**Christian Hofstadler**

Dipl.-Ing. Dr. techn.
Jahrgang 1967;
Studium Wirtschaftsingenieurwesen-Bauwesen;
Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
an der TU Graz; Optimierung von Stahlbetonarbeiten –
Sensitivitätsanalyse, Entwicklung von Regelkreissystemen für
Stahlbetonarbeiten

Stahlbetonarbeiten – Optimierung über Regelkreissysteme

Einleitung

Innerhalb der vereinbarten Zeit, in entsprechender Qualität und zu den vereinbarten Preisen sind die ausbedungenen Leistungen zu erbringen. Abweichungen (z.B. in der Qualität, Bauzeit) führen zu Konflikten zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer, die pekuniäre und nachhaltige Auswirkungen für den Auftragnehmer und für das konkrete Projekt haben. Es kann dabei eventuell zu einer Nichtberücksichtigung bei zukünftigen (z.B. durch eine schlechte Bewertung der Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit im Sinne der Vergabe nach dem Vergabegesetz etc.) Projekten führen.

der Produktion im Freien, einer Vielzahl von inhärenten und äußeren Störeinflüssen. Äußere Störeinflüsse wie z.B. tiefe Temperaturen (z.B. außergewöhnlich lang anhaltende Kälteperiode für die betrachtete Jahreszeit) oder Planungsverzug und inhärente Störeinflüsse (z.B. Abstimmung der einzelnen Teilprozesse aufeinander) können, bedingt durch den geänderten Bauablauf und/oder geänderte Ressourcennutzung, zu höheren Herstellkosten führen.

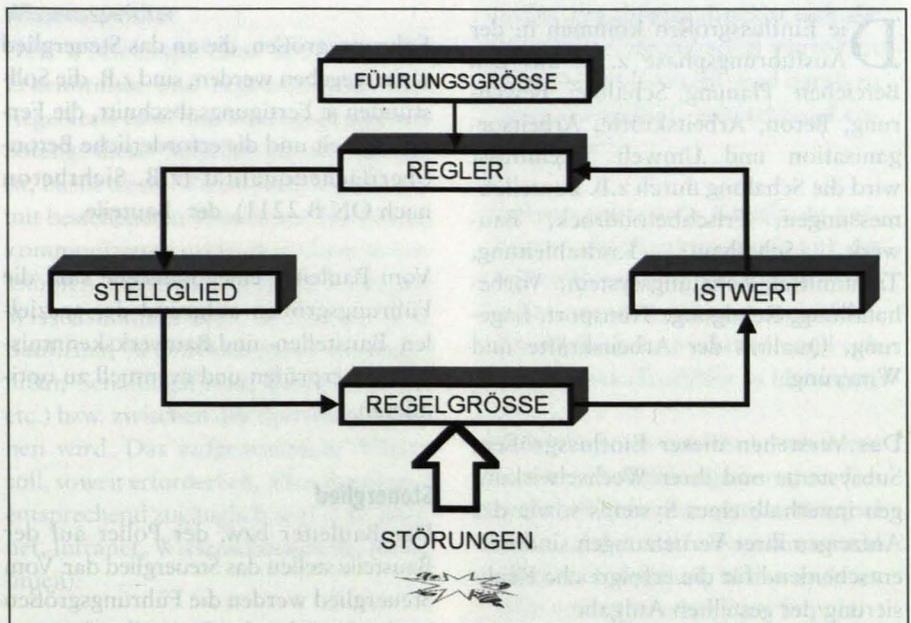
Für die einzelnen Teilprozesse wie z. B. Schalungsarbeiten, Bewehrungsarbeiten und Betonarbeiten gilt es Regelkreise zu bilden, die miteinander vernetzt sind, um die gestellten Aufgaben nach den Vorgaben (Führungsgrößen) zu erfüllen. Der Regelkreis soll kein autoritäres System sein, sondern

gibt Impulse zur Selbstregulation vor. Gelebt wird das System von Menschen, die es durch die Weitergabe von mehr oder weniger Informationen positiv oder negativ beeinflussen.

Regelkreis

Unter einem Regelkreis (siehe Abb. 1) versteht man nach Frederic Vester: „einen in sich geschlossenen Informationskreislauf, der Abweichungen von einem so genannten Sollwert durch Rückkoppelung (Feedback) selbst regelt.“ Das Führungsglied (Mensch), das Entscheidungsbefugnisse hinsichtlich der Aufgabenstellung, der Leistungsvorgaben und Korrekturmaßnahmen besitzt, gibt an den Regler Sollwerte vor. Der Regler steuert den Verfahrensablauf. Vom Regler gehen spezielle Anweisungen an die Regelgröße aus.

Abb. 1: Regelkreis – allgemein
Stahlbetonarbeiten – Regelkreis für
Schararbeiten



Der Sollwert kann selbst veränderlich sein, indem er zum Beispiel die Regelgröße eines anderen Regelkreises ist. Diese Regelgröße wiederum mag der Stellwert eines dritten Regelkreises sein und dieser vielleicht Störgröße eines weiteren. So gibt es in Wirklichkeit nie isolierte, abgeschlossene Regelkreise, sondern

„Stahlbetonarbeiten stellen ein komplexes System dar, das durch viele verschiedene Einflussgrößen, relativ starke Vernetzung und dynamische Wechselwirkungen gekennzeichnet ist.“

immer nur miteinander in Wechselbeziehung stehende offene, dynamische Systeme von mehreren vernetzten Regelkreisen, de-ren Sollwerte voneinander abhängen.

Stahlbetonarbeiten – Regelkreis für Schararbeiten
Die Vernetzung ergibt sich z.B. aus den Stoffeigenschaften (selbstverdichtender

Beton erfordert eine dichte, steifere Schalung), dem Arbeitsablauf (Ausschalfrist, Arbeitsfugen, Ablaufmodell) und Vorschriften (Sicherheitsbestimmungen, Ausschalfrist, Oberflächenqualität). Die Dynamik resultiert z.B. aus einer Planungsänderung, die eine geänderte Schalungskonstruktion oder einen geänderten Bauablauf erforderlich macht. Oft führen die angetroffenen Baugrundverhältnisse zu geänderten Bauverfahren bzw. Bauzeitverzögerungen.

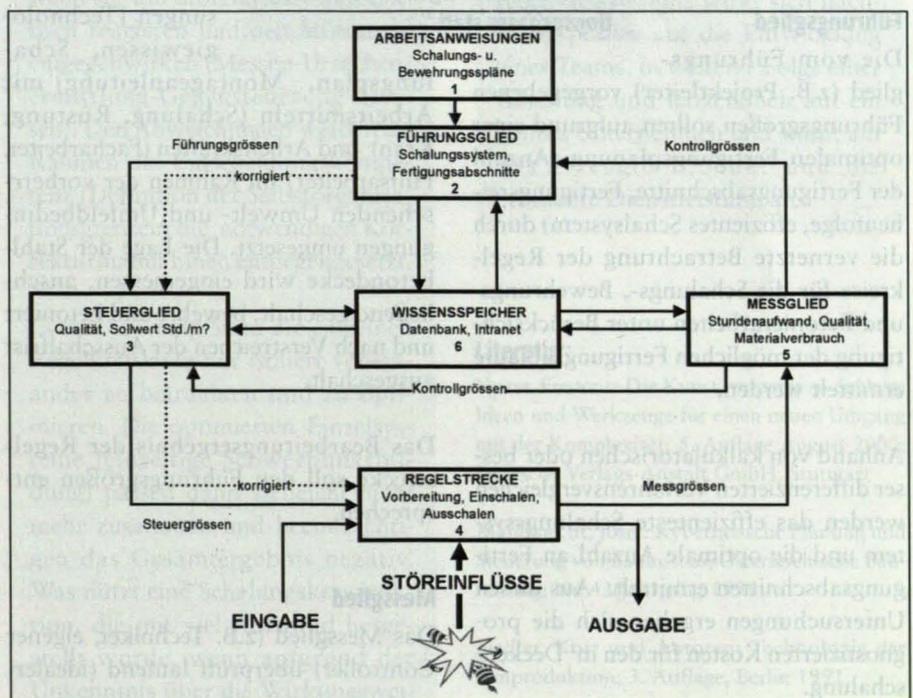


Abb. 2: Regelkreis – Schararbeiten

Die Einflussgrößen kommen in der Ausführungsphase z. B. aus den Bereichen Planung, Schalung, Bewehrung, Beton, Arbeitskräfte, Arbeitsorganisation und Umwelt. Beeinflusst wird die Schalung durch z.B. Bauteilabmessungen, Frischbetondruck, Bauwerk, Schalhaut, Kraftableitung, Trennmittel, Schalungssystem, Vorbehandlung, Reinigung, Transport, Lagerung, Qualität der Arbeitskräfte und Witterung.

Das Verstehen dieser Einflussgrößen, Subsysteme und ihrer Wechselwirkungen innerhalb eines Systems sowie das Aufzeigen ihrer Vernetzungen sind mitentscheidend für die erfolgreiche Realisierung der gestellten Aufgabe.

Bei Stahlbetonarbeiten auf der Baustelle werden z.B. Stützen, Wände oder Decken aus Ort beton hergestellt. Die einzelnen Teilprozesse Schalen, Bewehren und Betonieren können als Regelkreise betrachtet werden, welche miteinander verknüpft sind. Für die folgenden Betrachtungen werden die Schalungsarbeiten für eine Stahlbetondecke als Regelkreise dargestellt (siehe Abb. 2).

Führungsglied

Die vom Führungsglied (z.B. Projektleiter) vorgegebenen Führungsgrößen sollten aufgrund einer optimalen Fertigungsplanung (Anzahl der Fertigungsabschnitte, Fertigungsreihenfolge, effizientes Schalsystem) durch die vernetzte Betrachtung der Regelkreise für die Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten unter Berücksichtigung der möglichen Fertigungsabläufe ermittelt werden.

Anhand von kalkulatorischen oder besser differenzierten Verfahrensvergleichen werden das effizienteste Schalungssystem und die optimale Anzahl an Fertigungsabschnitten ermittelt. Aus diesen Untersuchungen ergeben sich die prognostizierten Kosten für den m² Deckenschalung.

Führungsgrößen, die an das Steuerglied weitergegeben werden, sind z.B. die Sollstunden je Fertigungsabschnitt, die Fertigungszeit und die erforderliche Betonoberflächenqualität (z.B. Sichtbeton nach ON B 2211) der Bauteile.

Vom Bauleiter einer Baustelle sind die Führungsgrößen aufgrund der speziellen Baustellen- und Bauwerkskenntnisse zu überprüfen und eventuell zu optimieren.

Steuerglied

Der Bauleiter bzw. der Polier auf der Baustelle stellen das Steuerglied dar. Vom Steuerglied werden die Führungsgrößen in die Sprache der Baustelle übersetzt und an die Regelstrecke weitergeleitet (Steuergrößen). Die Arbeitsanweisungen sollten alle Angaben enthalten, welche für die Erfüllung der gestellten Aufgabe notwendig sind. Der Polier auf der Baustelle teilt die Arbeitskräfte für die Regelstrecke ein.

Regelstrecke

In der Regelstrecke werden die Anweisungen (Technologiewissen, Schalungsplan, Montageanleitung) mit

Arbeitsmitteln (Schalung, Rüstung, Kran) und Arbeitskräften (Facharbeiter, Hilfsarbeiter) im Rahmen der vorherrschenden Umwelt- und Umfeldbedingungen umgesetzt. Die Lage der Stahlbetondecke wird eingemessen, anschließend geschalt, bewehrt und betoniert und nach Verstreichen der Ausschallfrist ausgeschalt.

Das Bearbeitungsergebnis der Regelstrecke soll den Führungsgrößen entsprechen.

Messglied

Das Messglied (z.B. Techniker, eigener Controller) überprüft laufend (idealerweise),

inwieweit die qualitativen und quantitativen Sollvorgaben mit den Istwerten übereinstimmen.

Wichtig sind die vorherige Festlegung der Messgrößen, Messmethoden und die Art des Informationsflusses. Gemessen werden z. B. der Stundenaufwand für verschiedene Teilleistungen, Gerätekosten, Menge und Qualität (Farbgleichheit, Porosität und Struktur der Betonoberfläche, Ebenheit) der zu erbringenden Leistung. Die Messintervalle sind so zu wählen, dass Abweichungen bzw. Störeinflüsse so rasch erkannt werden, dass im System die entsprechenden Korrekturmaßnahmen gesetzt werden. Bei Unterteilung von Stahlbetondecken in Fertigungsabschnitte werden z. B. die verbrauchten Lohnstunden, die Herstellzeit und die Qualität für den jeweiligen Abschnitt gemessen. Auf Abweichungen kann damit bereits im nächsten Fertigungsabschnitt reagiert werden (z. B. Forcierungsmaßnahmen).

Teilweise erfassen Baufirmen Istwerte erst im Nachhinein, wenn z.B. die gesamte Leistung bereits erbracht wurde. Der große Nachteil bei dieser Vorgehensweise besteht darin, dass auf den speziellen Regelkreis nicht mehr eingegangen werden kann. Störungen können nicht behoben werden. Der einzige Vorteil besteht darin, die „teuer“ gemachten Erfahrungen für zukünftige Projekte (Regelkreise) zu nutzen.

Die Abweichungen in der Zielerreichung werden durch Störeinflüsse hervorgerufen und sind inhärent oder extern.

Störeinflüsse haben ihren Ursprung in:

1. der Arbeitskraft (z.B. Ausbildung, Motivation)
2. der Arbeitsanweisung (z.B. Planung, Arbeitsvorbereitung, Arbeitsanweisung auf der Baustelle)
3. dem Arbeitsgegenstand (z.B. Be- bzw. Verarbeitbarkeit, Transportierbarkeit, Lagerfähigkeit)
4. dem Arbeitsmittel (z.B. Werkzeuge,

„Die Regelstrecke stellt den Hauptbestandteil des Regelkreises dar. Hier findet der eigentliche Produktionsprozess statt.“

verstehen man nach Fredric Wester: onkreislau der Abweichungen von Feedback) selbst

der Zeit- der Verfall

der Verfall

der Verfall

der Verfall

der Verfall

- Geräte und Maschinen),
- 5. der Umwelt (z.B. Klima, Baugrund, Umfeld usw.).

Durch in den Regelkreisen geplante Mechanismen ist darauf zu reagieren.

Wenn z.B. die Soll-Stundenvorgabe für das Ein- und Ausschalen der Stahlbetondecke nicht erreicht wird, sind Störungen aufgetreten bzw. wurden falsche Führungsgrößen (z.B. nicht erreichter Einarbeitungseffekt, Einteilung der Fertigungsabschnitte, Anzahl der Krane) bzw. Steuergrößen (z.B. Verhältnis Hilfsarbeiter zu Facharbeiter, unzureichende Schalungsvorbereitung) vorgegeben.

Mögliche Gründe:

- Qualitative Zusammensetzung der Mannschaft – z.B. Verhältnis Hilfsarbeiter zu Facharbeiter
- Quantitative Zusammensetzung der Mannschaft – z.B. zu wenig Arbeitskräfte oder zu viel Arbeitskräfte für den zur Verfügung stehenden Arbeitsraum (gegenseitige Behinderung)
- Komplizierte Bauteilgeometrie – z.B. in der Arbeitsvorbereitung übersehen oder falsch bewertet
- Vorleistungen nicht rechtzeitig erbracht – z.B. vertikale Tragglieder nicht rechtzeitig fertig oder Einbauleistung für die Bewehrung zu gering
- Witterungsverhältnisse – z.B. geringere Arbeitsleistung bei kalter Witterung oder länger anhaltender Regenperiode
- Mangelnde Arbeitsvorbereitung – z.B. zu geringe Krankapazität
- Zu wenig Schalung auf der Baustelle – z.B. Fehler in der Arbeitsvorbereitung
- Verzögerte Planlieferungen bzw. mangelhafte Pläne etc. – z.B. gestörte Planungs- und Koordinationsarbeit

Sind die Gründe gefunden, können im Rahmen der jeweiligen Entscheidungskompetenz die geeigneten Gegenmaßnahmen gesetzt werden. Die angeführten Störeinflüsse treten meist in Kombination auf, was die Erkennung derselben und das Setzen von Korrekturmaßnahmen erschwert.

Wissensspeicher

Der Wissensspeicher speichert die Erkenntnisse und Ergebnisse aus dem Regelkreis bzw. aus Vorangegangenen. Solange dieser Speicher nur ein Mensch ist, bleibt dieses Wissen isoliert und kann mit bestehendem Wissen nur beschränkt kommunizieren und sich zu Neuem verknüpfen. Entscheidend ist die Form, wie Wissensmanagement im System (z.B. Baufirma, Architekturbüro, Zivilingenieur, Schalungsfirma, Betonhersteller etc.) bzw. zwischen den Systemen betrieben wird. Das aufgenommene Wissen soll, soweit erforderlich, allen Beteiligten entsprechend zugänglich sein (z.B. Internet, Intranet, Wissensdatenbank, Richtlinien).

Zusammenfassung

Durch Einführung von Regelkreissystemen wird der Produktionsprozess verbessert. Bei der Herstellung von Sichtbeton z.B. sind aufgrund der Installationen von Regelkreisen keine kostenintensiven Nacharbeiten mehr erforderlich bzw. Aufzahlungspositionen für Erschwernisse werden nicht gestrichen.

Regelkreise funktionieren dann, wenn sie auf Störeinflüsse automatisch reagieren und den Störungen entgegenwirken (Messen-Ursachenermittlung-Gegensteuerung-Messen). Den Abweichungen werden im Rahmen der Entscheidungskompetenz (Definition der Selbstorganisationsgrenzen) die notwendigen Korrekturmaßnahmen entgegengesetzt.

Es macht wenig Sinn, die einzelnen Regelkreisläufe nur isoliert voneinander zu betrachten und zu optimieren. Die optimierten Einzelsysteme (einseitige Schwerpunktbildung) passen dann vielleicht nicht mehr zusammen und beeinträchtigen das Gesamtergebnis negativ. Was nützt eine Schalungskonstruktion, die mit viel Aufwand hergestellt wurde, wenn aufgrund der Unkenntnis über die Wirkungswei-

se des Frischbetondruckes sich die Schalung unzulässig verformt (Ebenheitstoleranzen) und damit zu einer mangelhaft erbrachten Leistung führt?

Selbstregulierende Kreisläufe verkürzen die Reaktionszeit auf die Störeinflüsse. Die beteiligten Menschen werden ständig motiviert, Abweichungen zu erkennen und sich Korrekturmaßnahmen zu überlegen.

Gelebt muss es von oben nach unten werden. Die Führungsebene, der Firmenchef geht mit gutem Beispiel voran, „lebt“ solche Regelkreise und gibt der Umsetzung in den anderen Ebenen den notwendigen Impuls.

Um den Nachteilen der Vergangenheitsbezogenheit und der Trägheit (bedingt durch die Zeit zwischen dem Erkennen der Abweichung bis zur Wirkung der Korrekturmaßnahmen) der Regelkreise zu begegnen, wäre es ideal, wenn Störungen schon im Ansatz erkannt und entsprechende Gegensteuerungsmaßnahmen getroffen werden.

Der Nutzen der Einführung solcher Regelkreissysteme wirkt sich nachhaltig positiv auf die Entwicklung eines Teams, in weiterer Folge einer Abteilung und letztendlich auf ein ganzes Unternehmen und somit auf das erzeugte Produkt und die erbrachte Dienstleistung aus.

Literatur:

Vester, Frederic: Die Kunst, vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit der Komplexität; 5. Auflage August 2000; Deutsche Verlags-Anstalt GmbH, Stuttgart

Mahlknecht, Josef: Kybernetische Planung und Steuerung von Baukosten; Österreichische Bauzeitung; Nr. 43/Jahrgang 1991

Fiedler, Kurt und Autoren: Technologie der Bauproduktion; 3. Auflage, Berlin 1991