

DISS. ETH Nr. 20225

**PROZESSMODELL FÜR DIE  
OPTIMALE PROJEKTSPEZIFISCHE  
SCHALUNGSSYSTEMAUSWAHL**

ABHANDLUNG  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN  
der  
ETH ZÜRICH

vorgelegt von  
MAX KERSTING  
Dipl.-Ing., TU München  
M.Sc., Plymouth Business School

geboren am  
24. Februar 1976

von  
Olpe, Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von  
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid  
O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl

2012

## Kurzfassung

Der Kosten- und Zeitdruck auf Baustellen erhöht sich kontinuierlich. Um weiterhin als Unternehmen wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es somit notwendig, Optimierungspotenzial in der Bauproduktion zu identifizieren und anschliessend auszuschöpfen. Gerade den Schalungen kommt in diesem Zusammenhang durch ihren hohen Anteil an den Gesamtrohbaukosten eine grosse Bedeutung zu. Die Auswahl des projektspezifisch optimalen Schalungssystems ist ein wichtiges Element auf dem Weg zu einem positiven Projektergebnis.

Bisher wird in der Bauproduktionsplanung die Schalungssystemauswahl in den meisten Fällen auf intuitiver Basis durchgeführt. Persönliche Vorlieben und Erfahrungen aus vergangenen Projekten sind oft die Haupteinflussfaktoren für die Schalungssystemauswahl. Grund dafür ist zum einen der Zeitmangel der Entscheidungsträger zum anderen die fehlende Anwenderfreundlichkeit der bisher existenten Entscheidungshilfen. Den Entscheidungsträgern steht während der Angebotserstellung beziehungsweise bei der Arbeitsvorbereitung nur wenig Zeit zur Verfügung, aufwendige Berechnungen können daher nicht durchgeführt werden. Viele bereits existierende Entscheidungshilfen sind kompliziert und verlangen Einiges an Vorwissen, sie werden daher von den Entscheidungsträgern nicht angenommen.

Aus diesen Gründen wurde in dieser Arbeit ein Prozessmodell entwickelt, mit dem projektspezifisch das optimale Schalungssystem ausgewählt werden kann. Das Prozessmodell besteht aus einem übergeordneten Hauptmodell, dem Schalungsauswahl-Prozess-Modell, und vier darin integrierten Teilmodellen. Diese Teilmodelle sind thematisch voneinander abgegrenzt, diese betreffen die Geometrie, die Arbeitskräfte, die Logistik und schlussendlich die Kosten.

Im ersten Teilmodell werden nach einer qualitativen Vorselektion aus allen projektspezifisch tauglichen Schalungssystemen die möglichen Schalungssystemkombinationen gebildet. Für den nächsten Berechnungsschritt, die geometrische Weg-Zeit-Analyse, werden alle relevanten geometrischen Randbedingungen in die Berechnung integriert. Der bisherige Ansatz basierte auf Aufwandswerten, die aus abgeschlossenen Projekten gewonnen wurden. Somit konnten die projektspezifischen geometrischen Randbedingungen nicht realistisch berücksichtigt werden. Das Endergebnis von Teilmodell 1 ist der theoretische Lohnstundenbedarf aller relevanten Elementarprozesse.

Im zweiten Teilmodell werden die Interaktionen zwischen den Arbeitskräften respektive zwischen den Arbeitsgruppen untersucht. Mit dem Fokus auf die Arbeitseffizienz kann nun detailliert ermittelt werden, welche Auswirkungen die Variation der Arbeitsgruppengrösse hat. Mit Hilfe der modifizierten CYCLONE-Analyse kann eine optimale Arbeitskräfteeinsatzplanung ermittelt werden, die ein Minimum an Wartezeit garan-

tiert. Das Teilmodell 2 fasst am Ende den gesamten realen Lohnstundenverbrauch zusammen.

Im dritten Teilmodell werden die Logistikressourcen auf die Arbeitskräfteeinsatzplanung abgestimmt. Durch kybernetische Schleifen werden die Arbeitskräfteanzahl und die Logistikressourcenplanung optimiert. Diese Analyse erfolgt sowohl für den Rohbau als auch für die Kombination mit dem Ausbau und mit der Fassadenmontage.

Im letzten Teilmodell werden alle schalungsrelevanten Kosten für jede Schalungssystemkombination ermittelt. Die finanziellen Einflüsse aus der Bauzeitveränderung werden ebenfalls berücksichtigt. Durch den Einsatz des genetischen Algorithmus werden die Kostenanalysen weiter optimiert. In einer abschliessenden komparativen Kostenanalyse wird auf Basis des ökonomischen Minimalprinzips das optimale Schalungssystem identifiziert.

Mit diesem Schalungs-Auswahl-Prozess-Modell wird der Anwender Schritt für Schritt durch die Analyse geführt. Dieser strukturierte Ansatz erhöht massgeblich die Anwenderfreundlichkeit. Durch Computerunterstützung kann der Zeitaufwand für die Berechnungen reduziert werden. Das hier vorgestellte Prozessmodell kann daher den Entscheidungsträgern einen deutlichen Mehrwert schaffen.

## Abstract

The cost and time pressure on building sites is growing continuously. If a company is to retain its ability to compete, it must therefore identify and subsequently tap the potential for optimization that construction production offers. Formwork plays an enormously important role in this respect, since it accounts for a large chunk of the overall structural costs. Selecting the best possible formwork system for a specific project is a key step toward ensuring the profitable outcome of the project.

So far, selecting the formwork system during construction production planning has usually been an intuitive process that is influenced primarily by personal preferences and lessons learned from previous projects. This is partly due to the fact that decision makers lack the time, but also because the decision-making aids have so far been short on user friendliness. Decision makers have only limited time available when compiling quotations or preparing the work, and consequently cannot conduct any lengthy and elaborate calculations. Many of the decision-making aids that are currently available are complex and require a certain amount of prior knowledge. They therefore lack acceptance among decision makers.

A process model has therefore been developed in this research project to enable selection of the best possible formwork system for a specific project. The process model comprises a main model – the formwork selection process model – and four integrated sub-models. These sub-models focus on the four specific and separate areas of geometry, labor force, logistics and, finally, costs.

The first sub-model identifies the possible combinations of formwork systems based on a qualitative pre-selection of all suitable formwork systems for a specific project. All of the relevant geometric boundary conditions are integrated into the calculation for the next step – the geometric path-time-analysis. Since the approach to date has been based on costs derived from completed projects, it has not been possible to incorporate the project-specific geometric boundary conditions. Sub-model 1 produces the theoretical wage hour requirements for all of the relevant elementary processes.

The second sub-model examines the interactions between the workers, respectively the groups of workers. Focusing on labor efficiency permits a detailed analysis of the effects of varying the sizes of the work groups. Modified CYCLONE analysis can be used to determine the optimum deployment of the labor force that guarantees minimum idle time. Sub-model 2 produces a summary of the aggregate real wage hour consumption.

The logistics resources are matched to the workforce deployment in the third sub-model. Cybernetic loops are used to optimize the size of the labor force and the planning of the logistics resources. This analysis is performed both for the structure on its own, and in combination with both the interior finish, and the façade erection.

The final sub-model identifies all of the formwork-relevant costs for each combination of formwork systems. It also incorporates the financial impacts from changes in the construction timing. The genetic algorithm is used to further optimize the cost analyses. The best possible formwork system is then identified in a final comparative analysis of the costs, based on the economic minimum principle.

This formwork selection process model guides users step by step through the analysis. This structured approach makes the model much more user friendly. The time needed to perform the calculations can be reduced with the aid of a computer. The process model presented here can therefore generate considerable added value for decision makers.