

Bauproduktionstheorie – Bauproduktionsprozessplanung und -steuerung

G. Girmscheid

36

Bauproduktion • Bauproduktionsprozess • Bauproduktionssteuerung

Zusammenfassung Aufbauend auf der generisch-axiomatischen Bauproduktionstheorie werden in diesem Beitrag der Prozessablauf der Bauproduktionsplanung und -steuerung sowie das systematische, methodische Vorgehen zur Auswahl der Bauverfahren und der Gestaltung des konstruktivistischen Bauproduktionsprozesses dargestellt. Nur durch eine „top down“-Basisbauproduktionsplanung und eine „bottom up“-Organisation des Arbeitsprozesses lässt sich das angestrebte ökonomische Minimalprinzip mittels eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) erreichen. Damit wird eine ziel- und ergebnisorientierte Bauproduktionssteuerung für eine gewinnorientierte Unternehmensführung erreicht.

Construction Production Theory – Planning and Control of the Construction Production Process

Abstract Based on the generic-axiomatic construction production theory, this paper shows the process chain of the construction production planning and control as well as the systematic, methodical procedure to choose the construction method and to design the constructivist construction production process. Only by means of a top down basis production planning and a bottom up organisation of the work process, the economic minimum principle can be reached via a continuous improvement process. Thus, a target- and result-oriented construction production control for a profit oriented management will be achieved.

1 Einleitung

Die Abkehr der Praxis von der fast rein intuitiven Bauprozessgestaltung zur systematisch-kybernetisch gesteuerten Bauproduktionsplanung und -steuerung ist unumgänglich, wenn man die vielen Baustellen mit negativen Gewinnen und die ungenutzten Potenziale betrachtet. Aufbauend auf dem Entwurf einer Bauproduktionstheorie [1] und der axiomatischen funktionalen Strukturierung [2] soll in diesem Beitrag die Konzeptionalisierung im Rahmen der Bauproduktionsplanung und -steuerung dargestellt werden. Das Ziel ist es, der Praxis einen konstruktivistischen, systematischen Prozessablauf aufzuzeigen, wie man zielorientiert aus verschiedenen technisch möglichen Bauverfahren die opti-

malen Bauverfahren selektiert und die Ressourcen integriert, die einen Bauproduktionsprozess nach dem ökonomischen Minimalprinzip ergeben. Es wird der „top down“-Basisbauproduktionsprozess sowie der „bottom up“-organisierte Bauproduktionssteuerungs- und -umsetzungsprozess holistisch dargestellt. Diese konstruktivistische Modellierung des projektspezifischen Bauproduktionsplanungs- und -steuerungsprozesses baut auf den axiomatischen Grundsätzen der Bauproduktionstheorie [1], [2] auf und validiert sie aufgrund des Nachweises, dass die intendierte Wirkung der Ziel-Mittelbeziehung in einem Prozessmodell abgebildet werden kann. Dabei wird das Einbringen der praktischen Erfahrung weiterhin unabdingbar sein. Nur die Kombination von wissenschaftlich begründeter Systematik und theoretischen Zielvorgaben, verbunden mit praktischer Erfahrung, werden zur optimalen Zielerreichung führen, denn Erfahrung ist nicht kodifiziertes praktisches Wissen; somit werden praktisches und theoretisches Wissen zielorientiert zusammengeführt.

2 Anwendung der Bauproduktionstheorie – Bauproduktionsprozessplanung

Die Realisierung einer Bauaufgabe findet in zwei unterschiedlichen Bearbeitungsstadien statt [3].

- Planungsprozess/Planungsphase –
Gestaltung des Bauwerks
- Bauproduktionsprozess/Ausführungsphase –
Herstellung des Bauwerks

Der Planungsprozess beinhaltet den immateriellen Entwurf und die technische Planung, um die Idee des Bauherrn realisierbar zu machen, und berücksichtigt dessen Vorstellungen hinsichtlich Funktionserfüllung und Ästhetik sowie die örtlichen und räumlichen Gegebenheiten.

Der Bauproduktionsprozess (Herstellungsprozess) dient der Realisierung (Materialisierung) der Planung (immaterielle, integrative, interaktive Phase) unter Einsatz baubetrieblicher Produktionsmittel mit dem Ziel, die gewünschte Qualität in der vorgegebenen Zeit mit einem Minimum an Kosten in dem jeweiligen Unternehmen zu erreichen. Zu dieser Aufgabe gehören die Produktionsplanung und die Ausführung des Herstellungsprozesses [4].

Der Planungs- und der Bauproduktionsprozess sind je nach Bauwerk in unterschiedlichem Maß voneinander abhängig. So steht im Hochbau im Allgemeinen die Gestaltung im Vordergrund, während im Tiefbau oder Brückenbau die Bauwerksgestalt in starkem Maß durch die Möglichkeit der Herstellung beeinflusst wird. Da im Bauwesen im Allgemeinen keine Serien- oder Massenproduktion, sondern eine Einzelherstellung stattfindet, hat die auftragsabhängige, objektgebundene Produktionsplanung der Baudurchführung für die Wirtschaftlichkeit der Ausführung eine ausschlaggebende Bedeutung. Sie legt fest,

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid

M.ASCE, John O. Bickel Award 2004 und 2005
Professor für Bauprozess- und Bauunternehmensmanagement
Vorsteher Institut für Bauplanung und Baubetrieb
ETH Zürich
CH – 8093 Zürich
girmscheid@ibb.baug.ethz.ch
Tel. (+41) 44 633 3787
Fax (+41) 44 633 1088

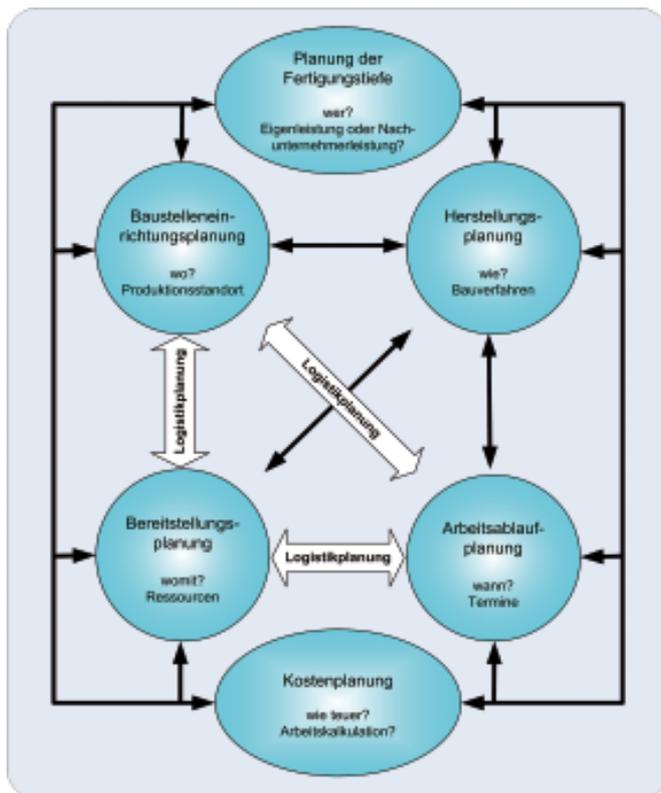


Bild 1. Planung des Ausführungsprozesses
Fig. 1. Planning of the execution process

- wie das Objekt ausgeführt werden soll,
- welche Produktionsmittel hierbei einzusetzen sind,
- in welcher Arbeitsfolge der Bauablauf durchgeführt werden soll.

Die Planung des Bauproduktionsprozesses [2] geschieht durch die Herstellungsplanung für die gewählten Bauverfahren, die Bereitstellungsplanung, die Arbeitsablaufplanung und den Baustelleneinrichtungsplan, die durch logistische Prozesse unterstützt werden (Bild 1). Diese vier Planungsaufgaben können nicht losgelöst voneinander ausgeführt werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. So setzt die Planung einer Baustelleneinrichtung die Kenntnis der anzuwendenden Fertigungs- bzw. Bauverfahren voraus, da diese für die maschinelle Ausstattung und Betriebsmittel der Baustelle ebenso wie für den zu erwartenden Personaleinsatz maßgebend sind. Von der Ausstattung der Baustelle hängt dann aber wieder die Ablaufplanung ab [4]. Somit steht die Bauverfahrenstechnik an zentraler Stelle bei der Planung des Bauproduktions- bzw. Herstellungsprozesses (Bild 1).

Im Bauwesen wird der Bauproduktionsprozess durch die Bauverfahren in Bezug auf den Einsatz und die Kombination von Produktionsfaktoren (Menschen, Maschinen, Geräte, Werkzeuge, Vorrichtungen, Know-how, Informationen) zur Be- und Verarbeitung von Baustoffen festgelegt. Im Rahmen des Bauproduktionsprozesses wird der Input durch einen informationstechnisch getriebenen, technologischen Transformationsprozess in einen Output umgewandelt. Dabei entsteht der Wert, für den der Kunde einen vereinbarten Preis zahlt. Um die Bauaufgabe zu verwirklichen, ist eine Reihe von Teilaufgaben zu erfüllen, die wiederum in einzelne Prozesse und Einzelvorgänge (Elementarprozesse) gegliedert sind.

Die Bauproduktionsplanung [2] findet jeweils in drei Stadien des Bauprozesses statt (Bild 2). Bei größeren Projekten muss der Unternehmer bereits in der Angebotsphase eine Produktionsvorplanung für das ausgeschriebene Projekt machen. Diese Angebots-Produktionsplanung dient zur Bestimmung der kalkulatorischen Vorgaben für den Ressourcenverbrauch (Geräteliste / Teamgröße / Gesamtlohnstunden / Gerätestunden / Vorhaltezeiten etc.).

Falls der Auftrag aufgrund eines Angebots gewonnen werden konnte, wird die Bauproduktionsplanung top down, mit Basisbauproduktionsprozessplan und Ressourcenplan, zur Erzielung des unternehmensspezifischen Kostenminimums unter Berücksichtigung der Unsicherheiten / Risiken (Bild 2) optimiert.

Während der Ausführung muss die Produktionsplanung kontinuierlich verbessert (KVP) und an Störungen und eingetretene Unsicherheiten angepasst werden [2]. Dabei handelt es sich um die Organisation der Arbeitsprozesse und Aufgaben durch Wochenplanung (Detailplanung) und tägliche Vorgaben (bottom up) auf der Basis des monatlich aktualisierten Basisausführungsprozessplans und Ressourcenplans (top down).

Die Wochenpläne werden von den ausführenden Polieren erstellt und mit den zuständigen Bauleitern abgestimmt (bottom up). Sie umfassen mindestens zwei Wochen im Voraus.

Der Basisausführungsprozessplan (BAP-Plan) sollte jeden Monat angepasst werden, um Leistungsdefizite und Abweichungen vom Zielplan zu identifizieren und aufzufangen. Der BAP-Plan sollte auf drei Monate im Voraus bezüglich der Abrufplanung für Geräte, Mannschaften, Material und Subunternehmer detailliert werden.

Die Bauproduktion ist aufgrund der zu erstellenden Bauglieder sowie der verschiedenen Herstellmethoden / -verfahren je Bauglied hochgradig variabel. Auch wenn das Bauwerk bereits durch die Bauwerksplanung vorgegeben ist und das Hauptziel [2]

• minimale Bauproduktionskosten

festliegt, ist es nicht einfach, das ökonomische Minimalprinzip zu erreichen. Zudem kennt bzw. beherrscht man in der Regel nur eine begrenzte Anzahl von Bauverfahren in einem Unternehmen. Somit wird es sich auch bei Anwendung analytischer Simulationstools um eine Entscheidung auf begrenzter Rationalität handeln [5].

Zur Erzielung eines rationalen Entscheidungsprozesses für die Produktionsmethode ist eine systematische, analytisch-generische Bauproduktionsplanung, die gemäß Bild 3 strukturiert ist, durchzuführen.

3 Vorgehensweise bei der Bauproduktionsprozessplanung

Im Folgenden soll der systematisch-generische Ablauf der Bauproduktionsplanung (top down) in den einzelnen Prozessschritten gemäß Bild 3 erläutert werden [2]. Dieser Prozess muss auch bei kleineren Projekten theoretisch vollständig durchlaufen werden, wenn auch natürlich nicht in der strengen Form, wie es bei Großprojekten erforderlich ist, jedoch müssen bei einem systematisch-zielorientierten Bauplanungsprozess diese Schritte denklogisch durchgeführt werden. Nur wer systematisch zielorientiert plant, hat theoretische Ziele, die er auch bei der praktischen Durchführung der Produktion anstreben und ansteuern kann. Nur wer

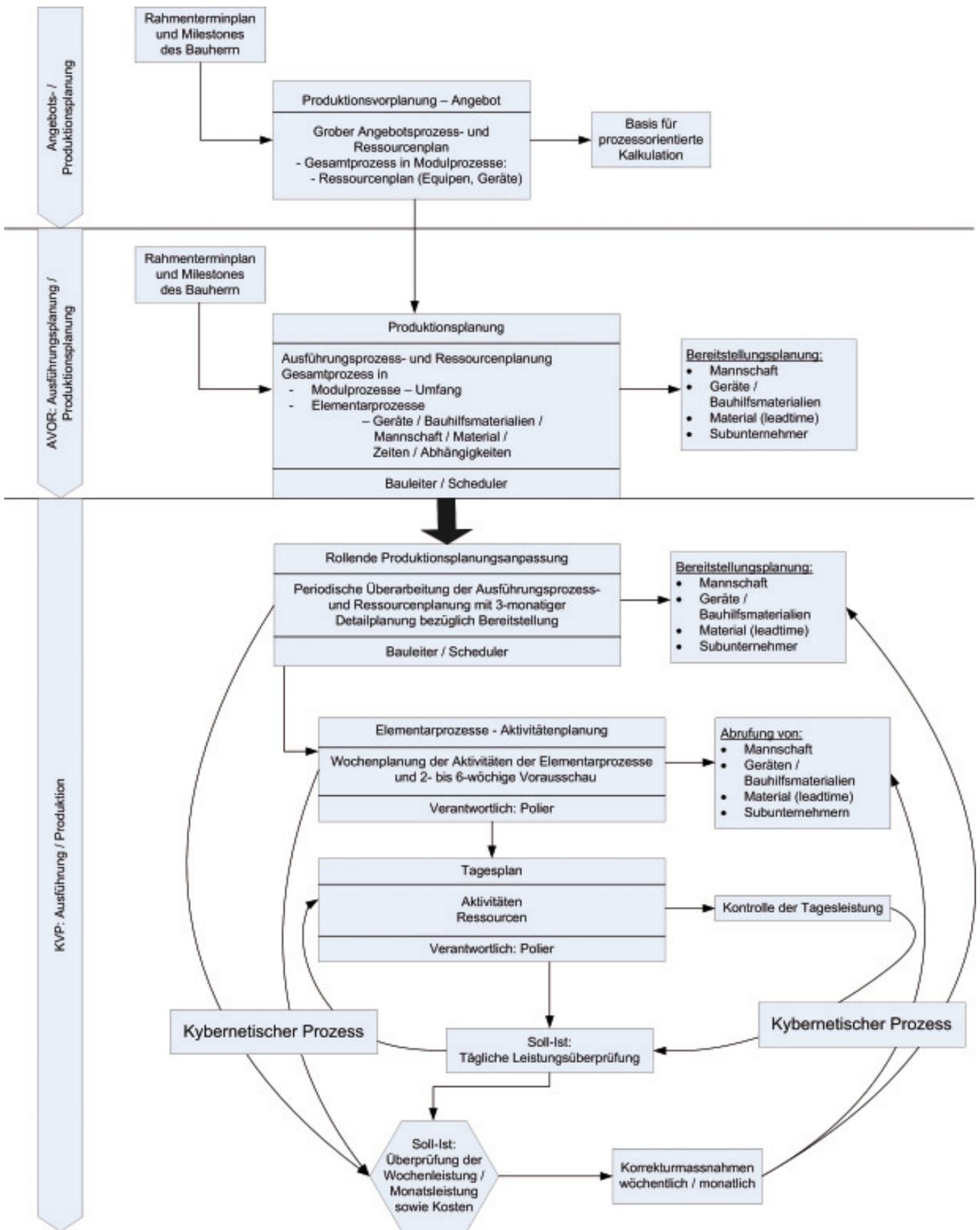


Bild 2. Kybernetischer Produktionsplanungsprozess
 Fig. 2. Cybernetic production planning process

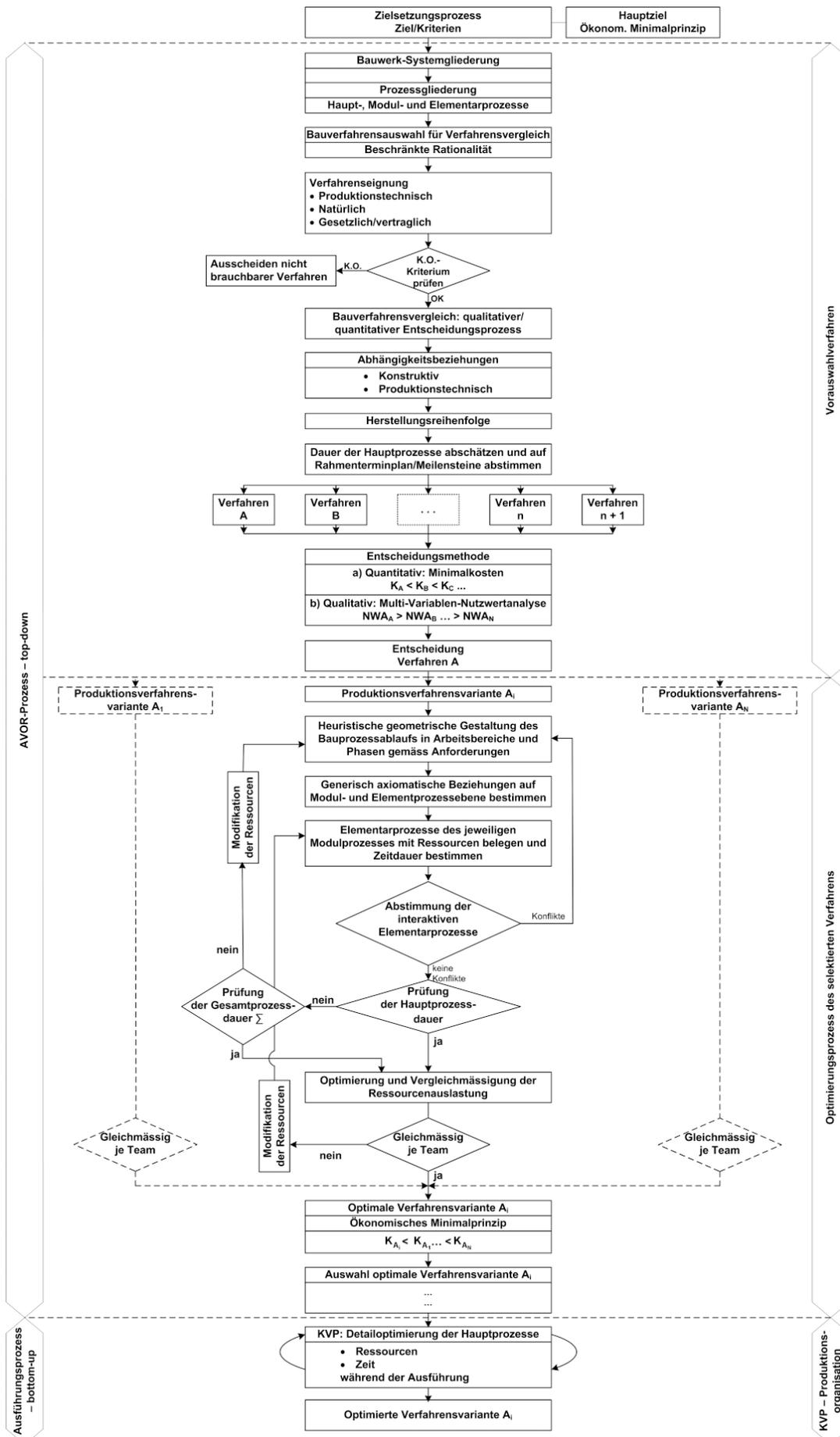


Bild 3. Systematisch-generische Bauproduktionsplanung
Fig. 3. Systematic generic construction production planning

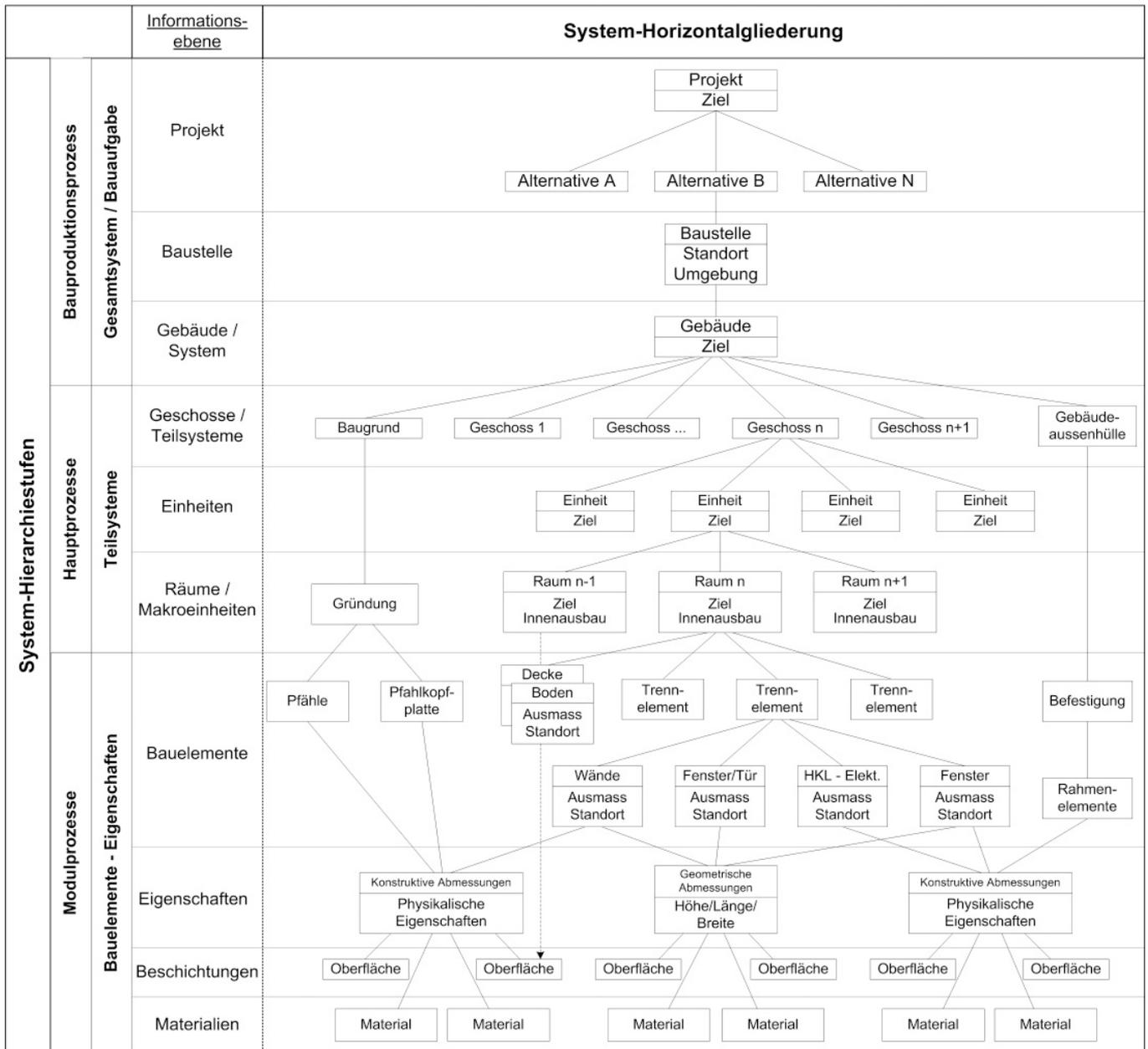


Bild 4. Systemgliederung einer Bauaufgabe
Fig. 4. System structuring of a construction task

theoretische Ziele hat, kann seine sozio-technische Umwelt gestalten.

Das analytische, generische „top down“-Vorgehen zur Gestaltung bzw. Planung von Bauproduktionsprozessen und des Ressourcenplans liegt in der Abfolge von fünf Analyseschritten (Bild 3).

3.1 Vorauswahlverfahren für die Baumethode

Systemgliederung

Zur systematischen generischen Gliederung des Bauproduktionsprozesses ist es notwendig, das Gesamtsystem Gebäude [2] in

- Teilsysteme (Geschosse, Räume, Fassade)
 - Module / Bauelement (Decken, Wände, Fassadenelemente, Fußboden, Fenster, Türen, Putz/Anstrich)
 - Eigenschaften (physikalische, technische, architektonische Eigenschaften)
- zu strukturieren.

Bild 4 zeigt die systematische generische Horizontal- und Hierarchiegliederung auf. Mit dieser Systembaumgliederung kann man einerseits sehr einfach und plakativ den Stand des Ausführungsplanungsprozesses identifizieren; andererseits kann man aus Bauproduktionsgesichtspunkten die Gebäudeelemente sowie die logisch zusammengefassten Elementgruppen und Modulgruppen identifizieren. Die Elementgruppen dienen dazu, Bauelemente nach gleichen Produktionsprozessabläufen zusammenzufassen. So kann man im Hochbau die vertikalen Elemente (Wände, Stützen, Kerne) zu einer und die horizontalen Elemente (Decken, Treppen) zu einer anderen Elementgruppe zusammenfassen. Die generische Bildung von Elementgruppen ist auch aus produktionstechnischen Gesichtspunkten (zeitlich/örtlich: gleicher, paralleler Prozessschritt) notwendig. Diese produktionstechnische Gliederung muss Rohbau und Ausbau umfassen, da heute die meisten Arbeitsprozesse und Aktivitäten parallel verlaufen.

Baufeld	Bauteilaufgaben		Elementarprozesse	Tätigkeiten	
	Hauptprozesse	Modulprozesse			
Bau einer Brücke	Baustellen-einrichtung	Baustellen-logistik	Kräne aufbauen	Vorbereiten	
		Unterkünfte	Baustrassen bauen	Transportieren	
		
	Unterbau	Gründung	Baugrubenumschliessung	Lösen	Lösen
			Aushub	Laden	Laden
		Widerlager	...	Transportieren	Transportieren
			Rückfüllung	...	...
		Pfeiler	Schalen	Zwischenlagern	Zwischenlagern
		Lager	Bewehren	...	...
	Entwässerung	Betonieren	Wiedereinbauen	Wiedereinbauen	
		
	Überbau	Hohlkasten	Schalen	...	...
			Bewehren	Rüstung aufbauen	Rüstung aufbauen
		Entwässerung	Betonieren	...	...
			...	Schalung vorbereiten	Schalung vorbereiten
Fahrbahn-belag		...	...	...
E + M	...	Bewehrung verlegen	Bewehrung verlegen		
...		
...	...	...	Ausschalen		

Bild 5. Prozessgliederung einer Bauaufgabe
 Fig. 5. Process structuring of a construction task

Generische Prozessgliederung

Im nächsten Schritt erfolgt die generische produktionstechnische Gliederung des Bauproduktionsprozesses (der Bauaufgabe) in Modul- und Elementarprozesse sowie Tätigkeiten / Aktivitäten (Bild 5) zur Herstellung der einzelnen Bauelemente [2].

Die Gliederung der Herstellungsreihenfolge der Bauelemente / Bauteile erfolgt in physikalisch bedingte und lagenbedingte generische Folgeebenen (Bild 4) nach folgenden Kriterien:

- Tragkonstruktion von unten nach oben
 - Ausbau lagenweise, sequenziell von der Konstruktions- zur Oberflächenebene
 - Befestigungselemente vor Elementmontage
 - konstruktive, stabilitätsbedingte Reihenfolge
- Darauf aufbauend erfolgt die Zerlegung der Hauptprozesse einer Gewerkegruppe in (Bild 5):

- logische Modulprozesse nach Bauelementen zur Bestimmung der Herstellungsreihenfolge aus konstruktiven, statischen und fertigungstechnischen Gesichtspunkten und
- logisch-generische Elementarprozesse zur Herstellung der Bauelemente, z.B. im Zyklus Schalen, Berechnen, Betonieren, Abhärten

Als Beispiel für die Prozessgliederung dient die Bauaufgabe „Herstellung einer Brücke“. Die Herstellung der Brücke wird als Bauproduktionsprozess betrachtet (Bild 5). Dieser Bauproduktionsprozess lässt sich in folgende Hauptprozesse gliedern:

- Errichtung einer temporären Baustelleneinrichtung als Vor-Ort-Produktionseinrichtung
- Herstellung des permanenten Unter- und Überbaus der Brücke

Zur Erzielung der einzelnen Hauptprozesse sind weitere Modulprozesse für die einzelnen Bauelemente erforderlich,

so z.B. für die Herstellung der Gründung, der Widerlager und Pfeiler sowie der erforderlichen Lager und der Entwässerung etc.

Die Zerlegung der Modulprozesse in Elementarprozesse ist Voraussetzung, um geeignete Verfahrenskombinationen aufzustellen, sie miteinander zu vergleichen und das geeignetste Bauverfahren auszuwählen. Grundforderung in der Verfahrenstechnik ist es, unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren mit möglichst einfachen und robusten Mitteln eine praxismgerechte Lösung zu finden. Hierzu muss im folgenden Schritt festgestellt werden, welche Entscheidungsvarianten von Bauverfahren vorhanden sind, mit welchen Auswirkungen bei Auswahl einer dieser Möglichkeiten zu rechnen ist und wie man sich entscheiden soll, wenn bestimmte Kriterien gegeben sind. Hierzu können methodische Entscheidungsvorbereitungen (Operations Research) dienen.

Bauproduktionsverfahrensauswahl

Die baubetriebliche Prozessgestaltung ist eine kreative, systemorientierte, konstruktivistische Aufgabe.

Jede konstruktivistische Aufgabe hat meist eine hohe Anzahl, oft sogar unendlich viele Lösungsmöglichkeiten. Allerdings ist nur eine begrenzte Anzahl von Lösungen technisch möglich, und meist erfüllt nur eine das Zeitoptimum bzw. das Kostenminimalprinzip. In vielen Fällen stellt der konstruktivistische, denklogische Lösungsprozess eine Entscheidung unter begrenzter Rationalität dar.

Aufgabe einer baubetrieblichen, technologischen Gestaltung der Bauproduktionsprozesse [2] ist es,

1. die Bauaufgabe zu analysieren und den Leistungsumfang zu bestimmen,
2. die Vorgaben und Randbedingungen als Bedingungsgrößen zusammenzustellen,
3. mögliche Lösungsvarianten zu untersuchen,
4. die Störanfälligkeit der Varianten zu untersuchen,
5. die iterative Leistungsbestimmung der Bauproduktionsprozesskette vorzunehmen,
6. die Leistungsprozesskette in Bezug auf Zeit und/oder Kosten zu optimieren.

Die Bauproduktionsverfahrensauswahl für eine baubetriebliche, produktionstechnische Aufgabenstellung wird gemäß Bild 6 durchgeführt. Dabei müssen zuerst die Bauaufgabe analysiert, die determinierenden projektspezifischen, natürlichen und die anthropogenen / technischen Randbedingungen ermittelt und die Anforderungen für eine Lösung abgeleitet werden. Im nächsten Schritt müssen unter Berücksichtigung statischer, geotechnischer und technischer Überlegungen die alternativen baubetrieblichen Systeme und Bauverfahren ermittelt bzw. entwickelt werden. Aus den die Randbedingungen erfüllenden, technisch machbaren und wirtschaftlich effizienten Lösungsansätzen müssen die interaktiven Bauabläufe nach dem ökonomischen Minimalprinzip entwickelt werden.

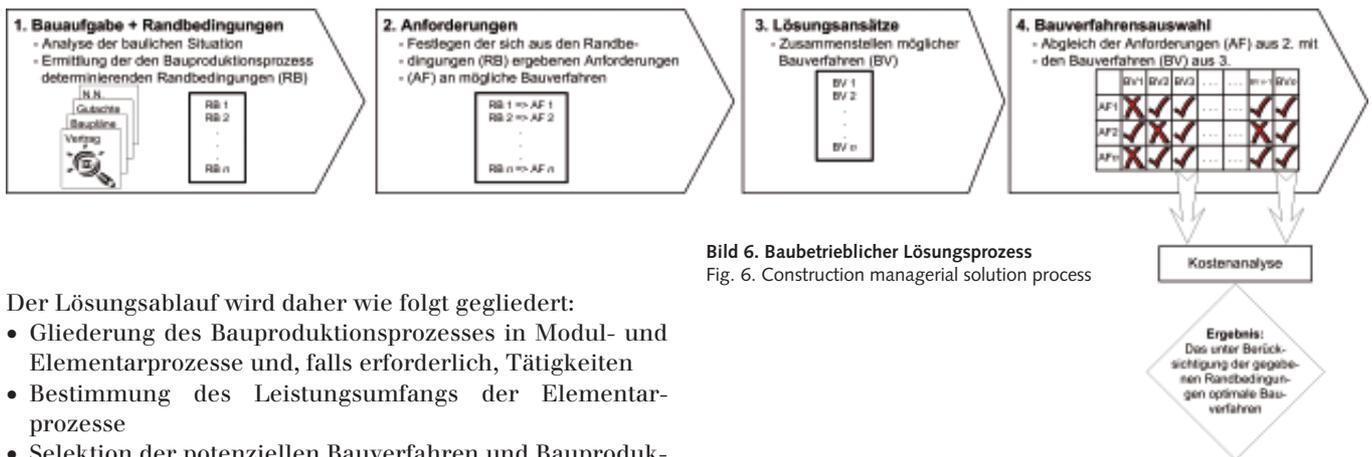


Bild 6. Baubetrieblicher Lösungsprozess
 Fig. 6. Construction managerial solution process

Der Lösungsablauf wird daher wie folgt gegliedert:

- Gliederung des Bauproduktionsprozesses in Modul- und Elementarprozesse und, falls erforderlich, Tätigkeiten
- Bestimmung des Leistungsumfanges der Elementarprozesse
- Selektion der potenziellen Bauverfahren und Bauproduktionsgeräte in den Elementarprozessen
- Leistungsermittlung der Bauproduktionsgeräte und Equipen in den Elementarprozessen
- Interaktive Abstimmung und Optimierung der Leistungen in den Elementarprozessen zu einer optimalen Gesamtprozesskette

Der interaktive, kybernetisch-systemorientierte Lösungsablauf ist in **Bild 7** dargestellt.

Das Vorauswahlverfahren (Bild 7) der potenziellen Bauproduktionsverfahren für die Bauelemente und den gesamten Bauproduktionsprozess sollte systematisch zielorientiert mit effizientem Aufwand erfolgen. Dieser Prozess sollte nach Bild 6 erfolgen, um potenzielle Bauverfahren zu entdecken, die trotz begrenzter Rationalität zumindest zu einem relativen Kostenminimum führen. Ferner eröffnet dieser Vorauswahlprozess die Kompetenz einer Projektgruppe, z.B. mittels Brainstorming, um dadurch innovative neue Lösungsansätze zu generieren [4].

Zuerst müssen die vertraglichen, konstruktiven und umweltbedingten und ergebnisorientierten Vorgaben, Anforderungen und Randbedingungen zusammengestellt werden. Aufbauend auf der Systemgliederung eines Bauwerks müssen für jedes Bauelement oder Baumodul die möglichen Bauverfahren φ_{ij} [2] nach technischer, umweltbedingter und vertraglicher Verfahrenseignung sowie kostenmäßigen Bedingungen (Bild 7) identifiziert werden. Dazu wird eine Selektionsmatrix (**Bild 8**) erstellt.

Die Selektion der potenziellen Bauverfahren aus der Selektionsmatrix eines jeden Bauelements sowie im Zusammenspiel mit der Bauelementgruppe (herstellungstechnische Zusammenfassung bei örtlich-zeitlich vernetzten Abläufen) wird gemäß Bild 7 wie folgt durchgeführt:

- Identifikation von Bauproduktionsverfahren für die Bauelemente
- Feststellung der Verfahrenseignung für die Bauelemente und Prüfung der projektspezifischen K.O.-Kriterien
- Bestimmung der generischen Produktionsabhängigkeiten
- Abstimmung der Baumethoden und Geräte auf den Gesamtprozess
- Durchführung des Verfahrensvergleichs für die Bauelemente
- Abstimmung der Bauproduktionsverfahren der einzelnen Bauelemente auf Elementgruppen (z.B. alle vertikalen Bauelemente eines Gebäudestockwerks bzw. horizontalen Bauelemente)
- Abstimmung der Bauverfahren für die Elementgruppen auf den Gesamtprozess
- Prüfung der Gesamtbauzeit

Hauptprozessdauer abschätzen

Dazu ist es erforderlich, in einem iterativen „bottom up“-Ansatz die Dauer der Hauptprozesse auf der Basis von Geschossflächen bzw. Bauvolumen bzw. Stockwerken zu schätzen. Daraus ergeben sich vorläufige Meilensteine für die Hauptprozesse, die in die Vorgabe der Gesamtproduktionsdauer (Rahmenplan) eingepasst werden müssen [2]. Aufbauend auf der zeitlichen Grobstrukturierung der Hauptprozessdauer erfolgt

- eine grobe Abschätzung von zeitlichen Meilensteinen für Modulprozesse und Gewerkegruppen, die innerhalb der Hauptprozesse hergestellt werden, aufgrund der vorgegebenen Gesamtproduktionsdauer (Rahmenplan des Bauherrn / Investors),
- die Bestimmung der Ressourcen und Dauer für die Elementarprozesse,
- die Erstellung von Risikoübersichten und Identifikation von Unsicherheiten innerhalb der Elementarprozesse sowie Abschätzung der Auswirkungen.

Die Überprüfung der Hauptprozessdauer [6] erfolgt unter Berücksichtigung der Herstellungsreihenfolge, der Dauer der Modul- und Elementarprozesse sowie unter Berücksichtigung von Unsicherheiten (probabilistische Puffer) und Anpassungen der Leistung durch Variation der Ressourcen, falls die Gesamtprozessdauer aller Hauptprozesse die Vorgabe der Gesamtbauproduktionszeit überschreitet oder wichtige Meilensteine bei den Modulprozessen überschritten werden.

Entscheidungsmethode zur Bauverfahrensauswahl

Der qualitative sowie quantitative Verfahrensvergleich und die Verfahrensauswahl sind detailliert in **Bild 9** dargestellt [2]. Der qualitative Vergleich beinhaltet produktionstechnische, terminliche, organisatorische und arbeitssicherheitstechnische Messgrößen. Der quantitative Vergleich beinhaltet die weitgehend entscheidenden Kosten sowie Kostenrobustheit bei Störungen sowie Wiederverwendung und Kapitalbedarf bei Investitionen in Produktionsfaktoren.

Im Allgemeinen gibt es eine gewisse Kostenbandbreite bei den Bauproduktionsprozessen aufgrund der verschiedenen projektspezifischen Ausführungsbedingungen, innerhalb derer ein Bauverfahren geeignet erscheint und optimal ist (**Bild 10**). Diese Kostenbandbreite kann unterschiedlich groß sein, je nachdem ob ein Bauverfahren nur innerhalb recht eng begrenzter äußerer Bedingungen sein Eignungsoptimum besitzt oder ob es robust, d.h. auch bei inhaltlichen und zeitlichen Störungen weitgehend unempfindlich ist. So

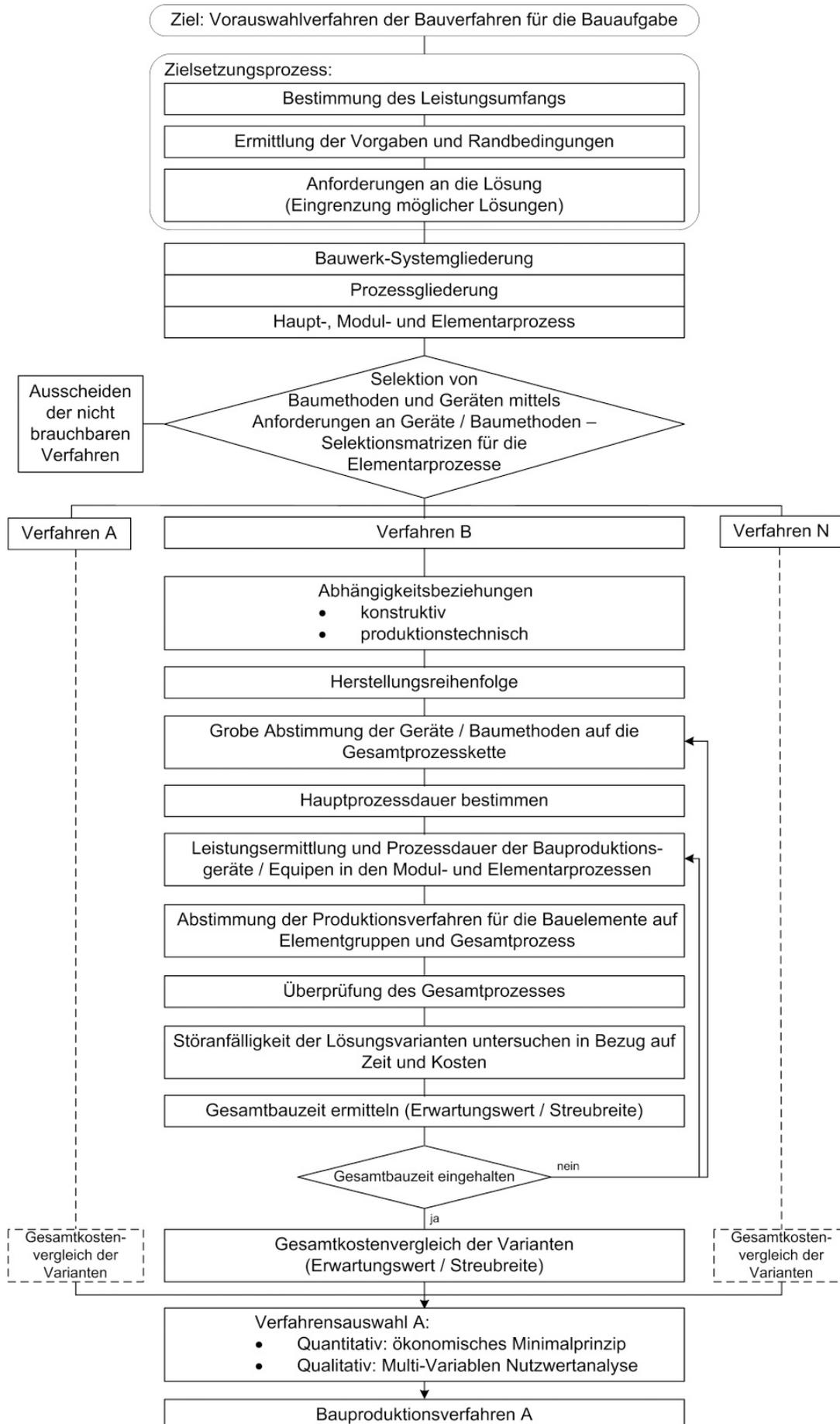


Bild 7. Interaktiver, kybernetisch-systemorientierter Bauverfahrensvorauswahlprozess
 Fig. 7. Interactive, cybernetically system oriented construction method preselection process

kann das Bauverfahren B die kostengünstigste Lösung bezüglich des Kostenerwartungswerts sein, aber bereits bei geringen Bauzeitverlängerungen bzw. bei Abweichungen der Einflussfaktoren von den angenommenen Werten zu erheblich höheren Herstellkosten führen, während das Bauverfahren A in Bezug auf den vertraglich vereinbarten Fertigstellungstermin zwar teurer ist als das Bauverfahren B, aber bei weitem nicht so anfällig gegen Abweichungen von den Ausgangsbedingungen (Bild 10). Diese Bedingungen werden bei der Bauverfahrensplanung oft unzureichend berücksichtigt oder verkannt und führen dann zu Fehlentscheidungen.

Muss man eine Entscheidung herbeiführen, die sich nicht nur auf kostenrelevanter Basis abstützt, so wird man die qualitativen und quantitativen Größen in einer Multi-Variablen-Nutzwertanalyse dimensionslos, aber numerisch zusammenführen [7].

3.2 Optimierungsprozess des selektierten Bauverfahrens

Der gewählte Bauproduktionsprozess mit den interaktiven Bauverfahren der Bauelemente und Elementgruppen wird im folgenden Verlauf des Produktionsplanungsprozesses hinsichtlich Varianten wie z.B. Gerätearten mit unterschiedlichem Leistungspotenzial sowie Ablaufvarianten weiter optimiert [2], um das ökonomische Minimalprinzip möglichst gut zu erreichen (Bild 5). Hierzu ist es erforderlich, die geometrische Kompatibilität der eingesetzten Geräte und Bauhilfsmaterialien im Projektraum zu prüfen, die generischen Prozessabhängigkeitsbeziehungen axiomatisch zu untersuchen und zu bestimmen sowie die Prozessdauer zu parallelisieren und die Ressourcen zu vergleichmäßigen und zu optimieren. Dies erfolgt in weiteren fünf Schritten.

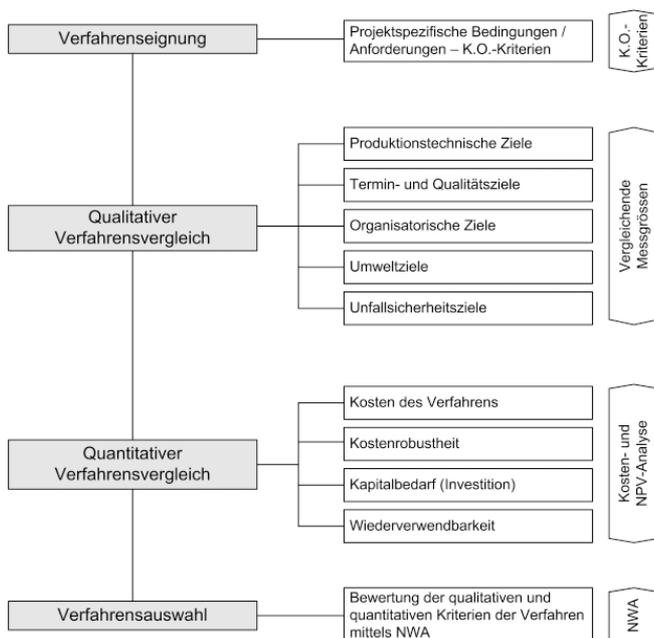


Bild 9. Entscheidungskriterien beim Bauverfahrensvergleich
Fig. 9. Decision criteria for construction method comparison

Betonbau – Varianten der Herstellung									
Elementarprozesse	Möglichkeiten der Fertigung								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bewehren	örtlich bewehren	vorgefertigte Bewehrung einbauen	teils örtlich, teils vorgefertigt	—	—	—	—	—	—
Schalungen	Brett, Bohle, Kantholz (konventionell)	Grosstafelschalung auf Umhängearbeitsbühnen	Kletterschalung	Gleitschalung	—	—	—	—	—
Betonieren	mit Kübel	mit Betonpumpe	—	—	—	—	—	—	—
Transportlogistik	Turmdrehkran auf Gleis	Kletterkran am Siloschacht	Mobilkran	—	—	—	—	—	—

Tiefbauselektionsmatrix Baugrubenumschliessung									
Varianten	Böschung	Verriegelte Böschung	Rühlwand	Spundwände	Pfahlwände	Schiltzwand	MIP-Wände	Jetting/(HD) Injektionen	Gefrierwände
Anforderung									
Senkrecht	X	X	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Geologie	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	(OK)	X
Tiefe	OK	OK	OK	OK ⁵⁾	OK	OK	X ¹⁾	OK	OK
Schallemissionen	OK	OK	OK	(OK) ⁴⁾	OK	OK	OK	OK	OK
Technik/Konstruktion	OK	OK	(OK) ⁷⁾	(OK) ⁶⁾	OK	OK	(OK)	(OK)	(OK)
Zusammenfassung/Beurteilung	X	X	(OK)	OK	OK	OK	X	X	X

Legende:
 X Ausschluss des Bauverfahrens
 (OK) Bauverfahren erfüllt Anforderung bedingt
 OK Bauverfahren erfüllt Anforderung
 1) Die erforderliche Wandhöhe ist mit den derzeit verfügbaren Geräten nicht realisierbar
 2) Durch wechselnde Baugrundverhältnisse stark unterschiedlicher Säulendurchmesser
 3) Nur im Grundwasser möglich
 4) Keine schlagende Rammung zulässig
 5) obere Grenze für Spundwände
 6) schwere Rüttler für die Tiefe erforderlich
 7) herstellbedingte Setzungen nicht auszuschließen

Bild 8. Selektionsmatrizen. Varianten und qualitative Selektion von Bauverfahren
Fig. 8. Selection matrices. Alternatives and qualitative selection of construction methods

Geometrische Gestaltung der Arbeitsbereiche

Der erforderliche Operationsraum für die Geräte und Bauhilfsmaterialien der jeweiligen Bauverfahren muss im jeweiligen Projektraum überprüft werden [2]. Dazu ist es erforderlich, den Operationsraum einzelner Geräte sowie ganzer Geräteketten zu prüfen (Bild 11). Das Gleiche trifft beim Einsatz von Schalungssystemen bezüglich Ein- und Ausschalen zu, aber auch für die Interaktion von Bauhilfsmaterialien und endgültigen Konstruktionen wie z.B. im Grabenbau mit Verbau und Rohrleitungsinstallationen. Wenn es hier Inkompatibilitäten gibt, müssen andere Gerätegrößen oder -arten geprüft oder sogar andere Bauverfahren angewendet werden.

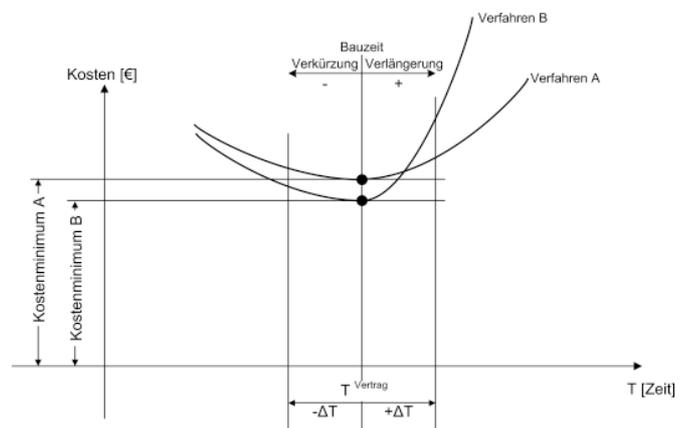


Bild 10. Empfindlichkeit von Bauverfahren in Bezug auf Zeit und Kosten
Fig. 10. Susceptibility of construction methods regarding time and cost

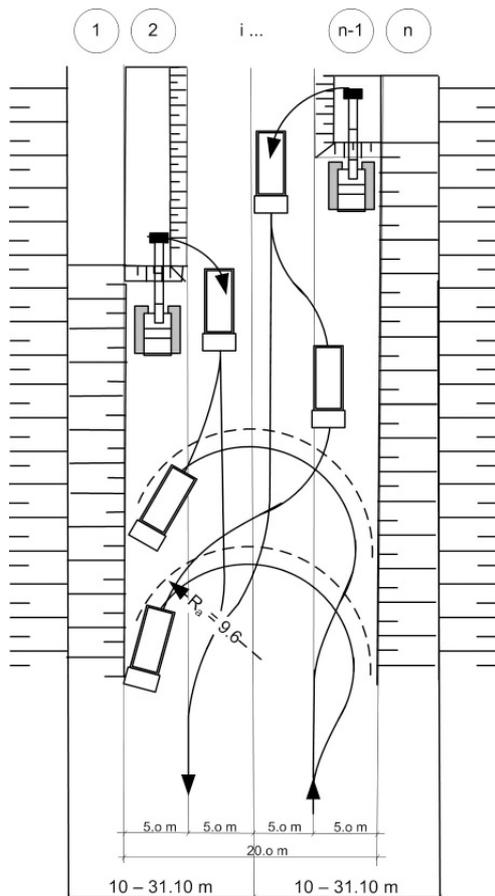


Bild 11. Aushub. Geometrische Interaktion einer Prozesskette
Fig. 11. Excavation. Geometric interaction of a process chain

Prozessabhängigkeitsbeziehung

Zur Optimierung des gewählten Bauprozesses müssen die Prozessabhängigkeiten der Modul- und Elementarprozesse sowie Tätigkeiten (Bild 12) vertieft in den Beziehungen aus konstruktiven, statischen und fertigungstechnischen Gründen aufgedeckt und zusammengeführt werden [2]:

- upstream
- downstream
- lateral
- Vorgänger- bzw. Überordnungsabhängigkeit
- Nachfolger- bzw. Unterordnungsabhängigkeit
- Nachbarabhängigkeit auf gleicher Hierarchiestufe

Diese generischen Beziehungen müssen qualitativ erfasst und in eine quantitative inhaltliche und zeitliche Abhängigkeit gebracht werden [8].

Für die Erstellung der Produktionsprozessabhängigkeiten auf Modul- und Elementarprozessebene sowie auf Tätigkeitsebene werden die generischen Dimensionen

- Systemgliederung
- Prozessgliederung
- Herstellungsreihenfolge
- Informationsabhängigkeit
- top down
- inhaltlich
- konstruktiv
- informativ

in ihre zeitlichen axiomatischen Abhängigkeitsbeziehungen gebracht (Bild 15).

Die generische axiomatische Prozessabhängigkeitsbeziehung zwischen Produktionsprozess bzw. Modul- und Elementarprozessen sowie Tätigkeiten muss zu den Vor- sowie Nachphasen in folgende inhaltliche und zeitliche Relationen gesetzt werden [8] (Bild 15):

- Nutzer- und Systemanforderungen
- Entwurfparameter
- Planungsprozess
- Prüfungs- und Genehmigungsprozess

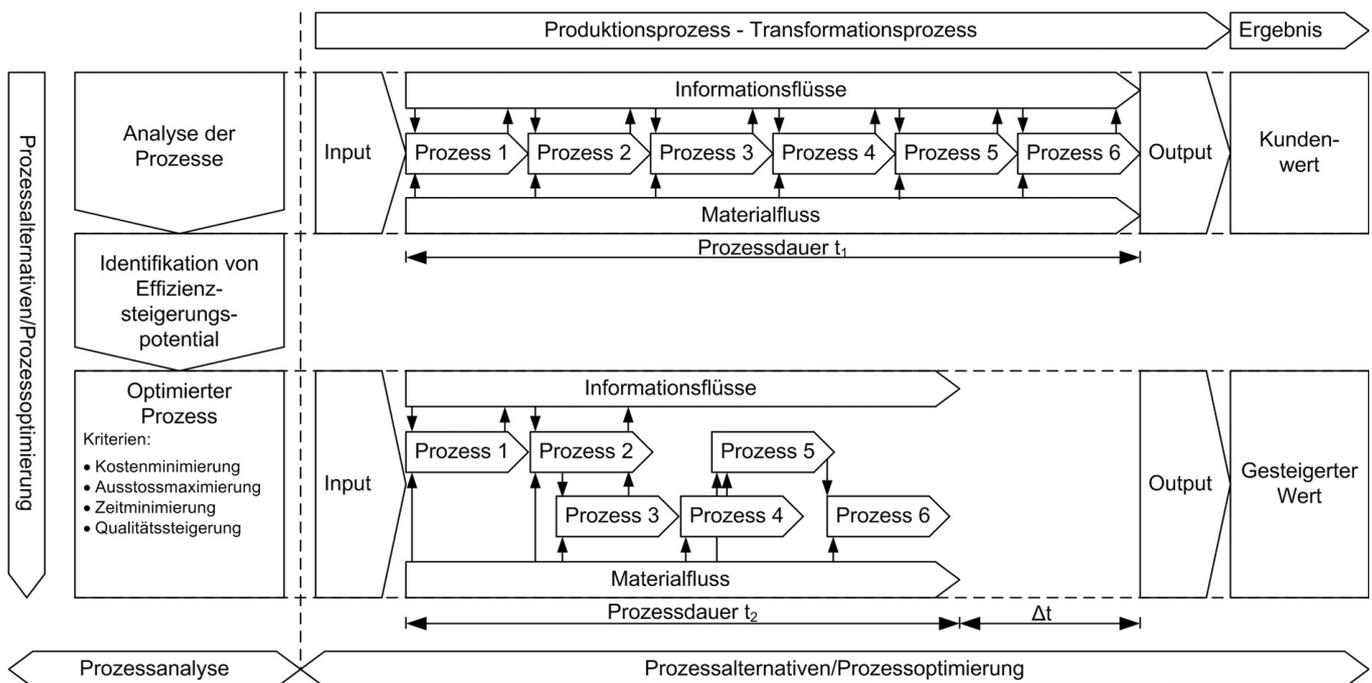


Bild 12. Bauproduktionsprozessanalyse und optimierung
Fig. 12. Analysis and optimisation of the construction production process

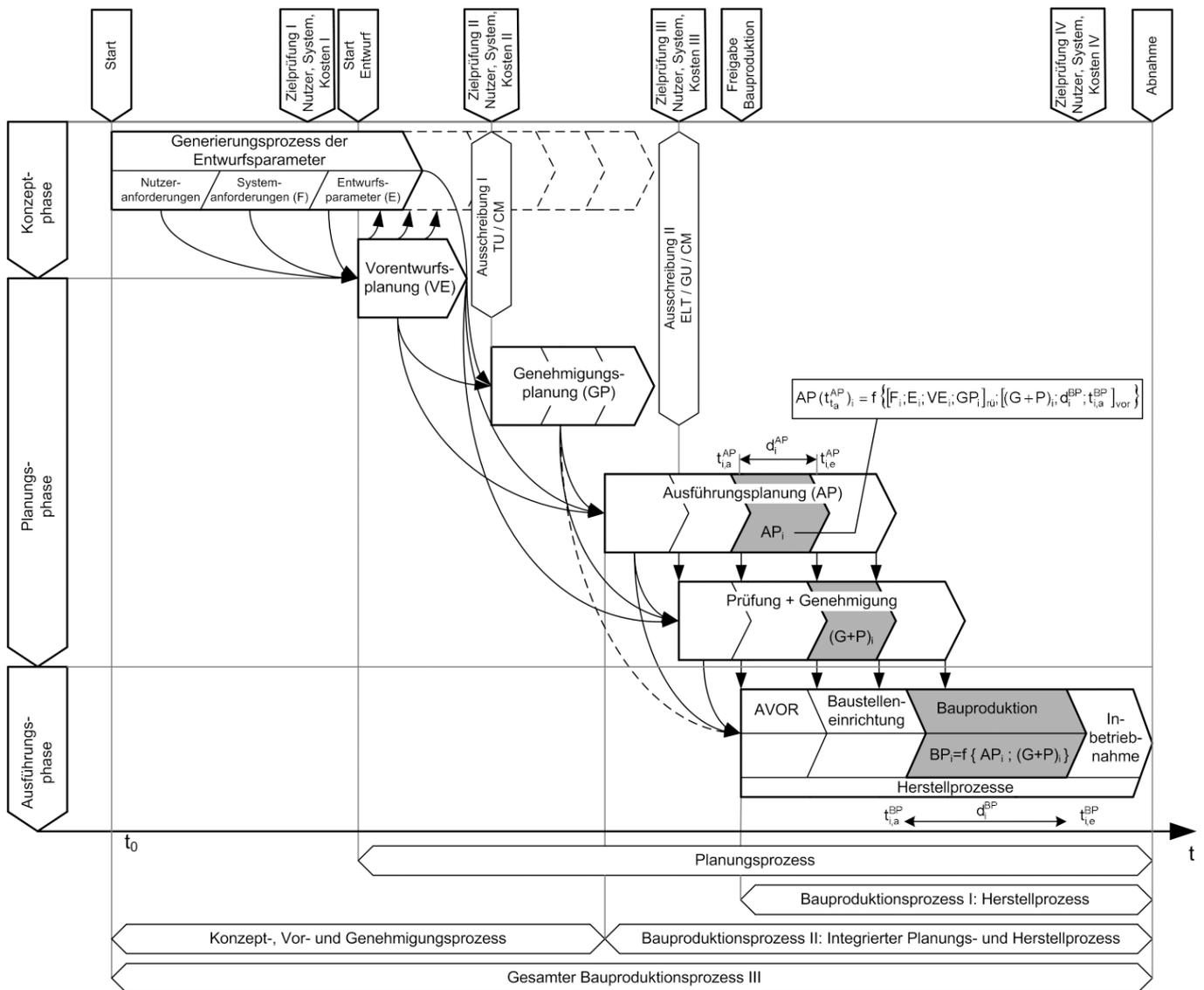


Bild 13. Generische axiomatische Beziehungen der Planung – zeitlich zum Bauprozess, inhaltlich und zeitlich zu Systemanforderungen, Entwurfsparametern, Vor- und Genehmigungsplanung
 Fig. 13. Generic axiomatic planning interrelationships – to the construction process in terms of time; to the system requirements, design parameters, preliminary and approval planning in terms of content and time

Hauptprozessdauer optimieren

Innerhalb der Hauptprozesse kann gemäß der generischen zeitlichen Abhängigkeitsbeziehungen mit der Planung der Modulprozesse begonnen werden. Dazu werden für jeden Modulprozess eines Bauteils die Elementarprozesse mit Ressourcen belegt und die zeitliche Dauer der Elementarprozesse festgelegt (Bild 12). Die zeitliche Dauer aller Modulprozesse eines Hauptprozesses muss unter Berücksichtigung der sequenziellen und parallelen generischen Abhängigkeiten (Bild 15) innerhalb der Hauptprozessmeilensteine erledigt werden können. Ist dies nicht der Fall, so werden im ersten kybernetischen Iterationsprozess die Leistungen und die dazugehörigen Ressourcen sowie die Reihenfolge der Elementarprozesse und Modulprozesse unter Berücksichtigung der generischen Abhängigkeitsbeziehungen sukzessive iterativ angepasst, bis die Hauptprozesszeitspanne eingehalten ist. Dies erfolgt für jeden Hauptprozess (Bild 12).

Vergleichmäßigung der Ressourcen

Innerhalb der Hauptprozesse wird nun die Auslastung der Ressourcen bezüglich Gleichmäßigkeit untersucht. Bei ungleichmäßiger Auslastung der Teams (slack time) werden die entsprechenden abhängigen Elementarprozesse hinsichtlich Vergleichmäßigung der Ressourcen (Teams / Geräte / Bauhilfsmaterial) verändert. Dabei muss man zwei Fälle unterscheiden:

- Die Hauptprozessdauer verkürzt sich:
Es sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.
- Die Hauptprozessdauer verlängert sich:
1. Es muss geprüft werden, ob durch Vergleichmäßigung anderer Hauptprozesse Zeiteinsparungen möglich sind, um die vertragliche Gesamtproduktionszeit einzuhalten.

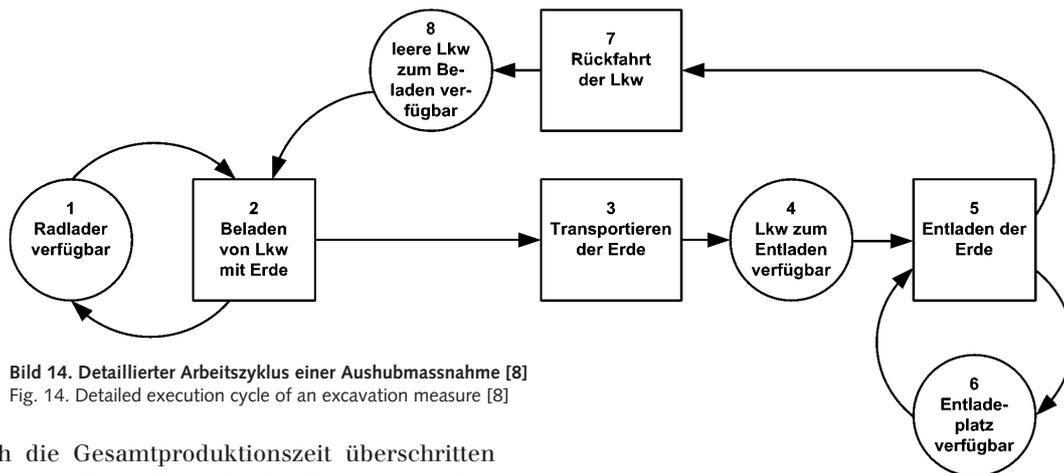


Bild 14. Detaillierter Arbeitszyklus einer Aushubmassnahme [8]
 Fig. 14. Detailed execution cycle of an excavation measure [8]

2. Wenn auch die Gesamtproduktionszeit überschritten wird, muss geprüft werden, ob eine Ressourcenerhöhung in einem oder mehreren Hauptprozessen zur Einhaltung der Gesamtproduktionszeit führt oder ob ganz andere Bauverfahren mit entsprechenden anderen Modul- und Elementarprozessen und Leistungen mit entsprechender Ressourcenausstattung zum Ziel führen.

Kostenanalyse

Da das zu erzielende Ergebnis (Bauwerk) der Bauproduktion in der Produktionsphase durch Ausschreibung, Vertrag und Genehmigungs- sowie Ausführungsplanung bezüglich des Nutzens und der Wertschöpfung vorgegeben ist, gilt es für den Unternehmer, das Bauverfahren bzw. den Bauproduktionsprozess zu ermitteln, der das

- **ökonomische Minimalprinzip** erfüllt. Dies wird wie folgt erreicht (Bild 5):
 - a) Verfahrenvergleich verschiedener Produktionsvarianten zur Bestimmung des robusten, optimalen Bauproduktionsverfahrens mit den geringsten Kosten
 - b) Detailoptimierung des selektierten optimalen Bauproduktionsverfahrens durch Variation der Gesamtdauer bzw. Teildauer der Hauptprozesse durch Optimierung der Ressourcen in Bezug auf Reduzierung der
 - Fixkosten der Produktion durch geringere Vorhaltdauer der Baustelleneinrichtung und des Managements
 - variablen Kosten durch leistungsfähige Geräte etc.

Das Ergebnis führt dann zum optimalen Prozess mit einem Kostenminimum. Während der Planung des Bauproduktionsprozesses sind zudem für jeden Modul- und Elementarprozess die Entscheidungen „make or buy or cooperate“ zu fällen, d.h. ob man eigene oder fremde Produktionsressourcen einsetzt.

Auf Basis dieser Optimierung entsteht für das optimale Bauproduktionsverfahren je Hauptprozess unter Berücksichtigung der Interaktionen der Hauptprozesse auf Logistikebene nun der Basis-Bauproduktionsprozessplan (Bild 13) mit

- den zeitlichen Vorgaben der Elementarprozesse und
- den materiellen Vorgaben der Ressourcen.

4 Bauproduktionssteuerung

Während der Bauproduktion müssen in einem kybernetischen, kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) „bottom up“ [2] durch Arbeitswochenpläne die Vorgaben des top down geplanten Produktionsprozesses detailliert organisiert werden (Bild 5). Dies wird wie folgt erreicht:

- Aufbauend auf dem Basis-Bauproduktionsprozessplan und Ressourcenplan sowie Leistungsvorgaben müssen die Monats- und Wochenarbeitspläne von den Ausführenden (Operativen) erstellt werden.
- Die Monatsarbeitspläne mit den Elementarprozessen, Ressourcenallokationen und Leistungsvorgaben dienen als Basis für die Wochenarbeitspläne des jeweiligen Teams. Hier werden den aktuell geplanten Tätigkeiten je Tag Personen, Geräte, Bauhilfsmaterialien zugeordnet.
- Die Wochenarbeitspläne werden wöchentlich fortlaufend mit einem zwei- bis vierwöchigen Vorlauf bezüglich der Tätigkeiten detailliert, die aufgrund der Leistungsvorgaben bzw. realen Leistungen mit Stunden hinterlegt werden. Zudem müssen die Teams, die den Wochenarbeitsplänen zugeordnet sind, ihre Aktivitäten und die Nutzung gemeinsamer Ressourcen (z.B. Kräne) koordinieren, um nicht wertschöpfende Aktivitäten zu eliminieren.
- Die Monatsarbeitspläne werden aufgrund des „bottom up“-Prozesses monatlich überprüft und fortgeschrieben. Bei Abweichungen werden Korrekturmaßnahmen bzw. Risikoverhinderungs- / Risikoreduzierungsmaßnahmen eingeleitet, um die Meilensteine und die vorgegebene Gesamtdauer sowie das Kostenziel einzuhalten.
- Die Monatsarbeitspläne haben eine Vorausschau und sind Grundlage für die Bereitstellungsplanung und den koordinierten Abruf von Materialien, Spezialisten, Subunternehmern, Material, Geräten und Bauhilfsmaterial.
- In den Wochenarbeitsplänen werden die Detailtermine für kollaborative Nachfolgeteams und Arbeiten bestimmt. Ferner erfolgt die Abstimmung mit parallel arbeitenden Teams bezüglich gemeinsamer Nutzung der allgemeinen Baustelleneinrichtung, räumliche und zeitliche Abstimmung von Aktivitäten und Tätigkeiten. Ferner werden die Abrufung von Ressourcen im Wochenarbeitsplan bottom up zum übergeordneten Disponieren von Bestellungen, Subunternehmern, Geräten und Personaleinsatz zeitlich genau festgelegt, um Verlustzeiten, z.B. durch Warten, zu eliminieren.

Die „bottom up“-Organisation des Produktionsprozesses und der kontinuierliche Verbesserungsprozess [2] auf der Basis der Wochenplanung erfolgt mittels einer detaillierten Betrachtung der Produktionsprozesskette mit Arbeitsabläufen (flow) und Arbeitsschritten, fokussiert auf die einzelnen Teams und Leistungsgeräte. Methodisch kann dazu das generisch-systematische CYCLONE-Verfahren [9] verwendet

werden, das die einzelnen Elemente einer Prozesskette bezüglich Arbeitsabläufen, Arbeitsflüssen und Logistik verbindet (**Bild 14**). Die analytische Betrachtung der Arbeitsabläufe und Arbeitsflüsse erfolgt mittels Leistungsberechnung von Baugeräten und Bauprozessen [6].

Der Bauproduktionsprozess wird auf der Grundlage des „top down“-Basis-Bauproduktionsplans kybernetisch gestaltet durch [2]

- „bottom up“-Elementarprozesse und Tätigkeiten mit Vorschlägen von Maßnahmen zur Zielerreichung durch KVP
- „top down“-Überprüfung der Auswirkung der Wochenzielerreichung auf die Vorgaben des Gesamtbauprozesses bzw. der Rückkopplung auf die „bottom up“-Vorschläge bezüglich Wirkung auf die Gesamtzielerreichung. Ziel ist es, eine Teamverantwortung für die Zielerreichung sicherzustellen.

5 Fazit

Die Axiome der Bauproduktionstheorie [1], [2] können als wissenschaftlicher Gestaltungsrahmen für die technologische, wirtschaftliche Prozessgestaltung der Bauproduktion benutzt werden. Aus der theoretischen Zielbestimmung der Bauproduktion lassen sich generisch denklologisch-deduktive Prozesse und Modelle für die Bauproduktion entwickeln. Aufbauend auf diesen Gestaltungsrahmen wurde der theoretische Prozess der interaktiven, komplexen projektspezifischen Bauproduktionsprozessplanung entworfen.

Basiert auf dem axiomatischen Theoriegebäude der Bauproduktion [1], [2] lassen sich theoriegeleitet weitere Prozessmodelle zur Effizienzsteigerung und Innovation der projektspezifischen Bauproduktion entwickeln.

Literatur

- [1] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionstheorie – Strukturrahmen. In: Bauingenieur (82), H. 09/2007 S. 397–403
- [2] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionstheorie – Struktur des Bauprozesses. In: Bauingenieur (82), H. 09/2007, S. 404–413
- [3] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionsprozesse des Tief- und Hochbaus. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich, 2007
- [4] *Girmscheid, G.*: Angebots- und Ausführungsmanagement – Leitfaden für Bauunternehmen. Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2005
- [5] *Weber, M.*: Gesammelte Aufsätze zur Wissenschaftslehre. J.C.B. Mohr, Tübingen, 1968
- [6] *Girmscheid, G.*: Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse. 3. überarb. Aufl., Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2005
- [7] *Girmscheid, G.*: Projektentwicklungsformen in der Bauwirtschaft. 2., erw. u. überarb. Aufl., Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007
- [8] *Girmscheid, G.*: Fast Track Projects – Generisches, axiomatisches Anforderungsmanagement. In: Bauingenieur (82), H. 05/2007
- [9] *Halpin, D.W.; Gareis, R.*: Planung und Kontrolle von Bauproduktionsprozessen. Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 1979