

# 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

### 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 Produktionsmenge (beispielsweise Bewehrungsmenge, Schalfläche, Betonmenge) und die tägliche Arbeitsleistung zu ermitteln.

Die tägliche Arbeitsleistung auf der Baustelle wird wesentlich bestimmt durch:

- ⇒ Aufwandwert
- ⇒ 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 Aufwandwert, Leistung und Lohnstunden gezeigt.

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

### 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 Arbeitzeit in einem Diagramm dargestellt.

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

auf Leistung, Aufwandwert, 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.

#### 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 Aufwandwert 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, Aufwandwert 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 Aufwands-

wert  $AW_{s,n}$  [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 Aufwandwert 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 Aufwandwert-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.

## 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  
 ⇒ Aufwandwert [Std/m<sup>2</sup>],  
 ⇒ Anzahl der Arbeitskräfte [Std/h],

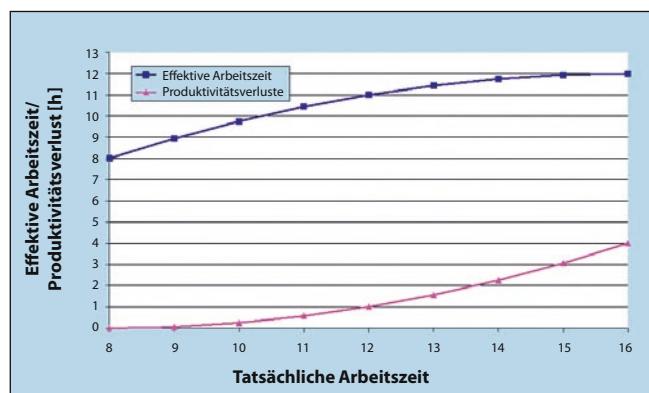


Abb. 1: Darstellung der effektiven Arbeitszeit und der Produktivitätsverluste

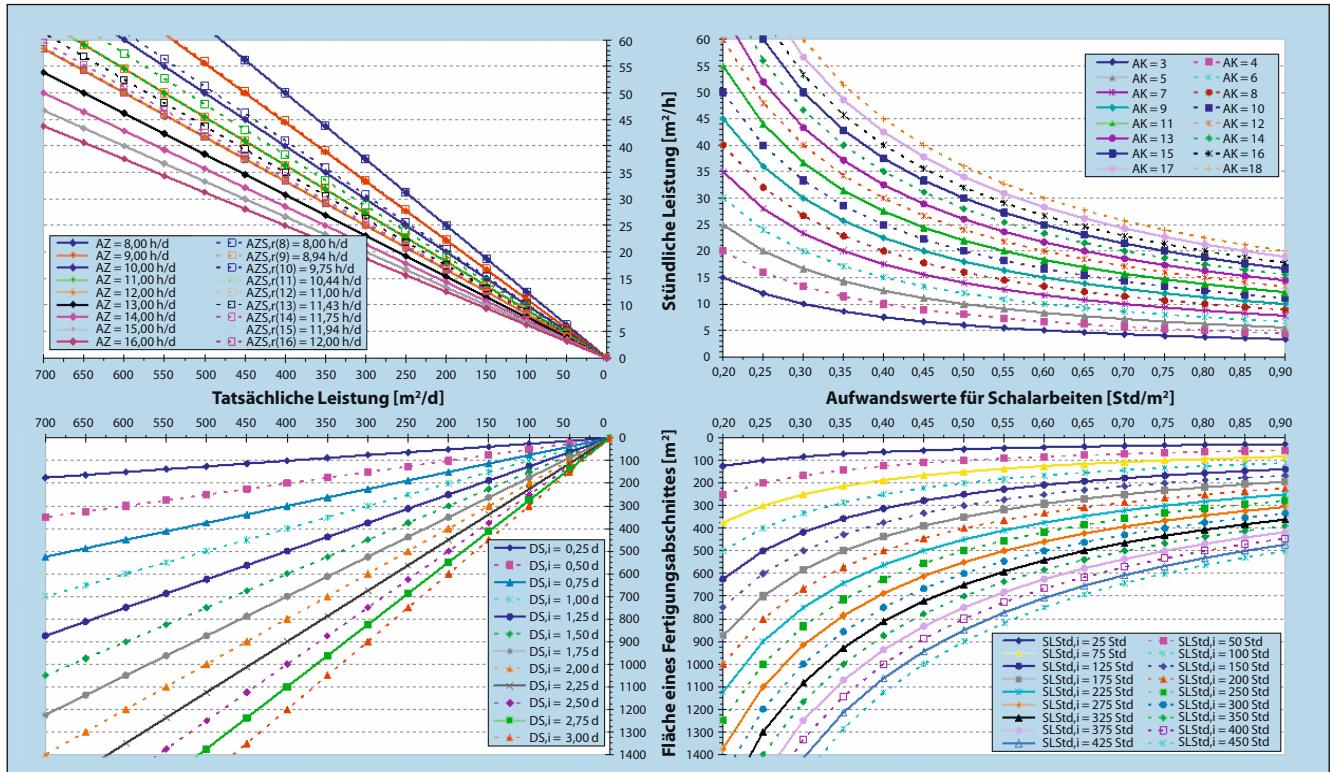


Abb. 2: Interaktionsdiagramm für Stahlbetonarbeiten – Schalarbeiten für Bauwerke – Berücksichtigung von Leistungsverlusten

- ⇒ Stundenleistung [ $m^2/h$ ],
  - ⇒ tägliche Arbeitszeit [h/d],
  - ⇒ tägliche Leistung [ $m^2/d$ ],
  - ⇒ Vorgangsdauer [d],
  - ⇒ Schalfläche eines Fertigungsabschnitts [ $m^2$ ] und
  - ⇒ Summe der Lohnstunden für die Schalarbeiten [Std]
- hergestellt.

Im Folgenden werden die einzelnen Quadranten des Diagramms kurz beschrieben.

Im I. Quadranten sind auf der Abszisse die Aufwandwerte 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. Verschiedene 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 Hofstädler  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Technische Universität Graz  
E-Mail: hofstadler@tugraz.at

# Berücksichtigung der Leistungsverluste bei arbeitsintensiven Tätigkeiten

## Teil 2: Anwendungsbeispiel zur Berücksichtigung der Leistungsverluste



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

### 2.4 Anwendungsbeispiel zum Interaktionsdiagramm

Für ein Bauwerk werden die Schalarbeiten für die Stahlbetondecken - es handelt sich dabei um Flachdecken - betrachtet. Aufgrund von Berechnungen wurde ermittelt, dass die tägliche Arbeitszeit für die restlichen 6 Fertigungsabschnitte auf 12 h/d erhöht werden muss, um entstandene Verzögerungen zu kompensieren. Es wird angenommen, dass die Thematik der Leistungsverluste in der ursprünglichen Berechnung nicht bekannt war.

Für das Beispiel gelten folgende Angaben:

- ⇒ Schalfläche eines Fertigungsabschnitts jeder Geschoßdecke: ca.  $610 \text{ m}^2$
- ⇒ Anzahl der Arbeitskräfte: 10
- ⇒ ursprünglich angesetzte tägliche Arbeitszeit: 9 h/d
- ⇒ angenommener Aufwandswert: 0,25 Std/ $\text{m}^2$
- ⇒ Anzahl der Fertigungsabschnitte je Geschoss: 6

#### Aufgabenstellung:

- a) Ermittlung der Leistungswerte, Dauer und Summe der Lohnstunden, ohne Berücksichtigung der Leistungsverluste (rechnerisch und grafisch).

- b) Ermittlung der täglichen Leistung und der Dauer, nach Berücksichtigung der Leistungsverluste (rechnerisch und grafisch).
- c) Ermittlung des geänderten Aufwandswertes und Summe der Lohnstunden (rechnerisch und grafisch).

#### 2.4.1 Lösung zu b)

##### Rechnerische Lösung

Durch Einsetzen in die bekannten Gleichungen (siehe Teil 1 in [7]) ergeben sich folgende Werte:

- ⇒ stündliche Leistung:  $40 \text{ m}^2/\text{h}$
- ⇒ tägliche Leistung:  $480 \text{ m}^2/\text{d}$
- ⇒ Dauer für den Fertigungsabschnitt: 1,27 d
- ⇒ Summe der Lohnstunden für einen Fertigungsabschnitt: ca. 152,5 Std

##### Grafische Lösung

Die dazu gehörende grafische Lösung ist in Abb. 3 dargestellt. Die Gerade (1) wird im I. Quadranten nach oben eingezeichnet, bis der Schnittpunkt mit der Geraden „AK = 10“ folgt. Durch Einzeichnen der Horizontalen (2) nach links folgt auf der Abszisse die stündliche Leistung mit  $40 \text{ m}^2/\text{h}$ .

Nach Verlängerung der Horizontalen (2) in den II. Quadranten ergibt sich ein Schnittpunkt mit der Geraden „AZ = 12 h/d“. Vom Schnittpunkt wird die Vertikale (3) auf die Abszisse abgetragen, und es folgt die tägliche Leistung mit ca.  $480 \text{ m}^2$ .

Die Schalfläche eines Fertigungsabschnitts beträgt ca.  $610 \text{ m}^2$ . Ausgehend von diesem Wert wird auf der Ordinate des III. Quadranten die Horizontale (4) nach links eingezeichnet. Durch Verlängerung der Geraden (3) ergibt sich ein Schnittpunkt, der auf der Geraden „ $D_{s,i} = 1,25 \text{ d}$ “ liegt. Die Schalarbeiten dauern demnach ca. 1,25 d.

Zur Ermittlung der Summe der Lohnstunden wird im IV. Quadranten bei  $0,25 \text{ Std/m}^2$  die Vertikale (5) nach unten eingezeichnet und mit der Geraden (6) zum Schnitt gebracht. Der Schnittpunkt liegt knapp unterhalb der Kurve „ $S_{Lstd,i} = 150 \text{ Std}$ “.

Die Summe der Lohnstunden ermittelt sich durch grafisches Interpolieren mit ca. 152 Std.

Die laut Angabe gesuchten Werte konnten somit auf einfacherem Wege grafisch ermittelt werden.

#### 2.4.1 Lösung zu b)

##### Rechnerische Lösung

Durch Einsetzen der geplanten Arbeitszeit von 12 Stunden in Glg. 1 folgt die effektive Arbeitszeit mit ca. 11 h/d. Der Leistungsverlust beträgt demnach ca. 8,3 %.

Für die effektive tägliche Arbeitszeit folgt nach Einsetzen in Glg. 4 ca.  $440 \text{ m}^2/\text{d}$ . Bekanntlich beträgt die geplante Dauer ca. 1,27 d. Nach Berücksichtigung der Leistungsverluste erhöht sich die Dauer auf ca. 1,39 d.

##### Grafische Lösung

Die grafische Lösung ist im Interaktionsdiagramm in Abb. 3 dargestellt. Die Leistungsverluste werden in der Darstellung zuerst in der täglichen Leistung berücksichtigt. Im II. Quadranten wird, ausgehend von der stündlichen Leistung von  $40 \text{ m}^2/\text{h}$  die Horizontale (2) nach links verlängert, bis sie auf die Gerade „ $A_{Zs,r(12)} = 11 \text{ h/d}$ “ trifft. Von dort aus wird die Gerade (7) nach unten bis zur Abszisse eingezeichnet. Die tägliche Leistung ist somit mit ca.  $440 \text{ m}^2/\text{d}$  bestimmt.

Vom II. Quadranten ausgehend, wird die Gerade (7) in den III. Quadranten verlängert und mit der Geraden (4) geschnitten. Der Schnittpunkt liegt zwischen den Geraden „ $D_{s,i} = 1,25 \text{ d}$ “ und „ $D_{s,i} = 1,5 \text{ d}$ “. Die gesuchte Dauer beträgt ca. 1,4 d.

#### 2.4.3 Lösung zu c)

##### Rechnerische Lösung

Durch die Leistungsverluste ergeben sich auch Veränderungen im Aufwandswert und in den Lohnstunden. Zur Ermittlung des Anstiegs im Aufwandswert werden die Werte für den geplanten Aufwandswert, die geplante Arbeitszeit und der effektiven täglichen Arbeitszeit in Glg. 5

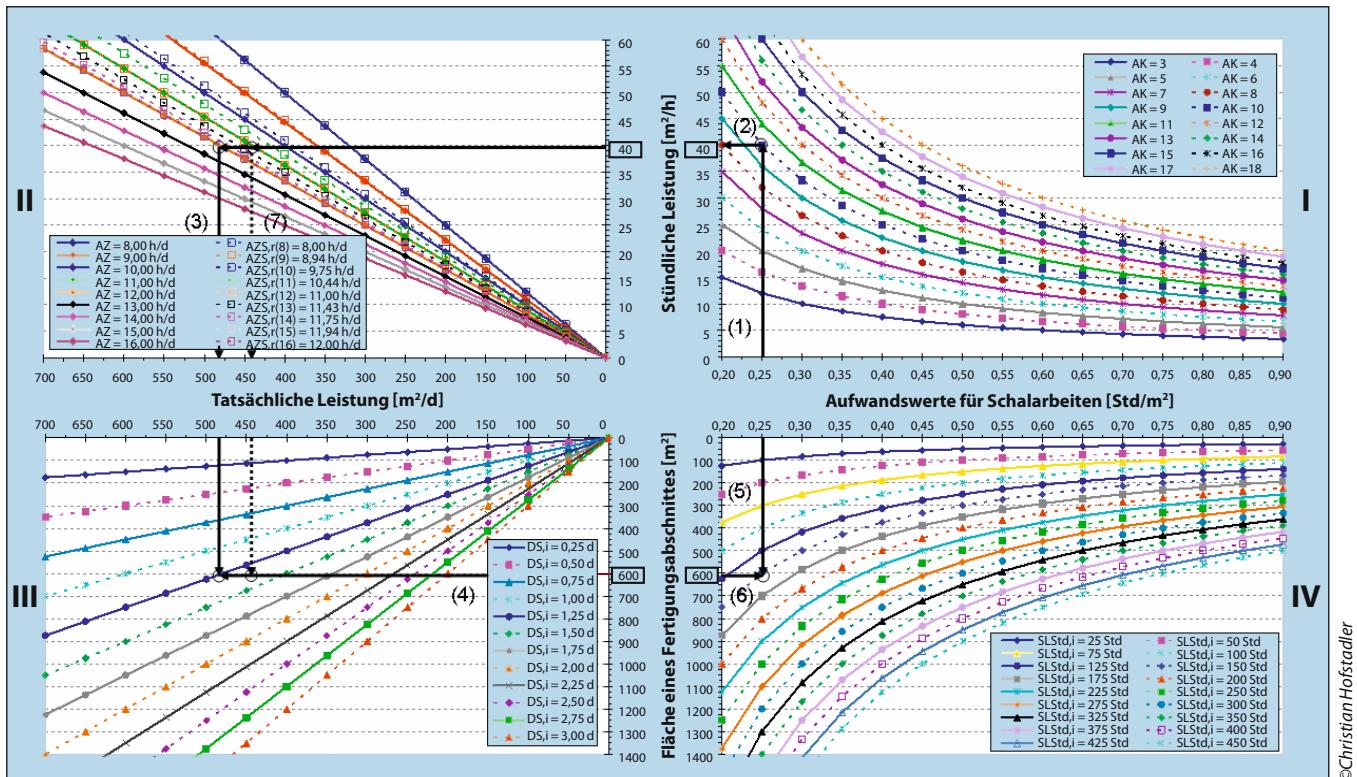


Abb. 3: Interaktionsdiagramm für Stahlbetonarbeiten - Schalarbeiten für Bauwerke - Berücksichtigung von Leistungsverlusten

eingesetzt. Der Aufwandwert steigt demnach um ca. 0,0227 Std/m<sup>2</sup> an.

Insgesamt hat sich der Aufwandwert auf ca. 0,272 Std/m<sup>2</sup> erhöht. Die geänderte Summe der Lohnstunden wird mit der Glg. 9 berechnet. Der Wert ist um ca. 14 Std auf 166 Std gestiegen.

#### Grafische Lösung

Mit einer geringeren täglichen Leistung wird – in der gleichen Dauer – eine geringere Fläche geschalt. Die Dauer für die geplante Leistung beträgt ca. 1,25 d. Zur Ermittlung der in dieser Zeit geschalteten Fläche wird im III. Quadranten die Verlängerung der Geraden (7) mit der Geraden „ $D_{s,i} = 1,25$  d“ geschnitten (siehe Abb. 4). Vom Schnittpunkt wird die Gerade (8) nach rechts eingezeichnet. Auf der Ordinate ergibt sich der neue Wert für die geschaltete Fläche mit ca. 550 m<sup>2</sup>.

Für diese Fläche wurde aber die gleiche Anzahl an Lohnstunden aufgewendet, wie für die ursprünglich geplante Fläche von 610 m<sup>2</sup>. Um diesen Umstand grafisch zur berücksichtigen, wird die Gerade (8) in den IV. Quadranten verlängert, bis sie auf die Kurve mit der entsprechenden Anzahl an Lohnstunden (150 Std) trifft.

Von dort wird die Gerade (9) nach oben eingezeichnet, bis auf der Abszisse der entsprechende Wert für den geänderten Aufwandwert abgelesen werden kann. Der Aufwandwert beträgt demnach ca. 0,27 Std/m<sup>2</sup>.

## 2.5 Reaktion auf den Leistungsverlust

In der Baupraxis werden folgende Möglichkeiten zur Reaktion auf Leistungsverluste angewendet (exemplarische Aufzählung):

- ⇒ Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte (kapazitive Anpassung)
- ⇒ Erhöhung der Anzahl der Geräte (kapazitive Anpassung)
- ⇒ Erhöhung der täglichen Arbeitszeit (Überstunden)
- ⇒ Erhöhung der Produktivität (Arbeitsproduktivität, Betriebsmittelproduktivität, Stoffproduktivität)
- ⇒ Änderungen in der Größe der Fertigungsabschnitte
- ⇒ Änderungen des Bauverfahrens
- ⇒ Änderungen der Logistik
- ⇒ Änderungen des Bauablaufs
- ⇒ Änderung der Bauweise
- ⇒ Parallelarbeit etc.

Die Möglichkeit, Leistungsverluste durch Steigerung der Anzahl der Arbeitskräfte zu kompensieren, wird nachfolgend rechnerisch und dann auch grafisch untersucht.

#### Rechnerische Lösung

Um die geplante Dauer von 1,25 d einzuhalten zu können, muss die Anzahl der Arbeitskräfte gesteigert werden, damit den Leistungsverlusten begegnet werden kann. Dazu wird die Glg. 4 umgeformt, sodass die Anzahl der erforderlichen Arbeitskräfte berechnet werden kann. Durch Einsetzen der entsprechenden Werte erhält man ca. 10,9 AK. Werden für dieses Beispiel 11 AK eingesetzt, wird der Leistungsverlust kompensiert und die geplante Leistung von 480 m<sup>2</sup>/d kann erbracht werden.

Für den Fall, dass die Anzahl der Arbeitskräfte gleich bleibt (AK = 10), ist eine effektive tägliche Arbeitszeit von rund 13 h erforderlich. Mit dem Ansatz von Winter kann dazu kein Wert für die tatsächliche Arbeitszeit berechnet werden. Der Wert liegt jedenfalls über 16 h. Diese Möglichkeit erscheint aus praktischer Sicht äußerst unrealistisch und wird daher ausgeschieden.

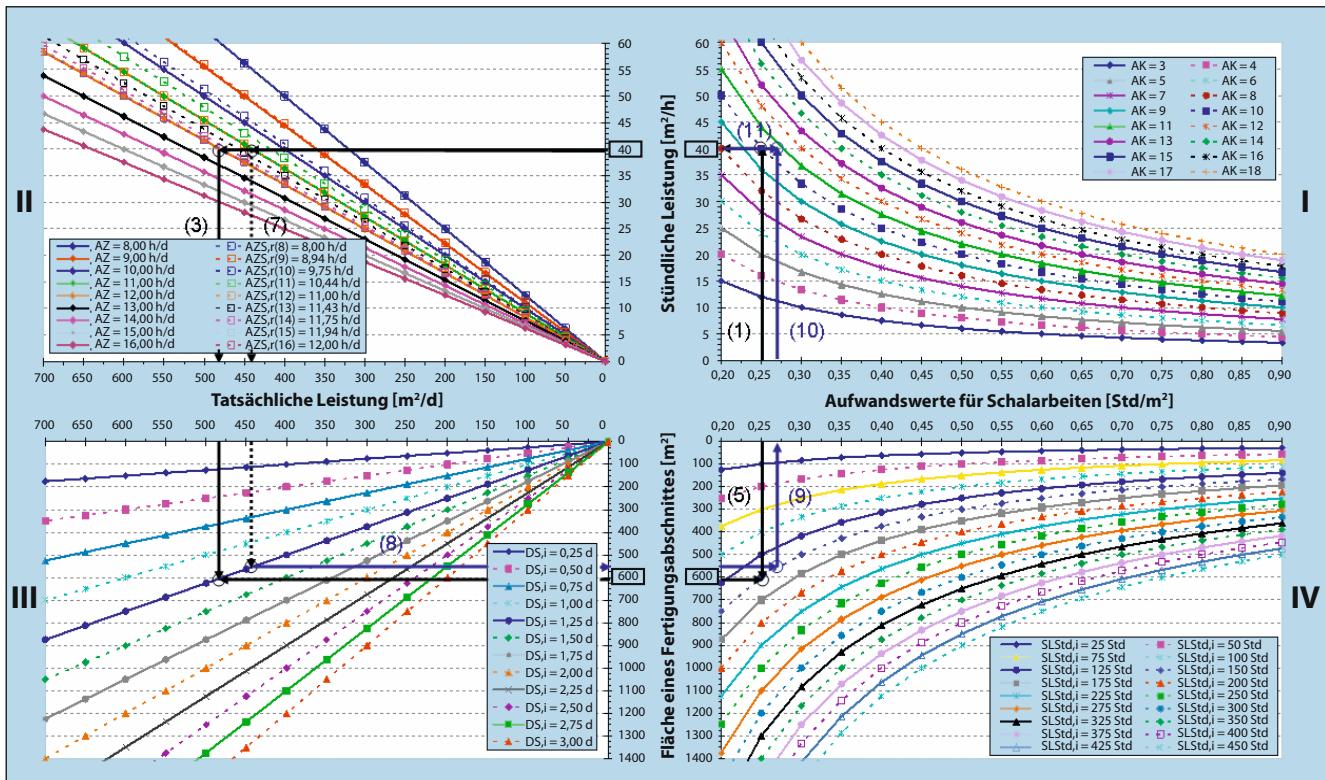


Abb. 4: Interaktionsdiagramm für Stahlbetonarbeiten - Schalarbeiten für Bauwerke - Berücksichtigung von Leistungsverlusten

### Grafische Lösung

Zur Ermittlung der entsprechenden Anzahl an erforderlichen Arbeitskräften wird im I. Quadranten beim Aufwandswert von 0,27 Std/m<sup>2</sup> die Gerade (10) nach oben eingezeichnet (siehe Abb. 4). Gleichzeitig wird bei der stündlichen Leistung von 40 m<sup>2</sup>/h die Horizontale (11) nach rechts eingezeichnet, bis daraus der Schnittpunkt mit (10) folgt. Der Schnittpunkt liegt annähernd auf der Geraden „AZ = 11“. Es sind somit 11 Arbeitskräfte erforderlich, um die geplante Dauer einhalten zu können. Zwischen der rechnerischen und grafischen Lösung gibt es eine sehr gute Übereinstimmung.

Für eine erforderliche effektive Arbeitszeit von 13 h kann hier keine grafische Lösung angeboten werden.

### 3. Zusammenfassung

Die Dauer für das gesamte Bau-Projekt folgt aus der Vernetzung der einzelnen Vorgänge, die am kritischen Weg liegen. Technologische und fertigungstechnische Abhängigkeiten bestimmen die Anordnungsbeziehungen zwischen den einzelnen Vorgängen. Aus dem Quotienten

aus Menge und Leistung folgt die Dauer eines Vorgangs. Der annähernd „richtige“ Ansatz dieser Werte führt auch zu „realistischen“ Vorgangsdauern und schlussendlich zu einer plausiblen Bauzeit.

Bei täglicher Mehrarbeit – mehr als 8 Stunden – ist mit Produktivitätsverlusten in der menschlichen Arbeitsleistung zu rechnen. Winter hat sich in seiner Arbeit u.a. mit der Quantifizierung dieser Leistungsverluste beschäftigt. Sein Ansatz wurde hier gezeigt und angewendet und auch in grafischer Form in einem Interaktionsdiagramm dargestellt. Zu Beginn – bei 8 Stunden Tagesarbeitszeit – sind die Leistungsverluste gleich null. Eine merkliche Zunahme ergibt sich ab der 11-ten Arbeitsstunde. Werte für die effektive Arbeitszeit können bis zur 16-ten Arbeitsstunde berechnet werden.

Die Leistungsverluste wurden in weiterer Folge zur Berechnung von Leistung, Dauer, Summe der Lohnstunden und Höhe des Aufwandswerts herangezogen.

Im Interaktionsdiagramm zur Darstellung der baubetrieblichen Beziehungen für Schalarbeiten wurde der Ansatz ebenfalls aufgenommen. Anhand dieses Diagramms ist es einfach möglich die Aus-

wirkungen der Leistungsverluste grafisch aufzuzeigen (geringe Abweichungen in Abhängigkeit von der Zeichengenauigkeit). Nicht nur Leistungsverluste können dargestellt werden, sondern auch die Änderungen für Aufwandswerte, Lohnstunden und Dauer. Neben der Darstellung der Verluste können Gegensteuerungsmaßnahmen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden.

Anhand eines Beispiels wurden die Berechnungen durchgeführt und das Interaktionsdiagramm angewendet. Das Interaktionsdiagramm eignet sich dabei sehr gut zur übersichtlichen und transparenten Darstellung der baubetrieblichen Zusammenhänge.

**Das Literaturverzeichnis kann bei der Redaktion angefordert werden:**  
E-Mail: [volker.horschig@springer.com](mailto:volker.horschig@springer.com),  
Tel: 05241/80-22 52

### Autorenkontakt

Dipl.-Ing.Dr.techn. Christian Hofstädler  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Technische Universität Graz  
E-Mail: [hofstadler@tugraz.at](mailto:hofstadler@tugraz.at)