

Fast Track Projects – Generisches, axiomatisches Anforderungsmanagement

G. Girmscheid

10

Zusammenfassung Die Abwicklung von Fast Track Projekten, bei denen Planungs- und Bauprozesse weitgehend parallel ablaufen, erfordert ein systematisches, projektübergreifend formalisiertes Anforderungsmanagement. Das hier vorgestellte generische, axiomatische Anforderungsmanagement-Modell (GAAM-Modell) stellt die mathematische und inhaltliche Verknüpfung zwischen den generischen Sphären der Projektphasen und einer probabilistischen Termin-, Ablauf-, und Ressourcenplanung her. Das Ziel ist es, aus den interaktiven Abhängigkeitsbeziehungen zwischen den einzelnen Prozessschritten einen möglichst parallelisierten Prozessablauf abzuleiten und festzulegen, wann welche Fragen mit den Partnern im Bauprozess zu klären sind. Ein systematisches Anforderungsmanagement verringert Ineffizienzen im Planungs- und Bauprozess und ermöglicht somit dem Unternehmen Kosten zu sparen und gleichzeitig durch frühzeitige Konkretisierung der Zielvorstellungen des Bauherrn die Kundenzufriedenheit zu erhöhen.

Fast Track Projects – Generic, Axiomatic Requirements Management

Abstract Running Fast Track Projects with largely parallelized planning and construction processes requires a systematic, cross-project formalized requirements management. The generic, axiomatic requirements-management-model (GAAM-Model) presented in this paper provides a mathematical and content-based link between the generic spheres of the project phases and a probabilistic time and resource scheduling in order to deduce a largely parallelized process sequence based on the interactive dependences of the processes and to define the points when open questions have to be checked with the project partners. A systematic requirements management reduces inefficiencies in planning and construction processes and helps the construction company to save costs and at the same time increase the customer satisfaction by concretising the customer's objectives at an early stage.

1 Einleitung

Die heutigen Kunden der Bauwirtschaft erwarten nach ihrer Investitionsentscheidung eine beschleunigte Realisierung „time to market“ ihrer Bauprojekte, besonders bei TU- und Systemanbieterprojektentwicklungsformen. Zur Umsetzung dieser beschleunigten Realisierung müssen die Planungs- und Bauprozesse weitgehend parallelisiert werden. Dies verlangt ein systematisches, generisches Vorgehen um die interaktiven Abhängigkeiten zu erkennen, und die Aktivitäten gemäss ihren Abhängigkeiten zu planen und zu bauen. Dadurch soll erreicht werden:

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid
Vorsteher des Instituts für Bauplanung und
Baubetrieb
ETH Zürich, CH-8093 Zürich

- Beschleunigung der Planungs- und Bauprozesse durch weitestgehende Parallelisierung
- Verhinderung von Wiederholungen von Aktivitäten aufgrund unzureichender Vorgängerbetrachtung

Damit wird sichergestellt, dass eine kosteneffiziente, parallelisierte Durchführung von Planungs- und Bauaktivitäten (simultaneous engineering) möglich wird, und somit die nicht wertschöpfenden Aktivitäten vermieden werden. Projekterfahrungen [1] zeigen jedoch, dass besonders bei Fast Track Projects Pläne zehn und mehr Änderungsindizes aufwiesen bevor gebaut werden konnte bzw. manchmal traten Änderungen sogar nach der Ausführung auf, verbunden mit erheblichen Kosten. Die Gründe liegen darin, dass die dem Rohbau zeitlich nachgelagerten Gewerke zu spät mit ihren Auswirkungen auf den Rohbau geplant werden. Oft erfolgt z.B. von den TGA-Planern nur eine Abschätzung von möglichen Leitungsführungen und Dimensionen bei Schal- und Werkplänen. Bei der endgültigen TGA-Planung oder der Nutzerplanung des Ausbaus treten dann umfangreiche Rohbauänderungen auf, die technische Probleme bereiten sowie Terminverschiebungen und Kostenerhöhungen verursachen. Dies betrifft auch die Nutzeranforderungen, die oft zu spät geklärt werden bzw. wenn diese noch nicht vollumfänglich gegeben sind, muss eine entsprechende Flexibilität in der Planung möglichst berücksichtigt werden. Das Anforderungsmanagement hat heute eine besondere Bedeutung bei allen Projekten, besonders jedoch bei funktional ausgeschrieben Projekten. Zur Strukturierung der Bedarfsplanung liefert die DIN 18205 [2] ein gut strukturiertes Fragegerüst. Zur zielgerichteten Planung der Planungs- und Ausführungsaktivitäten bedarf es jedoch innovativer, interaktiver, integrierter Planungsprozesse, um eine hohe Wertschöpfung zu erzielen und die Kundenzufriedenheit zu sichern.

2 Stand der Forschung und Forschungsmethode

Die Notwendigkeit eines systematischen top-down Anforderungsmanagements für die bottom-up Ausführungsplanung besonders bei Fast Track Projects wurde bezüglich der Anforderungen an das Projektmanagement, die Interaktionen des Planungs- und Leistungsprogramms sowie die Koordinierung in [1] beschrieben und praktisch umgesetzt. Zudem wurden Potentiale von Fast Track Projects für die Segmentbauweise untersucht [3].

Die Interaktionen der bottom-up Ausführung mit der top-down Planung wurden in [1] aufgezeigt. Taylor und Moore [4], Albano [5] sowie Melvin und Suh [6] entwickelten die Grundlagen zur Simulation einer axiomatischen Entwurfsstruktur. Diese dient zur interaktiven probabilistischen Critical Path Planung [7], [8] mittels PERT-Methode. Diese wurde erweitert zur GERT-Methode (Graphical Evaluation and Review Technique) [9] mittels der auch zusätzliche Risikoaktivitäten mit Eintretenswahrscheinlichkeiten berück-

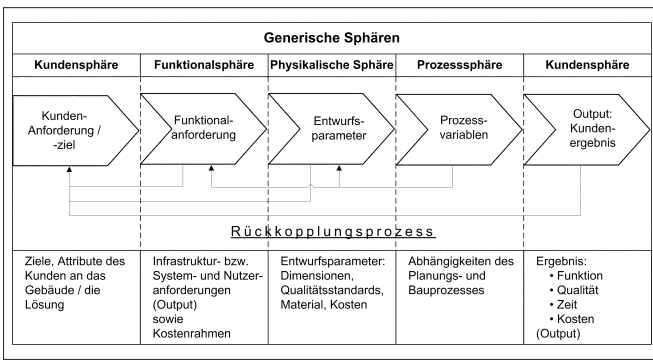


Bild 1. Generische Sphären und Interaktionsprozess
Fig. 1. Generic spheres and interaction process

sichtigt werden. Das hier vorgestellte generische, axiomatische Anforderungsmanagement-Modell (GAAM-Modell) konstruiert und strukturiert die sozio-technische Realität innerhalb von Bau- bzw. Projektprozessen. Zur wissenschaftlichen Abstützung des Modells wird das hermeneutische, konstruktivistische Forschungsparadigma [10], [11] angewendet. Das denklologisch-deduktive GAAM-Modell wird validiert und reliabilitiert durch Triangulation [11], [12]. Der theoretische Bezugsrahmen des denklologisch-deduktiven GAAM-Modells wurde zweistufig gewählt:

- Systemabgrenzung durch die generischen Sphären innerhalb der Projektphasen und die Projektsystemgliederung sowie die dazugehörigen kybernetischen Informationsebenen bzw. Informationsentwicklungen und Informationsflüsse
- Strukturierung der inhaltlichen Interaktionen und zeitlichen Anordnungsbeziehungen durch mathematische Beziehungsstrukturen

Die Triangulation erfolgt mittels theoretischem Bezugsrahmen und Realisierbarkeitstest.

3 Systemabgrenzung

Das Ziel der axiomatischen Planungstheorie [5] ist es die Planung in vier „generische Sphären“ innerhalb der Projektphasen zu gliedern (Bild 1):

- Besteller-/Bauherrensphäre
- Funktionalsphäre
- Physikalische Sphäre
- Prozesssphäre

In der Bauherrensphäre stehen die Kundenziele im Fordergrund, diese werden durch das systematische Anforderungsmanagement erfasst. Aus den Kundenwünschen werden in der nächsten Stufe die funktionalen Anforderungen entwickelt und den Kundenwünschen gegenübergestellt, bzw. mit diesen in Relation gesetzt. Aus den funktionalen Anforderungen werden die Entwurfsparameter abgeleitet und in Relation zu den Funktionalanforderungen gesetzt. Last not least erfolgt die Umsetzung in den Planungs- und Bauprozess. Hierzu ist es erforderlich festzustellen, welche Aktivitäten Vorläuferaktivitäten sind um die Planung bzw. den Bau des jeweiligen Bauteils durchzuführen (Bild 2).

Der generische, axiomatische Prozess eines Fast-Track-Project verlangt eine hierarchische Gliederung des Systems bzw. Projekts (Bild 2). Daher wird das Projekt in

- Gesamtsystem – Standort, Gebäude
- Teilsystem – Geschosse, Räume
- Elemente – Decken, Wände, Fassade
- Eigenschaften – physikalische Eigenschaften, Materialien

untergliedert.

Zudem müssen die „upstream“, „downstream“ und „lateral“ Abhängigkeiten durch die kybernetischen Informationsebenen und die Horizontalgliederung des Systems aufgedeckt und in Relationsmatrizen dargestellt werden.

Dabei bedeutet für den kybernetischen vertikalen Informationsfluss:

- upstream/vorgängig – Vorgänger- bzw. Überordnungsabhängigkeit
- downstream/nachfolgend – Nachfolger- bzw. Unterordnungsabhängigkeit

für die Horizontalgliederung:

- lateral – Nachbarabhängigkeit auf gleicher Hierarchiestufe

Bildet man für die generischen Sphären (Bild 1) die Prozessabhängigkeiten, so entwickeln sich

1. die Entwurfsparameter für jede Funktionalanforderung sowie
2. die Prozessabhängigkeiten aus den Entwurfsparametern.

4 GAAM-Modell – Funktionale axiomatische Beziehungen zwischen den generischen Sphären

Zur Erfüllung der Funktionsanforderungen F_j gilt für die Entwurfsparameter E_i :

$$E_i = (D_{i1}, D_{i2}, \dots, D_{in_D}) \cdot (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_{n_D})^T$$

bzw.

$$(E_i) = (D_{ij}) \cdot (F_j)$$

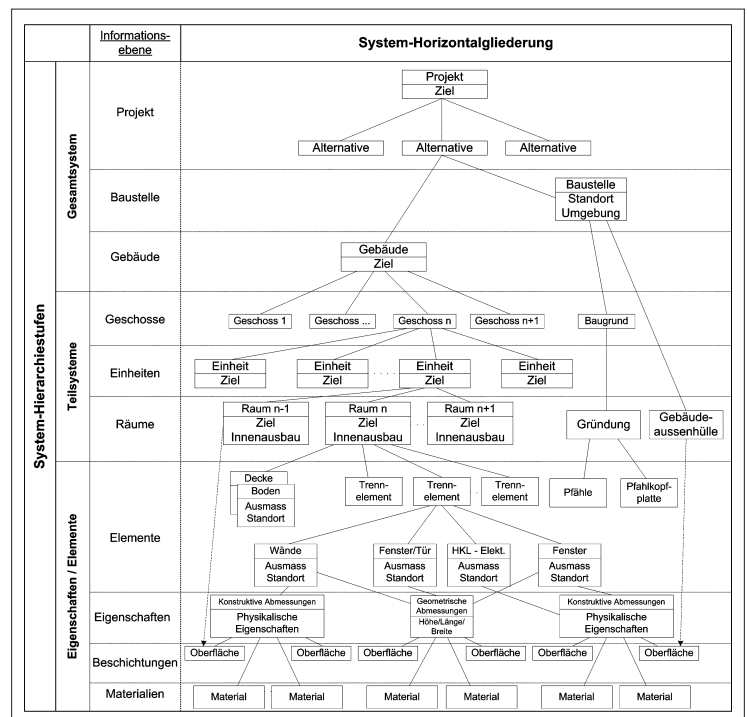


Bild 2. Projektsystemgliederung und kybernetische Informationsverdichtung
Fig. 2. Structure of the project system and cybernetic aggregation of information

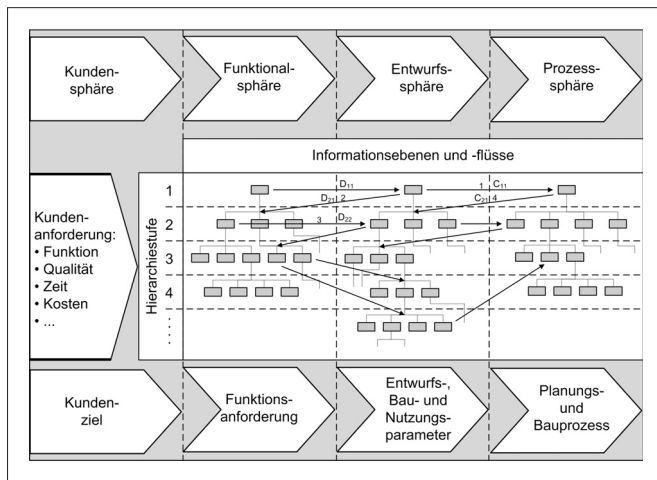


Bild 3. Kybernetische Informations-Interaktionen zwischen den generischen Sphären
 Fig. 3. Cybernetic interaction of information between the generic spheres

- E_i : Entwurfsparameter i
- F_j : Funktionsanforderung j
- D_{ij} : Inhaltlicher Abhängigkeitskoeffizient des Entwurfsparameters i von der Funktionsanforderung j

Der Vektor der Entwurfsparameter

$$\underline{(E_i)} = (E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n)^T$$

muss die Funktionalität F_j eindeutig und ausreichend beschreiben.

Analog müssen die Planungs- und Bauprozesse so abgestimmt werden, dass zu jeder Planungs- und Bauaktivität die nötigen Prozessergebnisse aus den interaktiven „upstream“- und „lateral“-Aktivitäten bzw. die nötigen Entwurfsparameter mit dem Mindestwissen bzw. dem Mindestergebnis vorliegen.

$$\underline{(P_k)} = \underline{(B_{kl}|C_{ki})} \cdot \underline{(P_l)} \underline{(E_i)}$$

$$P_k = (B_{k1}, B_{k2}, \dots, B_{ki}, \dots, B_{kn_B}) \cdot (P_1, P_2, \dots, P_l, \dots, P_{n_B})^T + (C_{k1}, C_{k2}, \dots, C_{ki}, \dots, C_{kn_C}) \cdot (E_1, E_2, \dots, E_i, \dots, E_n)^T$$

- B_{ki} : Zeitlicher Abhängigkeitskoeffizient des Prozessschritts k vom Prozessschritts l
- C_{ki} : Zeitlicher Abhängigkeitskoeffizient des Prozessschritts k vom Entwurfsparameter i
- E_i : Entwurfsparameter i
- P_k/P_l : Prozessschritt (Planungs- und Bauaktivitäten) k bzw. l

Die kybernetischen Abhängigkeiten zwischen den generischen Sphären und axiomatischen Parametern sind in **Bild 3** dargestellt. Die Abhängigkeitskoeffizienten B_{kl} , C_{ki} und D_{ij} liegen im Wertebereich:

$$\{B_{kl}; C_{ki}; D_{ij}\} = [0; +1]$$

Dies bedeutet:

- $\{B_{kl}\}; \{C_{ki}\}; \{D_{ij}\} = 0$ keine Abhängigkeit
- $\{B_{kl}\}; \{C_{ki}\}; \{D_{ij}\} = 1$ volle Abhängigkeit von vorhergehender Aktivität

$\{B_{kl}\}; \{C_{ki}\}; \{D_{ij}\} = \{x|0 \leq x \leq 1\}$ teilweise Abhängigkeit von vorhergehender Aktivität

Es gibt auch Fälle mit reversiver Abhängigkeit, dann gilt:

$$\{B_{kl}\}; \{C_{ki}\}; \{D_{ij}\} = \{x|-1 \leq x \leq 0\}$$

Die Abhängigkeitskoeffizienten geben den ungefähren Arbeitsaufwand der vorhergehenden bzw. parallelen Aktivitäts- bzw. Hierarchiestufen an, jedoch nicht den konkreten Informationsinhalt. Dies sollte im Bezug zum Abhängigkeitskoeffizienten in Listen festgehalten werden.

Ziel der axiomatischen Planungstheorie ist es möglichst viele Projektaktivitäten zielorientiert zu überlappen um damit den Planungs- und Bauprozess zu parallelisieren und den Wertschöpfungsprozess zu optimieren.

Die Beschleunigungsmöglichkeiten der nachfolgenden Aktivitäten hängen stark von der Sensitivität der vorhergehenden Aktivitäten ab. So sind z.B. nachfolgende Aktivitäten von vorhergehenden Aktivitäten parallelisierbar, falls die Informationen in der vorhergehenden schnell für die nachfolgende ermittelt werden kann, ohne dass die vorhergehende fertig ist.

5 GAAM-Modell – Interdependende Informationsdichte bei parallelen Prozessen

Die Überlappungsstrategie muss alle Abhängigkeitsbeziehungen und kybernetischen Informationsentwicklungsfortschritte berücksichtigen um Fehler zu vermeiden. In **Bild 4** sind die möglichen prinzipiellen

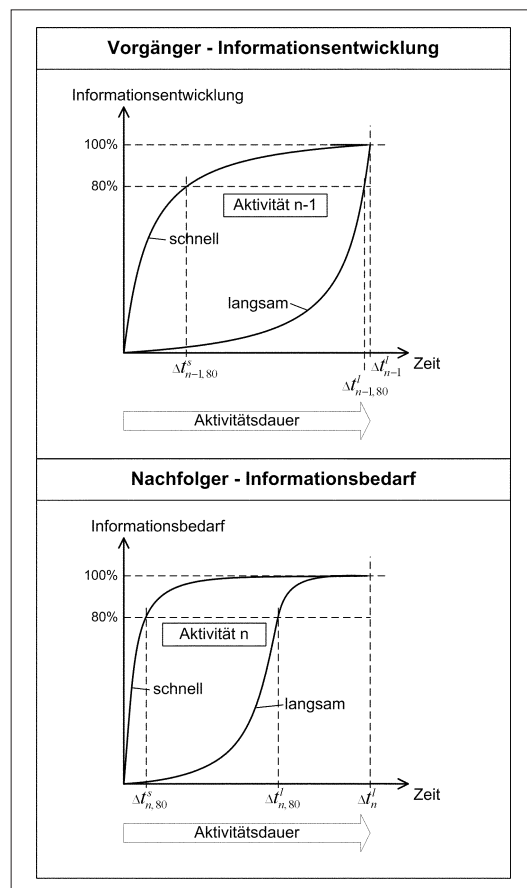


Bild 4. Informationsentwicklung und -bedarfsanforderung
 Fig. 4. Development and demand of information

- Vorgänger-Informationsentwicklungen und
- Nachfolger-Informationsbedarfsanforderungen dargestellt.

Dabei ist in Bild 4 die Informationsabhängigkeit von Vorgänger- und Nachfolger-Aktivitäten dargestellt, die sich langsam bzw. schnell entwickeln. Aus Bild 4 kann man beispielhaft erkennen, inwieweit Aktivitäten zeitlich überlappt werden können, wenn jeweils z. B. 80 % der Vorgängerinformation der Aktivität AK_{n-1} der Nachfolgeraktivität AK_n zur Verfügung stehen müssen. Zudem erkennt man ob die Nachfolgeaktivität AK_n sehr schnell die Vorgängerinformation benötigt oder ob diese noch sehr spät (langsam) zur Verfügung gestellt werden kann.

Die zeitliche Prozessabhängigkeit $B_{n-1,n}$ von den Entwurfsdaten des Vorgängers $n-1$ ist in Bild 5 dargestellt. Die zeitlichen Abhängigkeitskoeffizienten lassen sich wie folgt ermitteln:

$$B_{n-1,n} = \frac{\Delta\Delta t_{n-1,n}}{\Delta t_{n-1}} \quad [-]$$

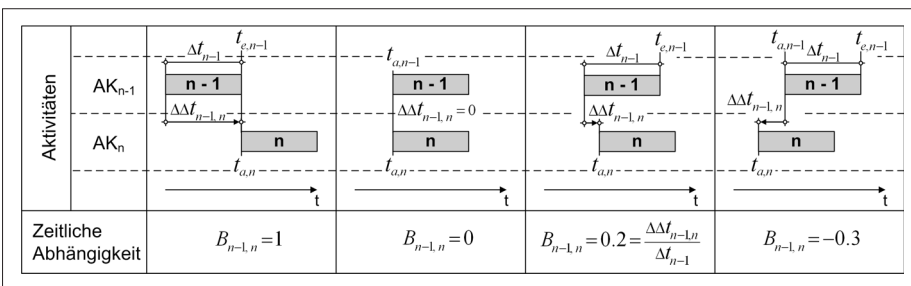


Bild 5. Zeitliche Abhängigkeiten $B_{n-1,n}$
Fig. 5. Chronological dependences $B_{n-1,n}$

- $B_{n-1,n}$: Zeitlicher Prozessabhängigkeitskoeffizient der Entwurfsaktivität n vom Entwurfsergebnis der Aktivität $n-1$
- $\Delta\Delta t_{n-1,n}$: $\{R^-; R_0^+\}$ zeitliche Parallelisierung der Aktivitäten $n-1$ und n
- Δt_{n-1} : Aktivitätszeit der Aktivität $n-1$
- $t_{a,n}$: Anfang der Aktivität n
- $t_{a,n-1}$: Anfang der Aktivität $n-1$
- $t_{e,n}$: Ende der Aktivität n
- $t_{e,n-1}$: Ende der Aktivität $n-1$

In Bild 6 sind in der Vorgänger-Nachfolger-Informationsabhängigkeits-Matrix die Hauptfälle der Überlappung der Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen dargestellt.

Fall 1 – ist sensitiv, weil der Nachfolger fast ganz am Anfang 80 % und mehr an Informationen vom Vorgänger benötigt. In diesem Fall muss quasi die gesamte konsolidierte Information bereitgestellt werden. Der Nachfolger ist meist sensitiv gegenüber Änderungen des Vorgängers.

Fall 2 – ist nicht sensitiv, da dem Nachfolger verteilt, nach und nach die Information interaktiv bereitgestellt werden kann. Kleinere Änderungen beim Vorgänger $n-1$ während des Prozesses n bis zum kritischen Zeitpunkt t_{krit} sind von geringem Einfluss.

Fall 3 – ist mittel-sensitiv für den Nachfolger n , da sehr spät während der Abarbeitung der Aktivität $n-1$ die Informationen auf hohem Konsolidierungsgrad für die Aktivität n bereit stehen. Veränderungen im Ergebnis in der Endphase von $n-1$ sind meist nicht mehr zu erwarten. Jedoch ist der Informationsbedarf in der Anfangsphase der Aktivität n sehr hoch. Bei Änderungen müsste die Anfangsleistung meist komplett wiederholt werden.

Fall 4 – ist ein nicht sehr sensitiver iterativer Prozess zwischen den Aktivitäten $n-1$ und n . Änderungen verursachen meist aufgrund der langsamen Informationsentwicklung und des langsamen Informationsbedarfs einen geringen zusätzlichen Arbeitsbedarf.

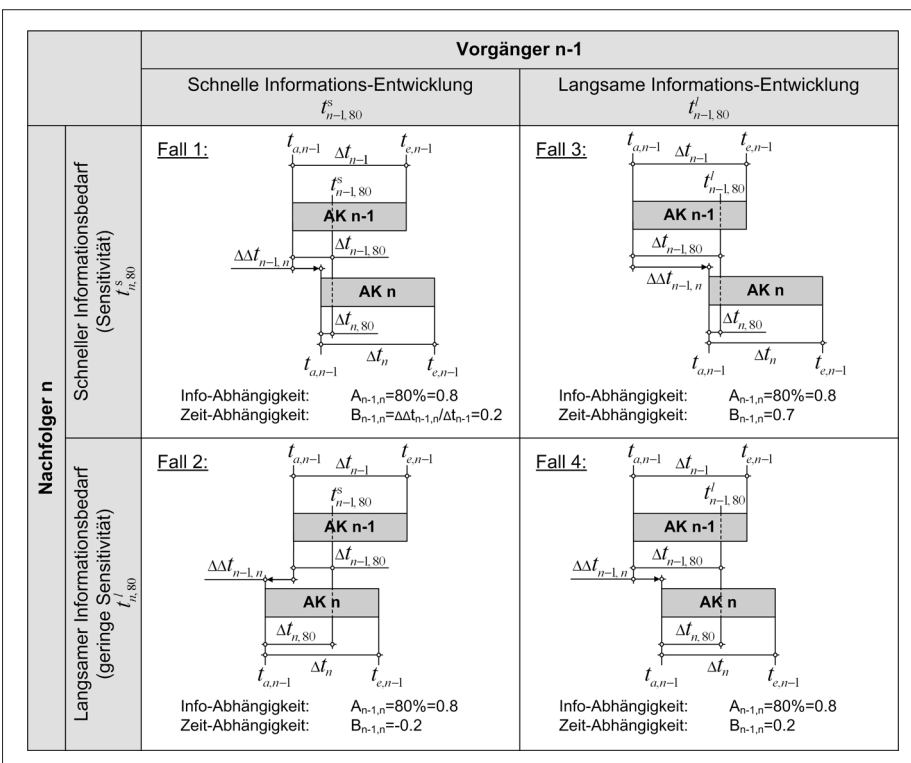


Bild 6. Vorgänger-Nachfolger-Informationsabhängigkeitsmatrix – Auswirkungen der Informationsentwicklung bei den Vorgängern und des Informationsbedarfs der Nachfolger
Fig. 6. Matrix information dependence predecessor/successor – effects of the predecessor's information development and the information demand of the successor

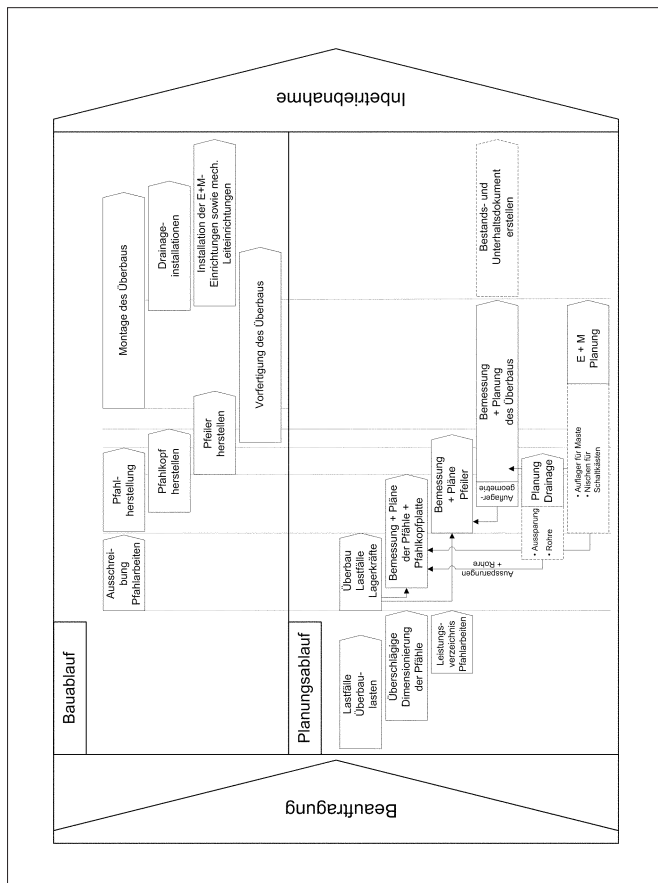


Bild 7. Fast-Track-Brückenbau – vorgefertigter Überbau
Fig. 7. Fast-Track bridge building – precast superstructure

täten für Geräte sowie Materialien. Ziel muss es sein die Bauausführung jederzeit mit gültigen und geprüften Plänen zu versorgen. Dabei treten bei der Parallelisierung von Bau- und Planungsprozessen z.B. bei einem Fast Track Brückenbauprojekt die in Bild 7 dargestellten Probleme auf, da die Prozesse einen hohen Interaktionsgrad bei gleichzeitiger Parallelisierung aufweisen [1].

Dabei tritt als Besonderheit hinzu, dass zur Dimensionierung und Planung der Pfähle sowie Pfahlkopfplatten alle Lastfälle des Überbaus, die Geometrie und damit die Auflagerkräfte mit einer überschlägigen Pfeilerberechnung vorliegen müssen, obwohl der Überbau erst Monate später endgültig dimensioniert und geplant werden muss (Bild 7). Ferner müssen z. B. bei der Herstellung der Pfahlkopfplatte meist schon Rohre bzw. Aussparungen für die Drainage und Elektro- und Steuerungskabel vorgesehen werden.

Die Abhängigkeitsbeziehung zwischen Planungsprozess „Pfehl- und Pfahlkopfplanung“ und nachfolgenden und vorgängigen Entwurfsaktivitäten bzw. zu ermittelnden Entwurfparametern ist in Bild 8 dargestellt. Das bedeutet, dass diese Entwurfparameter zeitlich vorgezogen werden müssen, um einen fehlerfreien, zielorientierten Planungsablauf zu sichern.

Ferner sind in Bild 9 die inhaltlichen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Entwurfparameter und Entwurfsvorbereitungen und Funktionalanforderungen dargestellt.

Damit lässt sich die axiomatische Beziehung zwischen funktionalen Entwurfsanforderungen und Prozessabhängigkeiten z.B. der Gründungsplanung (Pfähle/Pfahlkopf) herstellen. Mit Hilfe einer solchen generischen, axiomatischen Vorgehensweise lassen sich besonders bei komplexen Projekten die Abhängigkeiten ermitteln und darauf aufbauend lässt sich die deterministische oder probabilistische Termin- und Ressourcenplanung durchführen.

Die Planungsprozessbeziehungen ergeben sich wie folgt:

$$(P_{Bauteil\ x,k}) = (B_{kl} | C_{ki}) \cdot \left(\frac{P_i}{E_i} \right)$$

(B_{kl}) : Zeitliche Abhängigkeitskoeffizientenmatrix der Prozessschritte k von den Prozessschritten l des Bauteils x

(C_{ki}) : Zeitliche Abhängigkeitskoeffizientenmatrix der Prozessschritte k von den Entwurfparametern i des Bauteils x

(E_i) : Vektor der Entwurfparameter i
 $(P_{Bauteil\ x,k})$: Vektor der Prozessschritte (Planungs- und Bauaktivitäten) k des Bauteils x

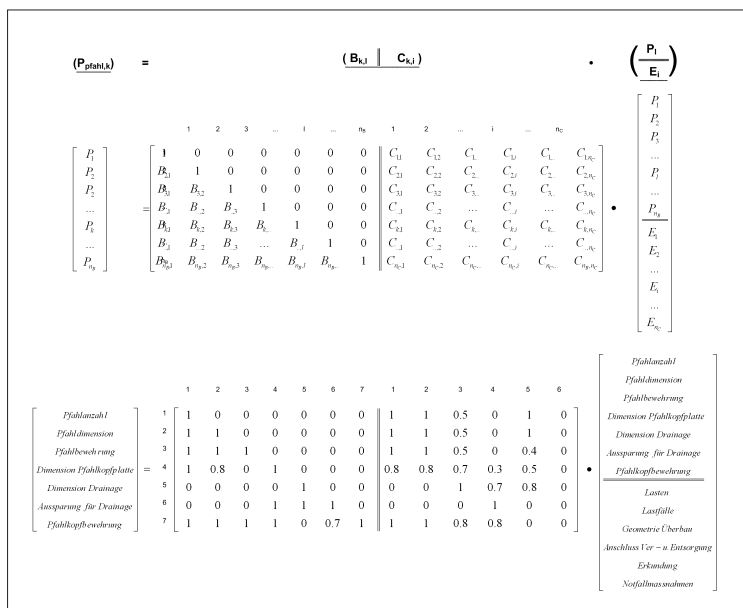


Bild 8. Zeitliche Abhängigkeitsbeziehungen der Pfehl- und Pfahlkopfplanungsprozesse von den Prozess- und Entwurfsergebnissen vorheriger Planungsprozesse
Fig. 8. Chronological dependences of the pile and pilecap-planning processes on the results of predecessor planning-processes

6 GAAM-Modell – Beispiel zur Parallelisierung von Planungs- und Bauaktivitäten

Die Umsetzung der Bauplanung mittels Terminplanung erfolgt unter Berücksichtigung der Interaktionen der Ausführungsaktivitäten für Gebäudeteile und Bestellaktivi-

Die Planungsprozesse hängen inhaltlich sowohl von den Ergebnissen vorheriger Planungsprozesse als auch von Entwurfparametern ab. Diese Abhängigkeiten werden in den Matrizen (B_{kl}) und (C_{ki}) abgebildet. In dem Vektor $(P_{Bauteil\ x,k})$ werden die Prozesse entsprechend ihres Anfangszeitpunktes sortiert, d.h. die sequentielle Nummerierung erfolgt rückwärts abgestuft in der Reihenfolge der Anfangsbeziehungen. Daraus resultiert, dass die Matrix (B_{kl}) , in der die Abhängigkeiten der

| | | | | |
|--|---|--|---|---|
| (E_i) | = | (D_{ij}) | · | (F_j) |
| | | 1 2 3 4 5 6 7 8 | | |
| $\begin{bmatrix} \text{Lasten} \\ \text{Lasterfälle} \\ \text{Geometrie Überbau} \\ \text{Anschluss Ver- u. Entsorgung} \\ \text{Erkundung} \\ \text{Notfallmassnahmen} \end{bmatrix}$ | = | $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0.5 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0.5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ | · | $\begin{bmatrix} \text{Brückenfläche} \\ \text{n Spuren} \\ \text{Spurbreite} \\ \text{Höhenlage} \\ \text{Lasiklassen} \\ \text{Normen} \\ \text{Ver- u. Entsorgung} \\ \text{Notfälle} \end{bmatrix}$ |

Bild 9. Inhaltliche Abhängigkeitsbeziehungen zwischen funktionalen Anforderungen des Brückenbauprojekts und den Entwurfsparametern

Fig. 9. Content-based dependences between the bridge building project's functional requirements and the design parameters

einzelnen Prozesse abgebildet werden, stets in der unteren Dreiecksform vorliegt. Auf der Diagonalen (Abhängigkeit eines Prozessschritts von sich selbst) steht immer der Wert eins, oberhalb der Diagonalen sind alle Abhängigkeitskoeffizienten gleich null. Bestünde eine Abhängigkeit zwischen einem Prozessschritt und dem Ergebnis eines erst später beginnenden Prozessschritts, was zu einem Eintrag ungleich null oberhalb der Diagonalen in der Abhängigkeitskoeffizientenmatrix (B_{kl}) führen würde, so müssten die Prozessschritte neu sortiert und die Nummerierung geändert werden, da ein reibungsloser Prozessablauf sonst nicht möglich ist.

Die inhaltliche Abhängigkeit der Entwurfsparameter, die zum Zeitpunkt der Angebotsabgabe bekannt sein sollten und den Funktionalen Anforderungen ergeben sich zu:

$$(E_i) = (D_{ij}) \cdot (F_j)$$

(D_{ij}) : Inhaltliche Abhängigkeitskoeffizientenmatrix der Entwurfsparameter i von den Funktionalen Anforderungen j

(E_i) : Entwurfsparameter i

(F_j) : Funktionale Anforderung j

Da diese Abhängigkeiten sich auf den Zeitraum vor z.B. der Konzeptphase, also auch vor der Ausführung beziehen, werden sie hier nur inhaltlich, ohne zeitliche Komponente dargestellt. Eine zeitliche Abhängigkeit liesse sich aber analog zu den Planungsprozessbeziehungen darstellen.

Bei Fast-Track-Projekten gilt ein Grundsatz:

Die Planung muss vorlaufend, unter Berücksichtigung aller Prüf- und Genehmigungszeiten auf den Bauablauf abgestimmt werden.

Denn während der Bauproduktion sind Stillstandszeiten durch fehlende oder falsche Planung kostenintensiv aufgrund der hohen Personal- und Gerätekosten. Zudem müssen Änderungsarbeiten aufgrund unzureichender Entwurfsparameter oder unzureichender interaktiver Planungsinformationen vermieden werden. Dies muss bei der Planung unbedingt berücksichtigt werden.

7 GAAM-Modell als Grundlage der Zeitplanungsmethoden

Mittels Critical Path Method (CPM-Method) [7] bzw. in Kombination mit der "Program Evaluation and Review

Technique" (PERT) [8] oder neuerdings mit der "Graphical Evaluation and Review Technique" (GERT) [9] erfolgt die Umsetzung der generischen axiomatischen Planungsbeziehungen in einen Terminplan. Mit der PERT-Methode [8] lassen sich mögliche Streuungen der Aktivitätsdauern durch je drei Werte: Erwartungs-, Minimal- und Maximaldauer innerhalb einer Verteilungsdichte charakterisieren.

$\Delta t_{EW,i}$: Modaldauer/Erwartungswert der Aktivität i

$\Delta t_{min,i}$: Minimaldauer der Aktivität i

$\Delta t_{max,i}$: Maximaldauer der Aktivität i

Damit ergibt sich der Erwartungswert (Modaldauer) der Aktivität i

$$E(t_i) = \frac{\Delta t_{min,i} + 4 \cdot \Delta t_{EW,i} + \Delta t_{max,i}}{6}$$

Standardabweichung der Aktivität i

$$\sigma_{T,i} = \frac{\Delta t_{max,i} - \Delta t_{min,i}}{2}$$

Varianz der Aktivität i

$$v_i = \sigma_{T,i}^2$$

Die probabilistische Zeitdauer und der kritische Weg mit Erwartungswert und Varianz wird analog zur Monte Carlo Simulation ermittelt. Dabei werden die Zufallsereignisse bezüglich Abweichung vom Erwartungswert durch Simulation ermittelt. Dabei gilt der zentrale Grenzwertsatz der Stochastik mit dem Erwartungswert des Projektendes:

$$E(T_{Ende}^{krit}) = \sum_{i=1}^n (E(T_i^{krit}))$$

und der Streuung des Projektendes mit:

$$\sigma_{T,krit}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{T,krit,i}^2$$

$E(T_{Ende}^{krit})$: Erwartungswert des Projektendes auf dem kritischen Weg

$E(T_i^{krit})$: Erwartungswert der Einzelaktivität auf dem kritischen Weg

$\sigma_{T,krit}^2$: Streubreite des Erwartungswerts des Projektendes

$\sigma_{T,krit,i}^2$: Streubreite der einzelnen Projektdauer auf dem kritischen Weg

n: Anzahl der Aktivitäten auf dem kritischen Weg

Die GERT-Methode [9] ermöglicht neben der probabilistischen Vorgangsdauervorgabe wie bei der PERT-Methode, zusätzlich die Berücksichtigung von Risikoaktivitäten, die sich aus der Risikoanalyse ergeben. Wird z.B. das Risiko

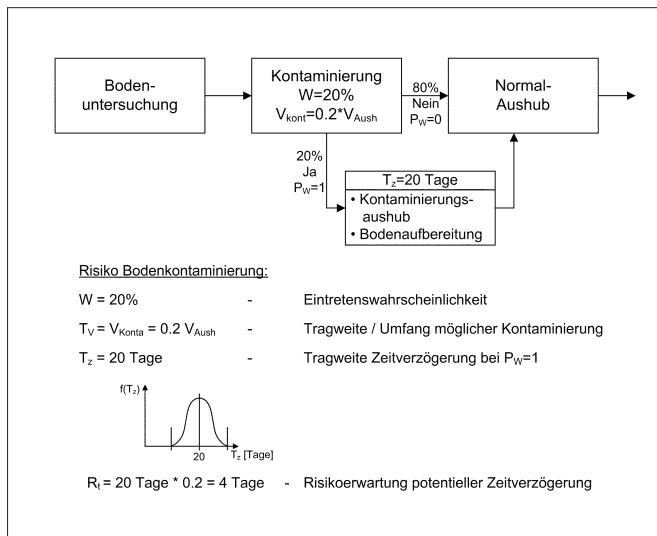


Bild 10. GERT – Berücksichtigung von Risikoaktivitäten
 Fig. 10. GERT – consideration of risk activities

einer Baugrundkontaminierung beim Aushub als mögliche Unsicherheit identifiziert, so wird diese mit ihrer probabilistischen Auftretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt (Bild 10).

Die in der Risikoanalyse identifizierten Risiken, die zeitrelevant werden, werden alle im Netzplan als Risikoaktivitäten bei der GERT-Methode berücksichtigt. Da nicht alle Risiken in ihrer vollen Tragweite oder überhaupt auftreten, bietet die Simulation des Bauablaufs mit der GERT-Methode eine realistische Basis für die risikobasierte Terminplanung unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Risikomanagements [13]. Dabei werden in jedem Simulationslauf aufgrund der

- Verteilungsfunktion $F(T_j)$ der Aktivitätsdauer $A(T_j)$ im Intervall $(T_{j,min}, T_{j,max})$ mittels Zufallsvariablen $Z_{A(T_j)} = \{Z_{A(T_j)} \in \mathbb{R}^+ | 0 \leq F(T_j) \leq 1\}$ die Ausprägung von T_j im Gültigkeitsintervall bestimmt, sowie aufgrund der
- Zufallsvariablen Z_{W_j} der Eintretenswahrscheinlichkeit $P_{W_j} = \alpha_j$ mit der Ausprägung $W_j = (0 \vee 1)$ des Einzelrisikos j bestimmt, ob das Risiko eintritt oder nicht. Dabei wird im Rahmen des Szenario-Samplings [13] $Z_{W_j} = 0$ mit einer Häufigkeit von ca. $1 - \alpha_j$ auftreten und $Z_{W_j} = 1$ mit einer Häufigkeit von α_j . Die zweite Zufallszahl $Z_{R(T_j)}$ bei Risikoaktivitäten bestimmt dann aus der Verteilungsfunktion $F_j(R(T_j))$ der Risikoaktivität R_j die zeitliche Ausprägung der Risikoaktivität im Gültigkeitsintervall $(R_{j,min}(T_j); R_{j,max}(T_j))$.

In jedem Iterationslauf wird dann die Projektdauer ermittelt. Diese ist dann normalverteilt nach dem zentralen Grenzwertsatz der Stochastik.

8 Fazit

Mittel generisch, axiomatischem Ansatz erhält das Anforderungsmanagement eine mathematische Relationsverknüpfung zwischen den prozessbestimmenden Sphären und der probabilistischen Termin- und Ablauf- sowie Ressourcenplanung. Dadurch kann das Anforderungsmanagement projektübergreifend formalisiert werden. Die projektübergreifende Formalisierung erfordert projektartenspezifische Forschung um die neuen innovativen Projektentwicklungsformen die einen weitgehend integralen Ansatz verfolgen (CM, TU, GU, Lebenszyklusanbieter) noch effizienter zu machen. Dadurch werden Zeit und Kosten eingespart, und der Bauherr wird gezielter seine Bedürfnisse klären können. Anforderungsmanagement ist heute eine zentrale Aufgabe bei allen Projektentwicklungsformen um die Zielvorstellungen des Bauherren schnell und zielsicher zu konkretisieren. Damit steht bereits frühzeitig fest, was für Kosten zu erwarten sind und in welchem interaktiven zeitlichen Rahmen die ausstehenden Fragen unter den Partnern zu klären sind.

Literatur

- [1] Girmscheid, G.: Fast Track Projects – Anforderungen an das moderne Projektmanagement. In: Bautechnik, Nr. 73, 1996, S.471–484
- [2] DIN 18205: Bedarfsplanung im Bauwesen. Beuth Verlag, Berlin, 1996
- [3] Girmscheid, G.; Hartmann, A.: Fast Track Projects im Brückenbau – Anwendung und Bauprozess der Segmentbauweise mit externer Vorspannung. In: Bauingenieur, Band 74, 1999
- [4] Taylor, B. W.; Moore L. J.: R&D Projekt Planning with Q-GERT Network Modelling and Simulation. In: Management Science, Vol. 26, No.1, 1980, S. 44–59
- [5] Albano, L. D.: An Axiomatic Approach to Performance-Based Design. Ph.D.-Thesis, MIT Cambridge, MA, USA, 1992
- [6] Melvin, J. W.; Suh, N. P.: Simulation in the Axiomatic Design Framework. In: CIRP Annals, Vol.51, No.1, 2002
- [7] O'Brian J. J.; Plotnick F. L.: CPM in Construction Management. McGraw-Hill, New York, 1999
- [8] Neumann, K.: Stochastic Project Networks. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1990
- [9] Moore, L. J.; Clayton E. R.: GERT Modeling and Simulation: Fundamentals and Applications. Krieger Publishing, Melbourne FL USA, 1976
- [10] Guba, E. G.; Lincoln, Y. S.: Competing paradigms in qualitative research. Chapter 6 (p. 105–118) in Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (eds.): Handbook of Qualitative Research, Thousand Oaks, Ca.: Sage, 1994
- [11] Girmscheid, G.: Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften. Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich, 2004
- [12] Yim, R. K.: Case Study Research: Design and Method, 3rd ed., Thousand Oaks, Ca.: Sage, 2002
- [13] Girmscheid, G.; Busch, T.: Ganzheitliches Risikomanagement in Generalunternehmungen. Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, 2003