

Christian Hofstadler

Das keine Reise- und Übernachtungskosten anfallen. Aufgrund weitläufiger, kurzfristiger Aufwendungen für den Kursanbieter (z.B. Schulungsmaterial, aufwendige Präsentationstechnik sowie Reise und Verpflegung des Lehrers) werden langfristige auch die Kurse führen für eine E-Learning-Veranstaltung deutlich mehr kosten als eine gleichzeitige Konferenz.

**Dipl.-Ing. Dr. techn.**

**Jahrgang: 1967**

**Studium: Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen**

**Tätigkeit: Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Graz (Anfang August 1995 bis Ende März 2001)**

## Herstellung von Stahlbetondecken – Auswirkungen auf die Herstellkosten aufgrund der Variation wesentlicher Parameter<sup>1</sup>

**Im Rahmen der Auftragskalkulation bzw. spätestens in der Arbeitsvorbereitung stellt sich die wesentliche Frage, in wie viele Fertigungsabschnitte Stahlbetondecken für eine wirtschaftliche Herstellung eingeteilt werden sollen.**

**Wie später anhand eines Beispiels gezeigt wird, kann für eine Gesamtdeckenfläche von ca. 26.000 m<sup>2</sup> die Abweichung von der „optimalen“ Anzahl an Fertigungsabschnitten in Kumulation mit einer „falsch“ (zu lang) angesetzten Ausschallfrist zu einer Herstellkostendifferenz von ca. 1,9 Mio. öS bzw. 73 öS/m<sup>2</sup> führen (siehe Abb. 1–4).**

Die Entscheidungsfindung wird unter anderem maßgeblich von den Herstellkosten beeinflusst. Um einen Anhaltspunkt zu erhalten, bei welcher Anzahl an Fertigungsabschnitten das Kostenminimum erzielt wird, sind eine Reihe von Einzeluntersuchungen notwendig. Als Grundlage für diese Untersuchungen gilt es Gleichungen zu formulieren, mit Hilfe derer die Einflüsse auf den Herstellprozess (siehe dazu Abb. 1-1) erfasst werden. Durch die Eingabe der Gleichungen in ein EDV-Programm („OPTIMA“) werden ca. 300 Einflussfaktoren miteinander korreliert.

Die nach der Optimierung vorgeschlagene Lösung kann grundsätzlich nach Abstimmung mit dem Statiker und nach Maßgabe der vorhandenen Ressourcen zur Ausführung freigegeben werden.

### Vorhaltemenge an Schalung und Rüstung

Die richtige Berechnung der Vorhaltemenge ist essentiell für die ausreichende Versorgung des Schalungsprozesses mit Schalung und Rüstung.

Unter Schalung versteht man den eigentlich formgebenden Teil, die „Gußform“, dem tragende Funktionen nur „untergeordnet“ zukommen. Die Aufgabe der Lastübertragung aus der Schalung auf den Untergrund oder auf die darunterliegende Decke übernimmt die Rüstung (z.B. Querträger → Längsträger → Stützen).

<sup>1</sup> Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich auszugswise auf die von mir verfasste Dissertation „Zur exakten Ermittlung der Vorhaltemenge von Schalung und Rüstung für die Herstellung von Stahlbetondecken und die Auswirkungen des Frühausschalens auf Bauzeit und Baukosten“. Betreut wurde die Arbeit von o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Gert Stadler, Vorstand des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Graz bzw. o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lutz Sparowitz, Vorstand des Instituts für Betonbau an der TU Graz.



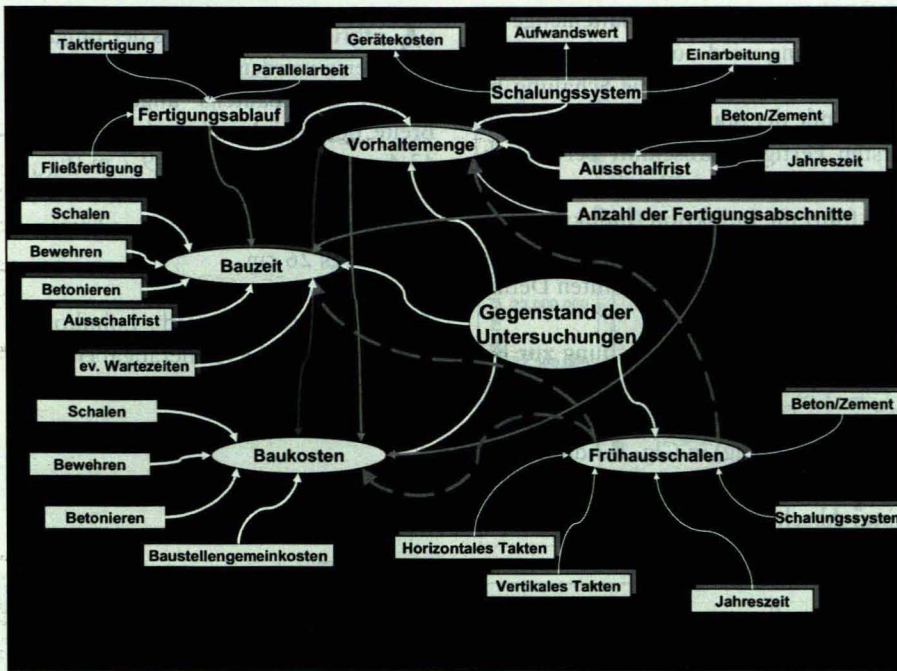
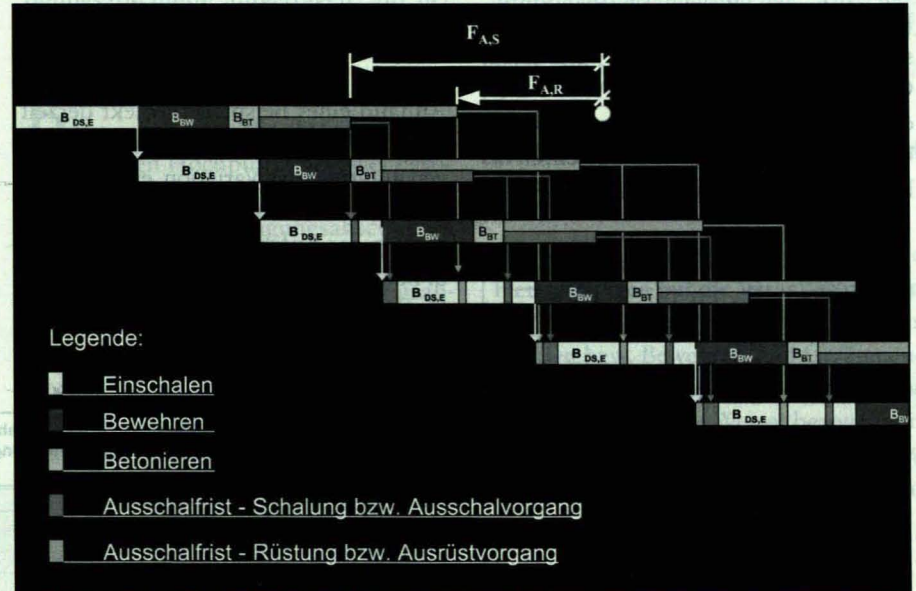


Abb. 1: Einflüsse auf die Herstellung von Stahlbetondecken

Das Diagramm in Abb. 1-3 sind die (Schalung, Bewehrung, Beton u. anteilige Baustellengemeinkosten) dargestellt. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fer-

Abb. 1 zeigt die Einflüsse auf die Herstellung von Stahlbetondecken. Ein zentrales Element 'Gegenstand der Untersuchungen' ist mit 'Vorhaltemenge', 'Bauzeit' und 'Baukosten' verbunden. 'Vorhaltemenge' wird durch 'Schalungssystem', 'Ausschalfrist', 'Anzahl der Fertigungsabschnitte', 'Gerätekosten', 'Aufwandswert', 'Einarbeitung', 'Beton/Zement' und 'Jahreszeit' beeinflusst. 'Bauzeit' wird durch 'Fertigungsablauf', 'Parallelarbeit', 'Fließfertigung', 'Schalen', 'Bewehren', 'Betonieren', 'Ausschalfrist', 'ev. Wartezeiten', 'Schalen', 'Bewehren' und 'Betonieren' beeinflusst. 'Baukosten' wird durch 'Bewehren', 'Betonieren', 'Baustellengemeinkosten', 'Horizontales Takten', 'Vertikales Takten', 'Jahreszeit', 'Frühausschalen', 'Schalungssystem' und 'Beton/Zement' beeinflusst. 'Frühausschalen' wird durch 'Schalungssystem' und 'Jahreszeit' beeinflusst.

Abb. 2: Fertigungsablauf bei Fließfertigung



Zur Berechnung der Vorhaltemenge wurden für Fließ- und Taktfertigung Gleichungen entwickelt. Durch die Art der Formulierung der Gleichungen ist die Möglichkeit gegeben, die Vorhaltemenge für unterschiedliche Ausschalfristen („Mindestunterstellungszeit“ für die Stahlbetondecke) für Schalung und Rüstung getrennt zu berechnen. Dies ist dann erforderlich,

wenn das Schalungssystem einen früheren Ausbau der Schalung (Paneele) ermöglicht. Weiters wurden auch Regelwerke berücksichtigt, in denen unterschiedliche Ausschalfristen für Schalung und Rüstung angeführt sind (z.B. DIN 1045). Als Grundlage zur Entwicklung der Gleichungen für Fließfertigung dient der Fertigungsablauf nach Abb. 1-2.

Berechnet wird die Vorhaltemenge  $V_{F,S}$  [m<sup>2</sup>] für die Schalung nach Glg. 1-1.

$$V_{F,S} = \frac{F_{RG}}{n_{fa}} + L_{S,D,E} * S_{D,S}$$

Glg. 1-1

Zur Berechnung der Vorhaltemenge wurden für Fließ- und Taktfertigung Gleichungen entwickelt. Durch die Art der Formulierung der Gleichungen ist die Möglichkeit gegeben, die Vorhaltemenge für unterschiedliche Ausschalfristen („Mindestunterstellungszeit“ für die Stahlbetondecke) für Schalung und Rüstung getrennt zu berechnen. Dies ist dann erforderlich,

wenn das Schalungssystem einen früheren Ausbau der Schalung (Paneele) ermöglicht. Weiters wurden auch Regelwerke berücksichtigt, in denen unterschiedliche Ausschalfristen für Schalung und Rüstung angeführt sind (z.B. DIN 1045). Als Grundlage zur Entwicklung der Gleichungen für Fließfertigung dient der Fertigungsablauf nach Abb. 1-2.

Berechnet wird die Vorhaltemenge  $V_{F,S}$  [m<sup>2</sup>] für die Schalung nach Glg. 1-1.



Im ersten Term der Glg. 1-1 wird die Fertigungsabschnittsfläche aus dem Quotienten der Regelgeschossfläche  $F_{RG}$  [m<sup>2</sup>] und der Anzahl Fertigungsabschnitte  $n_{fa}$  [-] ermittelt. Im zweiten Term wird die Standzeit  $S_{D,S}$  [d] der Schalung mit der täglichen Einschalleistung (für Schalung und Rüstung)  $L_{S,D,E}$  [m<sup>2</sup>/d] multipliziert.

Mit Standzeit ist jene Zeit gemeint, in der die Schalung im Fertigungsabschnitt gebunden ist (vgl. auch Abb. 1-2) und während dieser Zeit für weitere Einsätze nicht zur Verfügung steht. Die Standzeit der Schalung setzt sich aus der Addition der Zeiten für das Bewehren  $B_{BW}$  [d] und Betonieren  $B_{BT}$  [d], der Ausschallfrist  $T_A$  (in Kalendertage) für die Schalung multipliziert mit dem Reduktionsfaktor ( $\alpha_m$  [-], Umrechnung von Kalendertagen auf Arbeitstage aufgrund des gewählten Arbeitszeitmodells) abzüglich der Anordnungsbeziehung Schalen-Bewehren  $A_{BW}$  [d] und dem Frühausschalen  $F_{A,S}$  [d] zusammen und ist in Glg. 1-2 dargestellt. In der Abb. 1-2 ist die Anordnungsbeziehung zwischen den Teilprozessen Schalen und Bewehren als Normalfolge ausgeführt ( $A_{BW}=0$ ).

$$S_{D,S} = B_{BW} + B_{BT} + \alpha_m * T_A - A_{BW} - F_{A,S}$$

Glg. 1-2

Zur Berechnung der Vorhaltemenge für die Rüstung wird auch die Anzahl der Ausschallvorgänge für die Schalung bis zum Ende der Standzeit der Rüstung im ersten Fertigungsabschnitt berücksichtigt. Aufgrund von Einzeluntersuchungen führt die Induktion (Induktionsfaktor  $i_A$ ) zu vier Gleichungen, jeweils eine Gleichung für einen bestimmten Definitionsbereich.

Exemplarisch ist die Gleichung zur Berechnung der Vorhaltemenge für die Rüstung für einen Definitionsbereich (ohne Abbildung) in Glg. 1-3 dargestellt ( $B_{DS,E}$  [d], Dauer für das Einschalen eines Abschnittes).

$$V_{F,R,A} = \frac{F_{RG}}{n_{fa}} + L_{S,D,E} * \{ B_{BW} + B_{BT} + \alpha_m * T_A - A_{BW} - F_{A,S} + [i_A - 1] * B_{DS,E} \}$$

Glg. 1-3

### Untersuchungen anhand eines Beispiels

Anhand eines Beispiels (Projekt derzeit in Ausführung) werden die Auswirkungen aufgrund der Variation einiger Parameter (wie z.B. Frühausschalen, Veränderung der Aufwandswerte für Schalen u. Bewehren) auf die Vorhaltemenge und Herstellkosten gezeigt.

Aufgrund des Umfangs der Eingabewerte werden hier nur die Abmessungen des Bauteils angeführt. Die Breite der Regelgeschossdecke beträgt 43,4 m und die Länge 149,7 m ( $F_{RG} \approx 6.500$  m<sup>2</sup>). Die Deckenstärken des viergeschossigen Gebäudes betragen durchwegs 26 cm.

Materialkosten und Lohnkosten wurden Herstellerangaben entnommen bzw. mit üblichen Aufwandswerten kalkuliert.

Nicht alle angebotenen Lösungen sind auch praktikabel. Zur Berücksichtigung von z.B. zur Verfügung stehendem Arbeitsraum, vereinbarter Rohbauzeit u. begrenzten Ressourcen sind für die Lösungen Schranken (obere und untere) einzuführen.

Abb. 3:  
Vorhaltemenge an Schalung und Rüstung

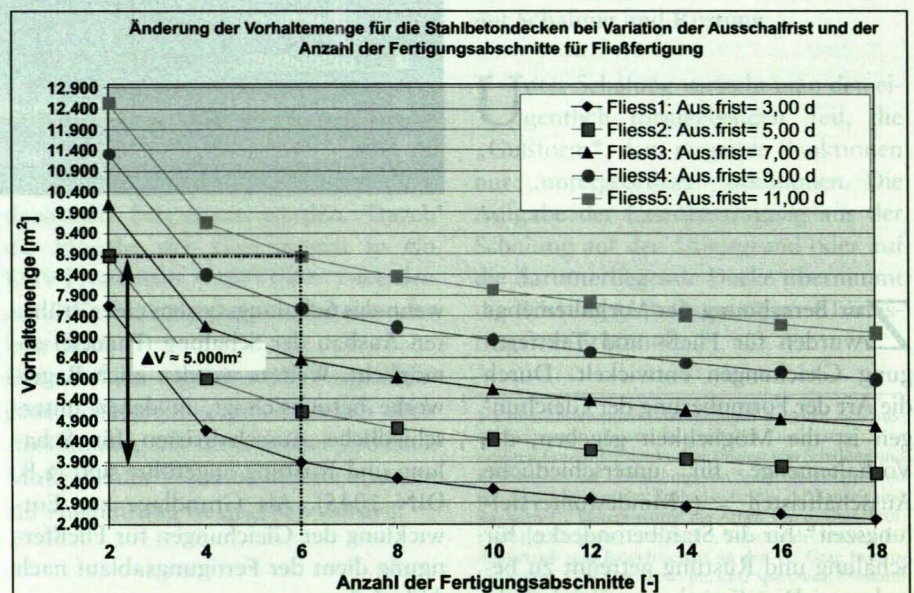
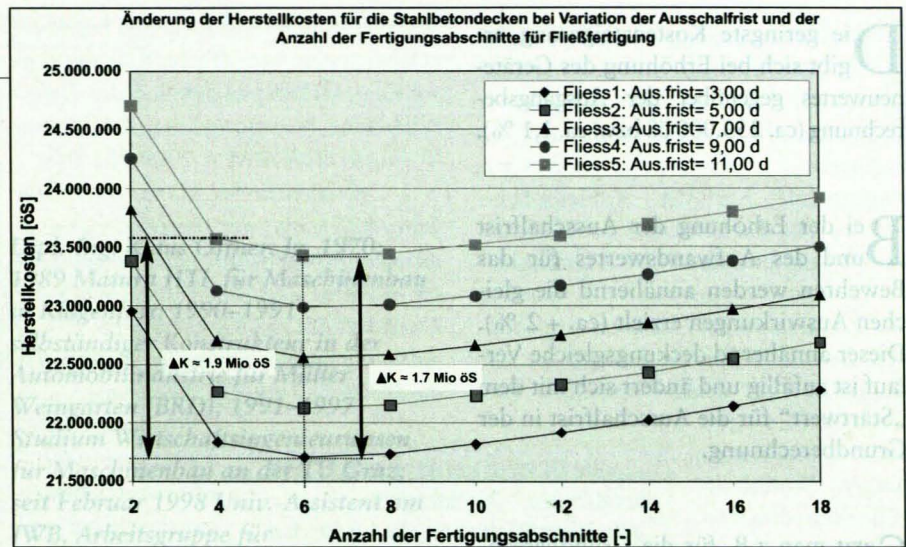




Abb. 4: Herstellkosten der Stahlbetondecken



**Variation der Ausschulfrist – Auswirkungen auf die Vorhaltemenge**

Im Diagramm in Abb. 1-3 sind die Ergebnisse der Einzelberechnungen für die Vorhaltemenge an Schalung u. Rüstung für gleiche Ausschulfrist dargestellt. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte (Schrittweite kann beliebig gewählt werden) und auf der Ordinate die Vorhaltemenge dargestellt.

Mit steigender Zahl an Fertigungsabschnitten verringert sich die Vorhaltemenge und jede Kurve strebt einem spezifischen theoretischen Grenzwert entgegen. In Abb. 1-3 sind aus fünf Berechnungen die Ergebniskurven dargestellt. Der Unterschied zwischen den Kurven ergibt sich aus der Variation der Ausschulfrist (alle anderen Parameter wurden konstant gehalten). Reduziert man die Ausschulfrist von 11 d auf 3 d, vermindert sich die Vorhaltemenge bei z.B. sechs Fertigungsabschnitten um ca. 5.000 m<sup>2</sup>.

**Variation der Ausschulfrist – Auswirkungen auf die Herstellkosten**

Im Diagramm in der Abb. 1-4 sind die Ergebnisse der Einzelberechnungen für

die Herstellkosten der Stahlbetondecken (Schalung, Bewehrung, Beton u. anteilige Baustellengemeinkosten) dargestellt. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Fertigungsabschnitte aufgetragen, auf der Ordinate die Herstellkosten.

Betrachtet man die Kurve „Fließ1“, dann nehmen die Herstellkosten vom lokalen Hochpunkt bei zwei Fertigungsabschnitten bis zum lokalen Minimum bei sechs Fertigungsabschnitten ab und steigen dann wieder mit größer werdender Anzahl an Fertigungsabschnitten. Mit zunehmender Anzahl an Fertigungsabschnitten sinken z.B. die Vorhaltekosten und die Kosten, die sich z.B. aus der größeren Anzahl an Arbeitsfugen ergeben, steigen.

Für die Kurve „Fließ1“ ist es optimal, die Regelgeschossdecken in sechs Fertigungsabschnitte einzuteilen. Die Auswirkungen der Steigerung der Ausschulfrist um jeweils 2 d sind in den restlichen Kurven dargestellt. Bei sechs Fertigungsabschnitten beträgt die Differenz zwischen „Fließ1“ und „Fließ5“ ca. 1,7 Mio. öS. Längere Ausschulfristen ergeben sich z.B. durch tiefere mittlere Tagestemperaturen, die die Erhärtungsentwicklung des Betons beeinflussen und durch niedrigere Beton-/Zementfestigkeitsklassen.

In der Baupraxis kommt es oft vor, dass die Schalung und Rüstung länger als nötig in den Fertigungsabschnitten „eingebaut“ bleibt. Aus dieser unnötigen Verlängerung der „Ausschulfrist“ erhöhen sich, wie in Abb. 1-4 gezeigt, die Herstellkosten deutlich.

**Sensitivitätsanalyse – Auswirkungen auf die Herstellkosten**

Um herauszufinden, wie sensibel die Herstellkosten auf die Veränderung von z.B. Ausschulfrist, Aufwandswert für das Schalen bzw. Bewehren und Geräteneuwert für die Schalung und Rüstung reagieren, wurden die Werte, bezogen auf ihren Ausgangswert, jeweils um 20 % erhöht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abb. 1-5 dargestellt.

Für die Ausgangsberechnung (Kurve „Fließ1“) wurde eine Ausschulfrist von 11 d angesetzt. Bei der Kurve „Fließ2“ wird der Aufwandswert für das Schalen um 20 % erhöht, wobei alle anderen Parameter konstant gehalten werden. Durch diese Veränderung steigen z.B. bei sechs Fertigungsabschnitten (gilt auch für die weiteren Betrachtungen) die Herstellkosten um ca. 970.000 öS (ca. 4,2%).



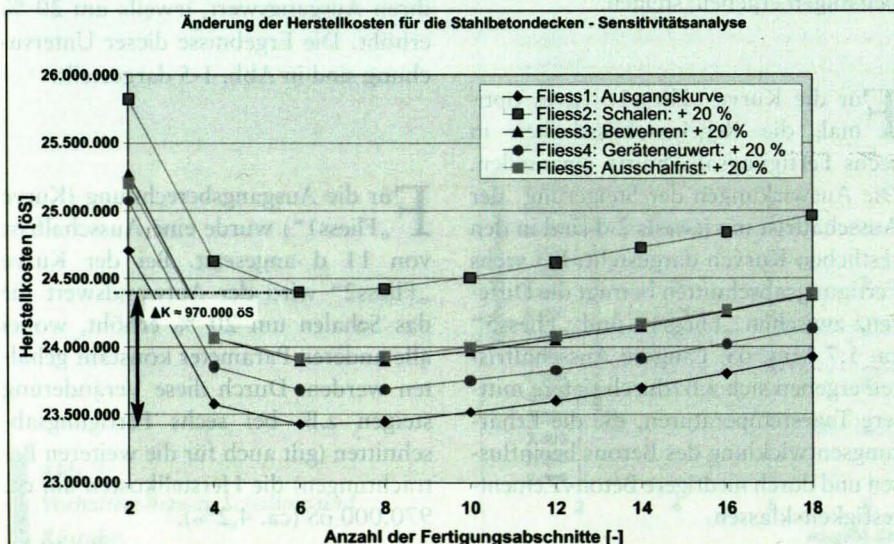
Die geringste Kostensteigerung ergibt sich bei Erhöhung des Geräte-  
neuwertes gegenüber der Ausgangsbe-  
rechnung (ca. 253.000 öS bzw. ca. 1,1 %).

Bei der Erhöhung der Ausschallfrist  
und des Aufwandswertes für das  
Bewehren werden annähernd die glei-  
chen Auswirkungen erzielt (ca. + 2 %).  
Dieser annähernd deckungsgleiche Ver-  
lauf ist zufällig und ändert sich mit dem  
„Startwert“ für die Ausschallfrist in der  
Grundberechnung.

Setzt man z.B. für die Grundberech-  
nung (Kurve „Fließ1“) eine niedri-  
gere Ausschallfrist an (z.B. 3 d), redu-  
ziert sich der Einfluss des Geräte-  
neuwertes auf ca. 0,5 % und jener der Aus-  
schallfrist auf ca. 0,6 %.

Generell hat sich jedoch der Ort des  
lokalen Kostenminimums durch  
die Variationen nicht verändert.

Abb. 5: Veränderung der Herstellkosten bei  
Variation der Parameter um 20 %



## Zusammenfassung

Erst durch Verknüpfung der Gleichungen im EDV-Pogramm „OPTIMA“ ist es möglich, die Einflussfaktoren durch Parameterstudien auf ihre Maßgabe zu überprüfen. Die weiteren Untersuchungen können sich dann auf diese Faktoren konzentrieren.

Durch die transparente Darstellung der Ergebnisse ist es einfach, die lokalen Optima zu finden und Tendenzen durch die Kurvendarstellung abzulesen. Aus den gezeigten Diagrammen geht hervor, das, bedingt durch den flachen Kurvenverlauf im Bereich des lokalen Minimums, auch die Abschnittsanzahlen 4, 5, 7 und 8 in Betracht kommen können. Man sollte sich in vertiefenden Untersuchungen daher auch mit diesen beschäftigen. Die Anpassung an die speziellen Anforderungen des konkreten Projekts ist dann leichter möglich.

Aufgrund der Auftragskalkulation sind die Einheitspreise für die Schal-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten für die Bauausführung vorgegeben. Oft liegen diese Preise, bedingt z.B. durch die Unternehmenspolitik, unter der Kostendeckung und der Bauleiter ist gezwungen, etwaige Defizite durch solche Optimierungen zu kompensieren.

Durch „OPTIMA“ ist die Möglichkeit gegeben, durch Variantenstudien herauszufinden, welche Werte die maßgeblichen Einflussparameter annehmen müssen, um die Einheitspreise aus der Auftragskalkulation zu erreichen bzw. zu unterschreiten.

Wenn man die zusätzlichen Kosten für diese Optimierungen (wurden hier nur teilweise erörtert) mit 50.000 öS veranschlagt, für unser Beispiel bedeutet dies ca. 2 öS/m<sup>2</sup>, wird offensichtlich, dass sich dieser Aufwand im Verhältnis zu den erzielbaren Einsparungen lohnt.