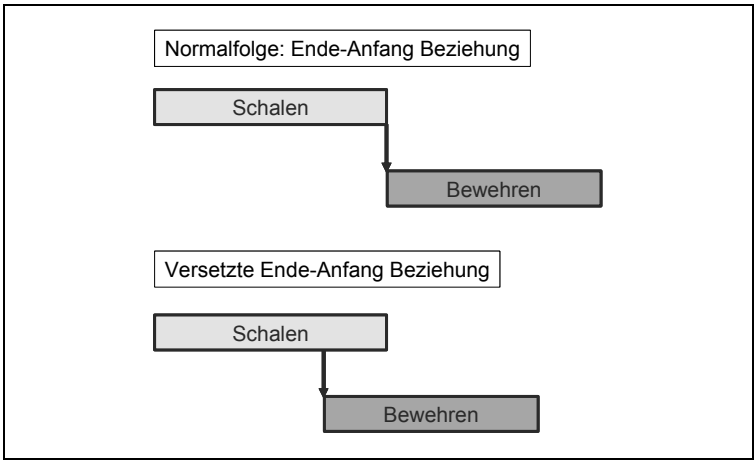


Abb. 2-29 Normalfolge – „Ende-Anfang"-Beziehung und „versetzte Ende-Anfang"-Beziehung

Kann der Vorgang 2 vor dem Ende des Vorgangs 1 beginnen, spricht man von einer versetzten Ende-Anfang-Beziehung. Diese zeitliche Überschneidung darf eine so genannte kritische Annäherung (siehe auch Abschnitt 3.8.1) nicht unterschreiten. Die Folge wäre, z.B. eine gegenseitige Behinderung bei der Ausführung der Arbeiten. Weitere Anordnungsbeziehungen (hier nicht abgebildet) sind die Anfang-Anfang-Beziehung, die Ende-Ende-Beziehung und die Anfang-Ende-Beziehung.

Drees/Spranz[72] unterscheiden bei den Arbeitsabläufen (Vorgängen) zwischen:

- terminbestimmenden Arbeitsabläufen (alle am kritischen Weg liegenden)
- nicht terminbestimmenden Arbeitsabläufen (z.B. Bewehren, wenn Schalen am kritischen Weg liegt)
- unabhängigen Arbeitsabläufen (z.B. Mauerwerk für Zwischenwände).

2.6.12.2 Anordnungsbeziehungen zwischen Schalen und Bewehren

Für die Anordnung zwischen den Vorgängen Schalen und Bewehren gibt es verschiedene Konstellationen. Im Folgenden werden vier mögliche Situationen aufgezeigt. Die Unterschiede ergeben sich vor allem aus den unterschiedlichen Arbeitsleistungen zwischen Schalen und Bewehren und aus der kritischen Annäherung. Das Minimum der kritischen Annäherung hängt wesentlich vom Arbeitsraum und den Arbeitsleistungen der einzelnen Vorgänge ab. Dieser Grenzwert darf in der Arbeitsvorbereitung und auch in der Bauausführung nicht unterschritten werden.

Je nach vorgegebenem Ziel kann eine der hier behandelten Ablaufkonstellationen zur Anwendung kommen. Natürlich sind abseits dieser Darstellungen auch andere Anordnungsbeziehungen möglich und sinnvoll. Wie zu Abweichungen zum geplanten Fertigungsablauf gegengesteuert werden kann, wurde bereits gezeigt. Verschiedene Anpassungen (z.B. zeitlich, kapazitiv) wurden dazu vorgestellt.

Wird die Leistung L_{BW} für die Bewehrungsarbeiten auf die Fläche (z.B. Deckenfläche, Wandfläche) des betrachteten Bauteils bezogen folgt sie aus Glg.(2-29).

$$L_{BW} = \frac{BW_M \cdot AW_{BW}}{AK_{BW} \cdot AZ_{BW} \cdot F_{FA}} \qquad (2\text{-}29)$$

[72] vgl. Drees/Spranz (1976). Handbuch der Arbeitsvorbereitung in Bauunternehmen. 70ff

Bei doppelseitigen Wandschalungen ist zu beachten, das die zweite Wandseite erst nach Ausführung der Bewehrungsarbeiten (bzw. versetzt dazu) geschlossen werden kann.

2.6.12.2.1 Schalungsleistung ist kleiner als die Bewehrungsleistung

$\alpha < \beta$

Für diese Anordnungen ist die Schalungsleistung ($L_S < L_{BW}$) kleiner als die Bewehrungsleistung. Hinsichtlich des Endes der Schalarbeiten wird weiter differenziert.

Fall A1: Das Ende der Schalarbeiten fällt mit dem Ende der Bewehrungsarbeiten zusammen

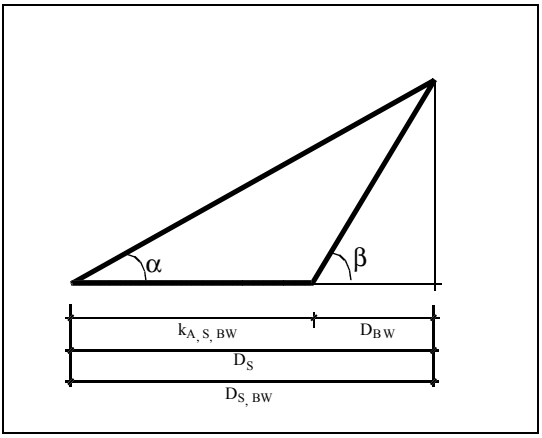


Abb. 2-30 Anordnungsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren für den Fall A1 ($\alpha < \beta$)

In Abb. 2-30 ist die Situation für diesen Fall grafisch dargestellt.

Für die kritische Annäherung gilt gemäß Glg.(2-30) folgende Beziehung:

$$k_{A,S,BW} = D_S - D_{BW} \tag{2-30}$$

Werden mit dem Ende der Schalarbeiten gleichzeitig die Bewehrungsarbeiten abgeschlossen gilt für die Berechnung der Gesamtdauer $D_{S,BW}$ bzw. der Dauer der Schalarbeiten:

$$D_{S,\,BW} = D_S = D_{BW} + k_{A,\,S,\,BW} \tag{2-31}$$

Zur Berechnung der erforderlichen Dauer der Bewehrungsarbeiten gilt folgende Beziehung:

$$D_{BW} = A_{S,\,BW} = D_S - k_{A,\,S,\,BW} \tag{2-32}$$

Die hierfür notwendige Bewehrungsleistung wird nach Glg.(2-33) berechnet:

$$L_{BW} = \frac{BW_M}{\left(\frac{F_{FA}}{L_S} - k_{A,\,S,\,BW}\right)} \tag{2-33}$$

Fall A2: Das Ende der Schalarbeiten fällt nicht mit dem Ende der Bewehrungsarbeiten zusammen

Im Unterschied zu Fall A1 enden die Bewehrungsarbeiten nicht gleichzeitig mit den Schalarbeiten, sondern dauern länger an (siehe Abb. 2-31).

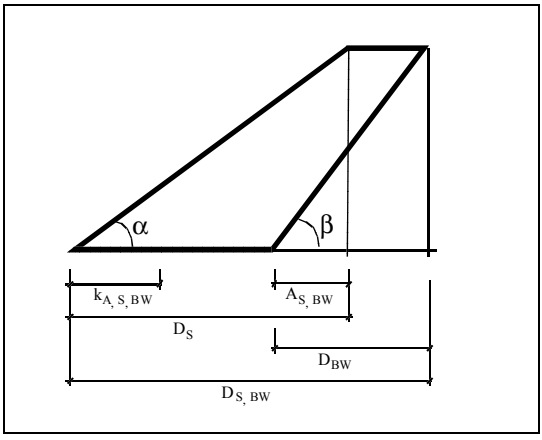


Abb. 2-31 Anordnungsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren für den Fall A2 ($\alpha < \beta$)

Für den Fall A2 wird für den jeweiligen Fertigungsabschnitt die Gesamtdauer der Schal- und Bewehrungsarbeiten nach Glg.(2-34) berechnet:

$$D_{S,\,BW} = D_S + D_{BW} - A_{S,\,BW} \tag{2-34}$$

Wenn die erforderliche Gesamtdauer vorgegeben ist und auch die Dauer für die Schalarbeiten und der Versatz feststeht, wird die erforderliche Leistung für die Bewehrungsarbeiten nach Glg.(2-35) berechnet:

$$L_{BW} = \frac{BW_M}{D_{S,BW} - D_S + A_{S,BW}} \tag{2-35}$$

Für die kritische Annäherung gilt nach Glg.(2-36) folgender Zusammenhang:

$$k_{A,S,BW} > D_S - D_{BW} \tag{2-36}$$

2.6.12.2.2 Schalungsleistung ist gleich der Bewehrungsleistung $\alpha = \beta$

Für diese Ablaufsituation ist die Arbeitsleistung bei den Schal- und Bewehrungsarbeiten gleich (siehe Abb. 2-32).

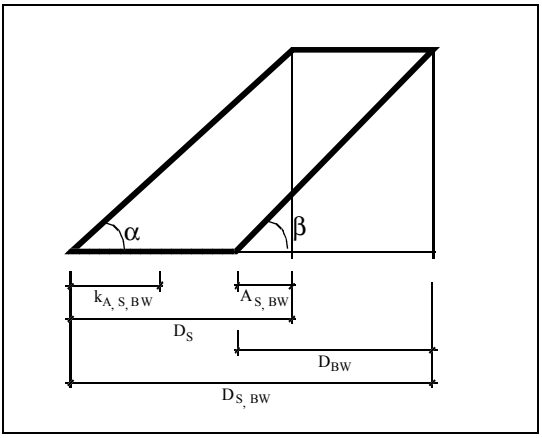


Abb. 2-32 Anordnungsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren für den Fall $\alpha = \beta$

Für diesen Fall gilt: $L_S = L_{BW}$

Es ist darauf zu achten, dass die kritische Annäherung nicht unterschritten werden darf.

2.6.12.2.3 Schalungsleistung ist größer als die Bewehrungsleistung $\alpha > \beta$

Für diese Ablaufsituation ist die Arbeitsleistung bei den Bewehrungsarbeiten größer als bei den Schalarbeiten ($L_S > L_{BW}$). In Abb. 2-33 ist der Ablauf für diese Situation dargestellt.

Für die kritische Annäherung gilt gemäß Glg.(2-37) folgende Beziehung:

$$k_{A,\,S,\,BW} \geq D_S - D_{BW} \tag{2-37}$$

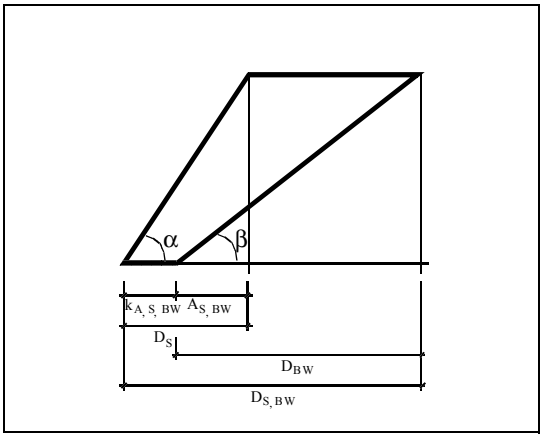


Abb. 2-33 Anordnungsbeziehung zwischen Schalen und Bewehren für den Fall $\alpha > \beta$

Die Dauer der Arbeiten für Schalen und Bewehren wird nach Glg.(2-34) berechnet.

2.6.13 Gesamtdauer

Die Gesamtdauer für ein Projekt folgt aus dem kritischen Weg. Jede Verzögerung am kritischen Weg bringt, nach Aufbrauchen des Zeitpuffers, das gesamte Projekt in Verzug. Deshalb ist in der Feinplanung der kritische Weg zu ermitteln und auf ihn soll auch spezielle Sorgfalt in der Ablaufplanung angewendet werden.

Weiters ist anhand von Sensitivitätsanalysen zu verifizieren, welche nichtkritischen Wege unter Umständen zu kritischen Wegen werden könnten. Es ist zu untersuchen wie und in welchen Kombinationen sich einzelne Ein-

gangsgrößen ändern dürfen, ohne dass der Beginn von nachfolgenden Ablaufabschnitten gefährdet ist oder gar die vertraglich vereinbarte Bauzeit überschritten wird.

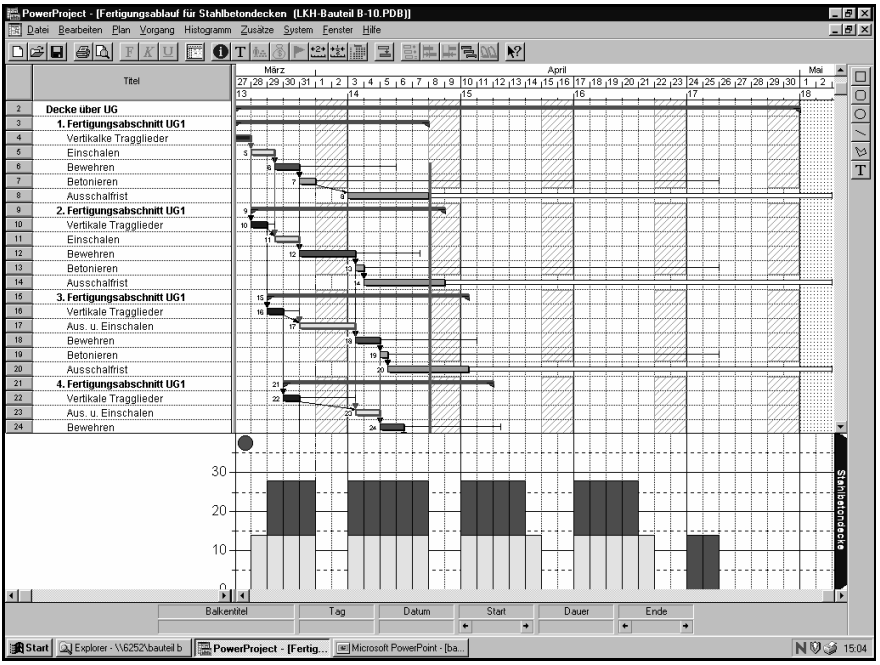


Abb. 2-34 Vernetzter Balkenplan für die Herstellung einer in mehrere Fertigungsabschnitte unterteilten Geschossdecke [erstellt in Powerproject]

Ablaufabschnitte (Vorgänge) werden unter Berücksichtigung der spezifischen Anordnungsbeziehungen miteinander verbunden und damit voneinander abhängig. Werden dazu spezielle Software-Programme verwendet (z.B. MS-Project, Powerproject), wird der Gesamtablauf als vernetzter Balkenplan über die Zeit grafisch dargestellt. Als Beispiel für die Feinplanung von Stahlbetonarbeiten ist ein Auszug der Feinplanung für die abschnittsweise Herstellung einer Geschossdecke in Abb. 2-34 dargestellt.

In dieser Abbildung sind die Vorgänge als Ende-Anfangsbeziehungen dargestellt. Voraussetzung für einen ungestörten Bauablauf ist die rechtzeitige Herstellung der vertikalen Tragglieder wie etwa Stützen oder Wände.

Erst wenn Stützen und Wände ausgeschalt sind, kann mit den Schalarbeiten für die Decken begonnen werden. Ist dies nicht der Fall (sind die vertikalen

Tragglieder noch eingeschalt) besteht die Gefahr von gegenseitigen Behinderungen, daraus folgt eine geringere Produktivität.

Im unteren Teil der Abb. 2-34 ist für die Herstellung der Decken das Ressourcenband für die Schaler und Bewehrer dargestellt. Im Zuge der Optimierung des Bauablaufs (z.B. Änderung der Leistung in den verschiedenen Vorgängen, Änderung der Anordnungsbeziehungen) ist die effektivste Ressourcenverteilung zu ermitteln.

Weitere Möglichkeiten zur Darstellung des Bauablaufs sind:

- Weg-Zeitdiagramm
- Mengen-Zeitdiagramm
- Balkenplan
- Liniendiagramm
- Netzplan
- Flussdiagramm

Im Hinblick auf die Darstellung und Beschreibung der weiteren Möglichkeiten wird beispielhaft auf *Huber/Leitner/Mauerhofer*[73)] bzw. auf die Literaturliste im Anhang verwiesen.

2.6.14 Logistik

Zur Planung der Beschaffungs-, Produktions- und Entsorgungslogistik ist die tägliche Leistung für die verschiedenen Vorgänge auf der Baustelle maßgebend zur Ermittlung der Anzahl der Transporte je Zeiteinheit. Mit kürzer werdender Bauzeit bzw. Forcierung steigen die Anforderungen an die Logistik. Die Transportintervalle werden kürzer und der Lagerbedarf steigt.

Wenn im Zuge der Ressourcenplanung Grenzen für die Logistik überschritten werden sind Anpassungen erforderlich. Wichtig ist, dass in der Feinplanung etwaige Leistungsgrenzen in der Logistik schon vor Bauausführung erkannt werden und entsprechende Anpassungen vorgenommen werden (z.B. andere Transportmittel, zeitliche und räumliche Entflechtung der Transporte).

Auf die Logistik wird weiterführend auf den Abschnitt 2.4.2 und weiters auf die Kapitel 7 und 8 verwiesen.

[73)] Huber/Leitner/Mauerhofer (2005). Handbuch der Ablaufplanung

2.6.15 Baustelleneinrichtung

Die Planung des Ressourceneinsatzes und die logistischen Überlegungen bilden die Grundlage für die Baustelleneinrichtung. Die Bemessung der Größe bzw. der Leistungsfähigkeit der Baustelleneinrichtungselemente (wie z.B. Lager- und Umschlagsplätze oder Baustraßen) erfolgt direkt mittels der Bedarfsgrößen aus der Ressourcen- und Logistikplanung.

Zwischen der Auswahl, der Logistik und der Planung der Bauverfahren bestehen gegenseitige Abhängigkeiten. Beispielsweise kann aufgrund von beengten Platzverhältnisse ein bestimmtes Bauverfahren oder der Einsatz von bestimmten Geräten (z.B. Großgeräten) ausscheiden.

Auf die Baustelleneinrichtung wird in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Es wird an dieser Stelle auf folgende weiterführende Literatur verwiesen: *Bauer*[74], *Blecken*[75], *Lennerts*[76], *Toussaint*[77].

2.6.16 Soll/Ist-Vergleich

Nach *Bauer*[78] besteht die Kontrolle eines Bauablaufs aus:

- der Feststellung des Ist-Ablaufs der einzelnen Teilvorgänge. Dazu gehören die im betrachteten Zeitraum erreichten Baufortschritte, Mengenleistungen und die dafür angefallenen Aufwendungen
- dem Vergleich dieser Daten mit den Vorgaben des Ablaufplans
- der Analyse von Abweichungen gegenüber dem Soll
- dem Bewerten entstandener Verschiebungen und
- einer Prognose über den voraussichtlichen weiteren Ablauf der Herstellung (Trendanalyse)

Zur Kontrolle der Bauzeit müssen vor allem die Vorgänge, die am kritischen Weg liegen, betrachtet werden.

Für eine solide Ablaufkontrolle sind Vorgaben über die Messintervalle und der zu kontrollierenden Größen notwendig. Wesentlich sind hier richtige Angaben zu den Solldaten (z.B. Höhe der Aufwands- bzw. der Leistungs-

[74] Bauer (1991), Baubetrieb 1

[75] Blecken (1984). Optimierung der Baustelleneinrichtung

[76] Lennerts (1992). Expertensystem zur Optimierung der Baustelleneinrichtung. 387ff

[77] Toussaint (1984). Praktische Baustelleneinrichtung: Erfahrungen und Methoden auf Großbaustellen

[78] Bauer (1992 u. 1994). Baubetrieb 2. 647

werte, Anzahl der Arbeitskräfte für die jeweiligen Vorgänge, Angaben zur Logistik etc.).

Motzko[79] fordert zeitnahe Soll-Istvergleiche um einen raschen Eingriff in den Bauablauf zu ermöglichen und eine Verbesserung der Prognose auf Basis einer höheren Dichte von Eingangswerten zu erreichen. Zeitnahe Bauleistungsfeststellungen können z.B. durch Bildinformationssysteme erreicht werden.

[79] vgl. Motzko in Motzko (Hrsg.) (2003). Festschrift anläßlich des 65. Geburtstages von Univ.-Prof.Dr.-Ing. Eberhard Schubert.

http://www.springer.com/978-3-540-34320-2

Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb
Hofstadler, C.
2007, XVII, 490 S., Hardcover
ISBN: 978-3-540-34320-2