

Berücksichtigung der Leistungsverluste bei arbeitsintensiven Tätigkeiten

Teil 1: Grundlagen zur Ermittlung der Leistungsverluste und Darstellung des Interaktionsdiagramms



Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler,
TU Graz

Die tägliche Arbeitsleistung auf der Baustelle wird wesentlich bestimmt durch:

- ⇒ Aufwandswert
- ⇒ Anzahl der Arbeitskräfte
- ⇒ tägliche Arbeitszeit
- ⇒ Einarbeitung
- ⇒ Leistungsverluste
- ⇒ Störeinflüsse

Die Anzahl der täglichen Arbeitsstunden hat Einfluss auf die Arbeitsproduktivität. Der Proportionalität zwischen steigender täglicher Arbeitszeit und der damit erzielbaren täglichen Leistung sind jedoch Grenzen gesetzt. Ab einer bestimmten Anzahl an täglichen Arbeitsstunden sinkt die Produktivität.

Im Folgenden werden die Berücksichtigung der Leistungsverluste in der Arbeitsleistung und die Auswirkungen auf Aufwandswert, Leistung und Lohnstunden gezeigt.

Neben der rechnerischen Ermittlung werden die Auswirkungen von Leistungsverlusten auch grafisch anhand eines Interaktionsdiagramms dargestellt.

auf Leistung, Aufwandswert, Dauer und Summe der Lohnstunden untersucht. Einerseits werden die Auswirkungen als Formeln dargestellt und andererseits werden sie mittels Interaktionsdiagramm grafisch transparent gezeigt.

Die Leistungsverluste haben Auswirkungen auf die Kosten (z.B. Erhöhung der Lohnkosten) und auf den geplanten Bauablauf (z.B. Beziehungen zwischen den einzelnen Vorgängen). Die Folge der Nichtberücksichtigung der Leistungsverluste können zu niedrig angesetzte Aufwandswerte sein. Daraus ergeben sich Abweichungen in den Kosten und es kommt auch zu Störungen im Bauablauf. Auswirkungen auf die Logistik sind ebenfalls zu erwarten.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich auf die Phase der Kalkulation und der Arbeitsvorbereitung der Bauarbeiten. Das Interaktionsdiagramm kann natürlich auch während der Bauausführung, und für die Ermittlung und Beurteilung von Forcierungsmaßnahmen, eingesetzt werden.

1. Einleitung

Eine effektive Planung des Bauablaufs und der Logistik ist ein wesentliches Ziel der Arbeitsvorbereitung. Aufgezeigte - und genutzte - Einsparungspotentiale bringen im Wettbewerb entscheidende Vorteile, um Aufträge zu akquirieren und Baustellen in weiterer Folge auch erfolgreich abschließen zu können.

Für die Bauablaufplanung ist es als Erstes erforderlich, die Dauer der einzelnen Vorgänge zu ermitteln. Nach Vernetzung der Vorgänge - unter Berücksichtigung der Anordnungsbeziehungen - kann die Gesamtdauer eines Projektes berechnet werden. Bauzeitbestimmend sind jene Vorgänge, die am kritischen Weg liegen. Zur Bestimmung der Dauer der einzelnen Vorgänge sind zuvor die Produktionsmengen (beispielsweise Bewehrungsmenge, Schalfläche, Betonmenge) und die tägliche Arbeitsleistung zu ermitteln.

2. Berücksichtigung von Leistungsverlusten

Leistungsverluste haben Auswirkungen auf den Bauablauf und auf die Kosten. Um Leistungsverluste, bedingt durch die Mehrarbeitszeit - von mehr als 8 (bis zu 16) Stunden Tagesarbeitszeit - zu berechnen, wird hier der Ansatz von Winter [2] angewendet.

Dieser Ansatz wird beispielsweise auch von Vygen/Schubert/Lang [3] und Reister [4] verwendet. Hager [6] geht in seinem Ansatz auch auf den Anteil der Randtätigkeiten und Wegezeiten ein. Im Folgenden wird die Berechnungsformel angeführt und die effektive Arbeitszeit (nach Abzug der Produktivitätsverluste) in Zusammenhang mit der tatsächlichen Arbeitszeit in einem Diagramm dargestellt.

Ausgehend von diesem Ansatz werden in weiterer Folge die Auswirkungen des Produktivitätsverlustes im Hinblick

2.1 Berücksichtigung der Leistungsverluste bei Bauarbeiten

Die Leistungsverluste in der Arbeitsleistung hat Winter in seiner Arbeit aus Untersuchungen im Erdbau abgeleitet und in einer Formel zusammengefasst. Anhand dieser Formel kann für Arbeitszeiten, die zwischen 8 bis 16 Stunden liegen, die „Effektive Arbeitszeit“ (hier so bezeichnet) berechnet werden.

In Abb. 1 ist die Leistungskurve (Kurve mit der Bezeichnung „Effektive Arbeitszeit“) dargestellt. Die Leistungskurve wird nach Glg. 1 berechnet:

$$AZ_{s,r} = f(AZ_{s,n}) = 12 - 16 * \left(1 - \frac{AZ_{s,n}}{16} \right)^2 \quad (1)$$

Für die tägliche Arbeitszeit $AZ_{s,n}$ gilt: $8 \leq AZ_{s,n} \leq 16$ (für die Bezeichnung T nach Winter wurde hier AZ gewählt).

Ist die effektiv erforderliche Arbeitszeit $AZ_{S,r}$ vorgegeben, folgt die tatsächlich notwendige Arbeitszeit $AZ_{S,n}$ aus Glg. 2:

$$AZ_{S,n} = f(AZ_{S,r}) = 16 * \left(1 - \sqrt{\frac{12 - AZ_{S,r}}{16}} \right) \quad (2)$$

Für die Berechnung der tatsächlich notwendigen Arbeitszeit gilt: $8 \leq AZ_{S,r} \leq 12$

In Abb. 1 ist auf der Abszisse die Tagesarbeitszeit und auf der Ordinate die effektive Arbeitszeit aufgetragen. Die Kurve mit der Bezeichnung „Effektive Arbeitszeit“ zeigt den Verlauf der effektiv nutzbaren Arbeitszeit. Die Größenordnung der Produktivitätsverluste wird durch die Kurve „Produktivitätsverluste“ dargestellt. Bei einer täglichen Arbeitszeit von z.B. 12 Stunden stehen nur 11 Stunden effektiv für den Leistungsprozess zur Verfügung. Der Produktivitätsverlust folgt aus der Differenz von tatsächlicher und effektiver Arbeitszeit mit 1 h. Beispiel: Sind durchschnittlich 10 Arbeitskräfte je Arbeitstag eingesetzt, beträgt der Leistungsverlust 10 Std/d (10 Lohnstunden/Arbeitstag).

Die Leistungsverluste können in der Kalkulation und in der Arbeitsvorbereitung beispielsweise durch einen Zuschlag zum Aufwandswert berücksichtigt werden.

2.2 Berechnung des Leistungsverlustes bezogen auf einen Fertigungsabschnitt

Hier wird zwischen geplanter (rein rechnerischer) Leistung und effektiver Leistung – die sich nach Berücksichtigung des Leistungsverlustes ergibt – unterschieden. Die nachfolgenden Parameter wie Leistung, Aufwandswert oder Dauer stehen in Beziehung zum betrachteten Fertigungsabschnitt.

Berechnet wird die geplante Leistung $L_{S,n}$ nach Glg. 3. Der Zähler ist das Produkt aus der Anzahl der Arbeitskräfte $AK_{S,n}$ [Std/h] und der Arbeitszeit $AZ_{S,n}$ [h/d]. Im Nenner steht der spezifische Aufwandswert

$AW_{S,n}$ [Std/EH] für den betrachteten Fertigungsabschnitt.

$$L_{S,n} = \frac{AK_{S,n} * AZ_{S,n}}{AW_{S,n}} \quad (3)$$

Nach Berücksichtigung des Leistungsverlustes berechnet sich die effektive Leistung nach Glg. 4. Im Zähler steht das Produkt aus geplanter Anzahl an Arbeitskräften und effektiver täglicher Arbeitszeit. Im Nenner steht der geplante Aufwandswert.

$$L_{S,r} = \frac{AK_{S,n} * AZ_{S,r}}{AW_{S,n}} \quad (4)$$

Durch den Leistungsverlust erhöht sich der ursprünglich angesetzte Aufwandswert um $\Delta AW_{S,r}$, wobei diese Erhöhung nach Glg. 5 berechnet wird.

$$\Delta AW_{S,r} = AW_{S,n} * \left(\frac{AZ_{S,n}}{AZ_{S,r}} - 1 \right) \quad (5)$$

Aufgrund der niedrigeren effektiven Leistung steigt der Aufwandswert auf $AW_{S,r}$ (siehe Glg. 6).

$$AW_{S,r} = AW_{S,n} + \Delta AW_{S,r} \quad (6)$$

Die geänderte Dauer für einen Fertigungsabschnitt berechnet sich damit nach Glg.

7. Im Nenner steht die Fläche des betreffenden Fertigungsabschnitts und im Zähler die effektive Leistung.

$$D_{S,r} = \frac{F_{FA}}{L_{S,r}} \quad (7)$$

Zur Erzielung des geplanten Leistungsfortschritts ist die Anzahl der Arbeitskräfte um $\Delta AW_{S,r}$ zu erhöhen.

$$\Delta AK_{S,r} = \frac{L_{S,n} * \Delta AW_{S,r}}{AZ_{S,n}} \quad (8)$$

Das Produkt aus geplanter Leistung und Aufwandswert-Differenz steht im Zähler, die geplante tägliche Arbeitszeit im Nenner.

$$S_{LST,FA} = F_{FA} * AW_{S,r} \quad (9)$$

Die um den Anteil für Produktivitätsverluste erhöhte Anzahl an Lohnstunden für die Schalarbeiten eines Fertigungsabschnitts folgt aus Glg. 9. Die Lohnstunden-Differenz $\Delta S_{LST,FA}$ für den betrachteten Fertigungsabschnitt folgt aus Glg. 10.

$$\Delta S_{LST,FA} = F_{FA} * \Delta AW_{S,r} \quad (10)$$

Die gesamte Lohnstunden-Differenz folgt – bezogen auf das gesamte Bauwerk bei den hier betrachteten Schalarbeiten – durch Aufsummieren der Verluste über die einzelnen Fertigungsabschnitte.

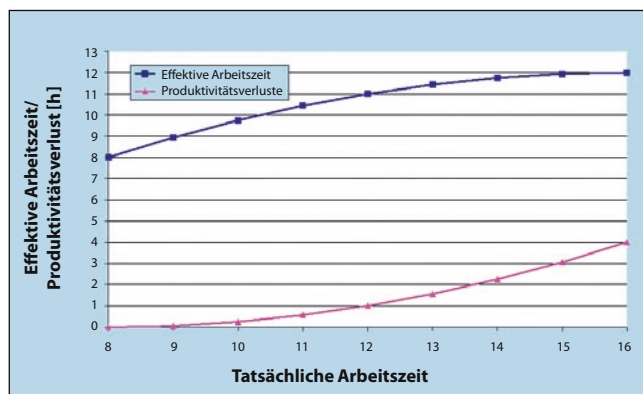


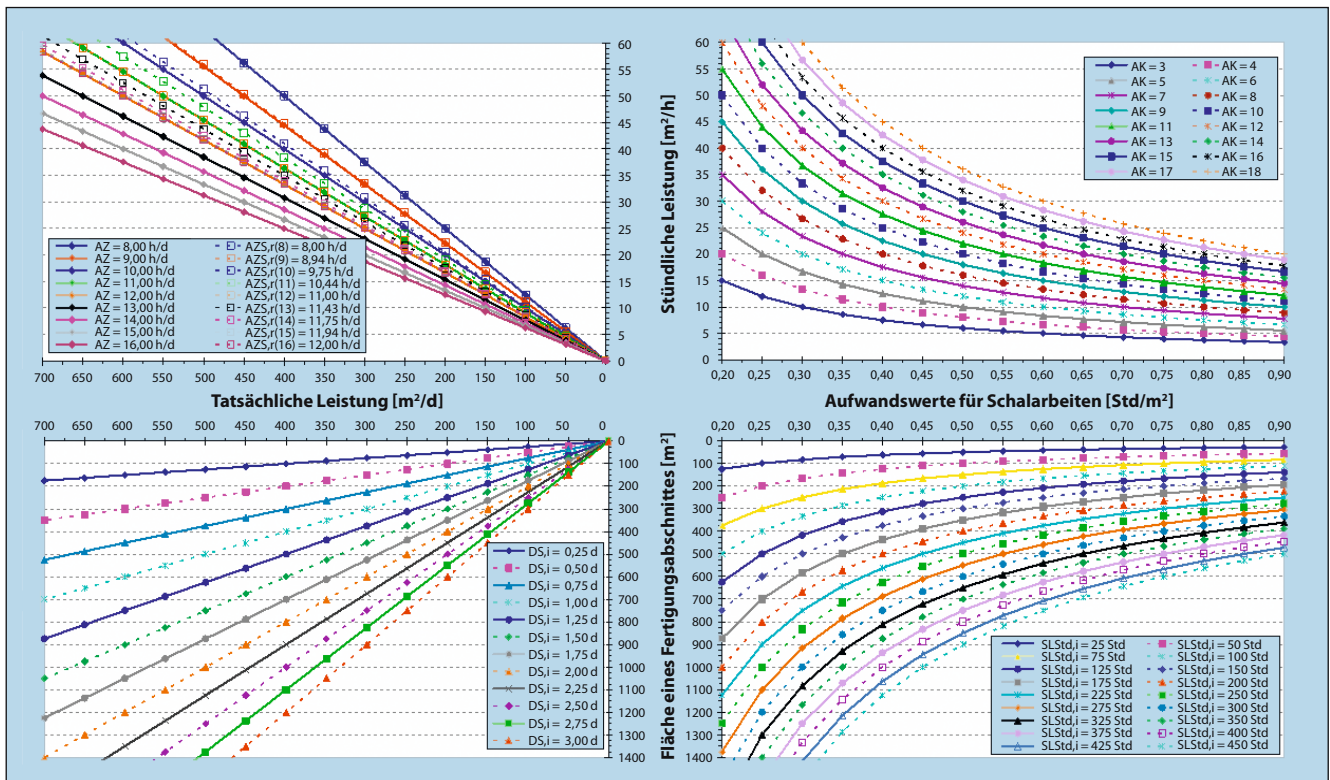
Abb. 1: Darstellung der effektiven Arbeitszeit und der Produktivitätsverluste

2.3 Grafische Ermittlung des Leistungsverlustes anhand des Interaktionsdiagramms für Schalarbeiten

Für die transparente grafische Darstellung der Auswirkungen der Leistungsverluste wird das in [1] vorgestellte Interaktionsdiagramm herangezogen.

Durch dieses Interaktionsdiagramm werden die Beziehungen zwischen
 ⇒ Aufwandswert [Std/m²],
 ⇒ Anzahl der Arbeitskräfte [Std/h],

©Christian Hofstadler



©Christian Hofstadler

Abb. 2: Interaktionsdiagramm für Stahlbetonarbeiten – Schararbeiten für Bauwerke – Berücksichtigung von Leistungsverlusten

- ⇒ Stundenleistung [m²/h],
 - ⇒ tägliche Arbeitszeit [h/d],
 - ⇒ tägliche Leistung [m²/d],
 - ⇒ Vorgangsdauer [d],
 - ⇒ Schallfläche eines Fertigungsabschnitts [m²] und
 - ⇒ Summe der Lohnstunden für die Schararbeiten [Std]
- hergestellt.

Im Folgenden werden die einzelnen Quadranten des Diagramms kurz beschrieben.

Im I. Quadranten sind auf der Abszisse die Aufwandswerte und auf der Ordinate die stündliche Leistung aufgetragen. Die jeweilige Anzahl der Arbeitskräfte ist durch die einzelnen Kurven dargestellt.

Die Ordinate zwischen I. und II. Quadranten ist gleich. Die Geraden im Diagramm geben die jeweilige tägliche Arbeitszeit an. Auf der Abszisse ist die tägliche Leistung dargestellt.

Zwischen II. und III. Quadranten ist die Abszisse gleich. Verschiedene Dauern sind durch die einzelnen Geraden im Quadranten auswählbar. Auf der Ordinate ist die zu schalende Fläche eines Fertigungsabschnitts abgebildet.

Die Abszisse im I. Quadranten entspricht jener im IV. Quadranten, ebenso ist die Ordinate zwischen III. und IV. Quadranten gleich. Verschiedenen Lohnstunden-Summen sind durch die einzelnen Kurven im IV. Quadranten dargestellt.

Im Unterschied zum Diagramm in [1] ist im II. Quadranten des Diagramms die Möglichkeit gegeben, die Leistungsverluste unmittelbar zu berücksichtigen (siehe Abb. 2).

In weiterer Folge wurden die dazugehörigen Geraden (effektive Arbeitszeiten) nach Berücksichtigung des Leistungsverlustes in das Diagramm aufgenommen. Diese Geraden wurden mit

„AZ_{S,r}“ bezeichnet und mit der Anzahl der effektiven Arbeitsstunden ergänzt. Als Klammerwerte sind die dazugehörigen tatsächlichen Arbeitszeiten angeführt. Die Gerade „AZ = 11 h/d“ steht für die tatsächliche Arbeitszeit von 11 Stunden; demgegenüber steht die entsprechende Gerade mit einer „Effektiven Arbeitszeit“ von 10,44 Stunden (Gerade mit der Bezeichnung „AZ_{S,r}(11) = 10,44 h/d“).

Autorenkontakt

Dipl.-Ing.Dr.techn. Christian Hofstadler
 Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
 Technische Universität Graz
 E-Mail: hofstadler@tugraz.at