

Systemauswahl und Bereitstellungsvariante von Bauproduktionseinrichtungen – Prognosemodell

G. Girmscheid

Zusammenfassung Viele Bauunternehmen verwenden weder bei der Auswahl des Produktionssystems für die Projekte noch für die langfristige strategische Entscheidung bezüglich Besitz- oder Mietmodell für Produktionseinrichtungen systematische Analyse- und Prognosewerkzeuge. Im Rahmen des Seminars „Bauinventarmanagement“ an der ETH Zürich wurde für Bauunternehmen ein Analysemodell zur Ermittlung des zukünftigen Bedarfs an Bauproduktionseinrichtungen der strategischen Geschäftseinheiten (SGE) der Bauunternehmen, der wirtschaftlichen Systemauswahl auf Projektebene und der Bereitstellungsvarianten auf Unternehmensebene entwickelt. Dieser Beitrag stellt das Konzept des Gesamtmodells und das Prognosemodell als Teilmodell vor. In einem weiteren Beitrag wird das Entscheidungsmodell zur Systemauswahl und Bereitstellung vorgestellt.

System selection and alternative approaches to providing construction production equipment – Forecast model

Abstract Many construction companies do not take advantage of systematic analysis and forecasting tools when selecting production systems for projects nor when making long-term strategic decisions with regard to purchasing or leasing models for production equipment. As part of the "Construction inventory management" seminar at ETH Zurich, an analysis model was developed to enable construction companies to determine the future construction production equipment requirements of their strategic business units (SBUs), the commercial selection of a system at project level, and the provision alternatives at company level. This paper presents the concept of the overall model, and the forecast model as a part of the same. A further paper will address the decision-making model for system selection and provision.

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

1 Einleitung

Bei Investitionen in bzw. der Miete von Produktionseinrichtungen muss ein Bauunternehmen neben der projektspezifischen bzw. projektgruppenspezifischen auch eine längerfristige unternehmensspezifische Wirtschaftlichkeitsbeurteilung durchführen, um zu einer fundierten Entscheidung zu gelangen.

Für eine fundierte Entscheidung von strategischen Geschäftseinheiten (SGE) bzw. Gesamtunternehmen über Investitionsgüter im Bereich von Produktionseinrichtungen für Baustellen muss man sich auf der Basis einer Wirtschaftlichkeitsanalyse mit den folgenden Bedingungsgrößen wie

- Markt und Marktwachstum,
- Kundenbedürfnisse und Kundenwünsche,
- Produktionstechnik und Produktionstechnikentwicklung sowie mit den Konkurrenten und Strategien wie auch mit der Situation des eigenen Unternehmens auseinandersetzen.

Mit dieser Fokussierung und dem einhergehenden Monitoring dieser Einflussparameter erhält jede Wirtschaftlichkeitsanalyse eine fundierte Basis, trotz der Unsicherheiten in der Prognose der Bedingungsgrößen.

Jedoch erfolgt heute bei fast allen Bauunternehmen besonders der Kauf von Geräten in Form einer Ersatzbeschaffung oder auf einer intuitiven Einschätzung des zukünftigen Bedarfs aufgrund der Auslastung bzw. des Mietbedarfs aus den letzten abgewickelten Aufträgen.

Um jedoch eine langfristige zielorientierte Unternehmensentwicklung zu sichern, ist eine systematische Entscheidungsfindung notwendig, die die Strategie des Unternehmens und/oder strategischen Geschäftseinheit in den Fokus stellt, sowie die genannten Bedingungen und die potentielle Marktverfügbarkeit von den jeweiligen Produktionsgeräten beachtet.

Die heutigen modernen Strukturkonzepte der Unternehmensgliederung in strategische Geschäftsfelder (SGF) [1] gemäß den Gliederungskriterien

- Kundengruppen,
- Leistungs-/Produktgruppen,
- analoge Prozesse der Herstellung,
- gleichartige Produktionsgeräte

ermöglichen eine geschäftseinheitsspezifische Inventarbereitstellung. Die Zusammenfassung der SGF zu strategischen Geschäftseinheiten (SGE) erfolgt nach gleichen Herstellungsprozessen und Produktionseinrichtungen trotz unterschiedlicher Kundengruppen und möglicherweise unterschiedlichen, sich ausgleichenden Nachfragezyklen. Das führt dann zu einer spartenorientierten Produktionseinrichtungsbereitstellung in den SGE (**Bild 1**). Dann kann gezielt die Geschäftsstrategie der SGE wie folgt umgesetzt werden:

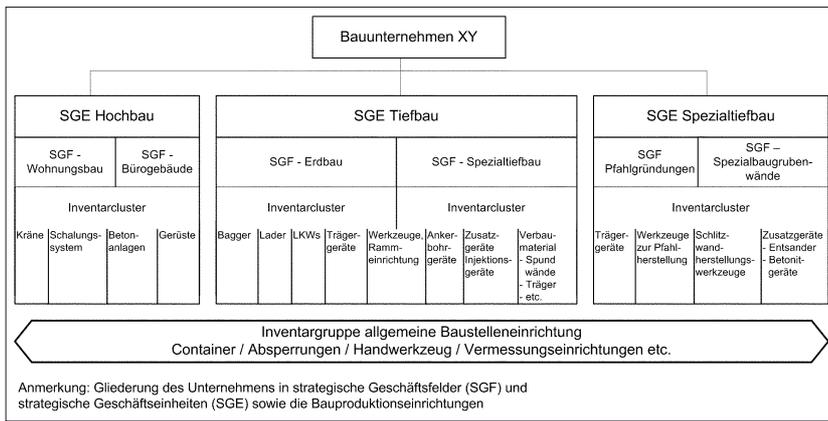


Bild 1. Inventarbereitstellung – Strategisches Konzept
 Fig. 1. Provision of inventory – Strategic concept

- Spartenstrategie – Kostenführerschaft/Differenzierung/Konzentration
- Spartenumsatzprognose – Nachfrageentwicklung/Konkurrenz
- Kernkompetenzprofilstrategie – Differenzierung oder nicht
- Wertschöpfungstiefenstrategie – Eigenherstellung oder durch Nachunternehmer

In modernen, nach SGE organisierten Unternehmen muss die Gerätebereitstellung spartenorientiert geplant und organisiert werden, um die strategische Ziele der SGE durch Supportleistungen zu unterstützen.

2 Stand der Forschung

Schmidt [2] unterscheidet die Investitionstheorie in eine deskriptive zur Beschreibung von Planung und Kontrolle, in eine explikative zur Entdeckung der Ursachen-Wirkungsbeziehung und in eine präskriptive zur Auswahl aus einer Entscheidungsvielfalt. Integrierte Investitionsmodelle [3] berücksichtigen nicht nur die endogenen Voraussetzungen des Unternehmens sondern auch die exogenen des Kapitalmarktes. Dabei werden multivariable Kriterien der Geldgeber bei Nutzung externer Finanzierungsquellen berücksichtigt. Bitz [4] analysiert zusammenfassend die Investitionsplanung bei unsicheren Erwartungen. Dabei benutzt er die wahrscheinlichkeitgestützte Alternativrechnung mittels Entscheidungsbaumverfahren und stochastischer und portfoliotheoretischer Analysen. Mit der Investitionsplanung und -kontrolle beschäftigt sich Lüder [5]. Die Investitionsprogrammplanung [6] beschäftigt sich mit dem Umgang einer Vielzahl von einzelnen Investitionsprojekten im Unternehmen. Dies wird unter sicheren und unsicheren Bedingungen betrachtet. Die Investitionsrechnung [7] formuliert nomothetisch mittels finanzmathematischer Ansätze, die statische Investitionsrechnung für relativ kurzfristige Betrachtungszeiträume und die dynamische Investitionsrechnung für die langfristigen Betrachtungszeiträume von Investitionen oder Investitionsprogrammen. Bei der langfristigen Betrachtung wird die Kapitalwert- bzw. Net-Present-Value- (NPV-) Methode angewendet. Die dynamische Investitionsrechnung wird heute in der stationären Industrie weitgehend angewendet. Im Regelfall handelt es sich um Produktionsanlagen, die ein Plattformprodukt über den Abschreibungszeitpunkt herstellen. Somit ist die Anwendung und Leistungsfähigkeit eindeutig definiert.

In der Bauindustrie ist die Investition in Produktionseinrichtungen wesentlich komplexer hinsichtlich der zukünftig benötigten Leistungsfähigkeit. Denn die Projekte haben fast alle Unikatscharakter, dadurch ist es wesentlich schwieriger das optimale Gerät und Bauhilfsmaterial als Besitzmodell vorzuhalten anstatt projektspezifisch das passende Mietgerät zu beschaffen.

Daher müssen Projektcluster nach produktionstechnischen Gesichtspunkten gebildet werden, denen Geräte mit spezifischen Leistungen oder Bauhilfsmaterial mit spezifischen Anwendungsfeldern zugeordnet werden.

Boussabaine und Kirkham [8] haben die NPV-Methode im Bauwesen für Lebenszyklusbetrachtungen und deren probabilistische Verteilung eingeführt. Girmscheid hat einerseits probabilistische LC-NPV-Modelle zur Entscheidungsfindung mit wirtschaftlicher Bewertung von alternativen baulichen Anlagen [9] und Bewertung von Aufgabenerfüllungs-PPP [10] entwickelt. Besonders die inhaltliche und zeitliche Systemabgrenzung [11] wird in diesen Modellen herausgearbeitet und somit speziell die Lücke bezüglich Systemabgrenzungen von baulichen Anlagen geschlossen. Das hier entwickelte Modell baut auf diesen Modellkonstrukten sowie den innewohnenden inhaltlichen und zeitlichen Systemabgrenzungen auf. Ferner wird, aufbauend auf der von Girmscheid entwickelten Bauproduktionstheorie [12], [13], [14], die Spezifität der unikaten Bauprojekte und deren Auswirkung auf die Systementscheidung sowie auf die Besitz- und Mietmodellentscheidung modelliert. Damit entsteht ein neues Investitionsentscheidungsmodell für Bauunternehmen das sich gliedert in:

- Prognosemodell bezüglich des zukünftigen Bedarfs
- Prognosemodell für projektspezifische Anforderungen
- Prognosemodell für unternehmensspezifische Anforderungen

Damit steht den Bauunternehmen ein mathematisch, probabilistisch strukturiertes Entscheidungswerkzeug für die projektspezifische Systemauswahl und für die unternehmerische Miet- oder Besitzmodellauswahl zur Verfügung, das auf einer prospektiven Prognose aufbaut, die sich auf einer retrospektiven Analyse abstützt.

3 Modellansatz – Bedarfsermittlung und Wirtschaftlichkeitsanalyse

Eine Prognose bezeichnet die Vorhersage eines Ereignisses, Zustandes oder einer Entwicklung [15]. Ein wesentliches Merkmal von Investitionsentscheidungen ist ihre Zukunftsbezogenheit, weshalb solche Entscheidungen stets auf Prognosen oder prognostischen Erwartungen beruhen. Da dem Entscheidungsträger zum Entscheidungszeitpunkt nur unvollkommene Informationen vorliegen, müssen Investitionsentscheidungen somit objektiv unter Unsicherheit gefällt werden.

Quantitative Prognosetechniken basieren auf Heuristiken und Rechenverfahren und demzufolge hauptsächlich auf der Aufarbeitung von vorhandenem retrospektivem Datenmaterial und auf einem prognostizierten Szenario. Im Gegensatz zu qualitativen Prognosen geben sie konkrete, zahlenmäßige Resultate für zukünftige Entwicklungen und werden deshalb zur Vorbereitung der Investitionsentscheidung und damit der

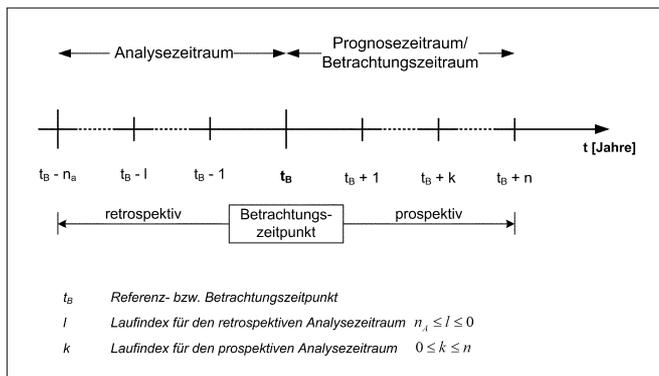


Bild 2. Betrachtungszeiträume für den Wirtschaftlichkeitsvergleich
 Fig. 2. Analysis periods for comparing cost efficiency

Entscheidungsfindung bezüglich der alternativen Bereitstellungsvarianten von Produktionseinrichtungen wie Bauhilfsmaterialien und Geräten verwendet.

Bei diesem Wirtschaftlichkeitsbewertungsmodell von alternativen Bereitstellungsvarianten muss zuerst der mögliche zukünftige Bedarf an Geräten und Bauhilfsmaterialien prognostiziert werden.

Darauf aufbauend wird der projekt- bzw. projektgruppenspezifische statische Kostenvergleich für die Systemwahl (Selektion) der Bauproduktionseinrichtung $\{\Omega\}$ wie Geräte, Anlagen, Schalungssysteme, Baugrubenverbau etc. durchgeführt. Anschließend wird das alternative unternehmensspezifische Bereitstellungsmodell (Miet- oder Besitzmodell) mittels dynamischen Net-Present-Value-Vergleich (NPV), basierend auf dem Net-Present-Value-Axiom und dem Net-Present-Value-Effizienzaxiom, bewertet [10]. Hierbei werden zunächst die einzelnen Ausgangskomponenten für die Systemvarianten für Produktionseinrichtungen $\Omega = \{A, B, C \dots\}$ und den beiden alternativen Bereitstellungsvarianten $\lambda = \{B \vee M\}$ erhoben und anschließend als Berechnungsgrundlage für den Wirtschaftlichkeitsvergleich unter Beachtung der jeweiligen Preissteigerungen und Geldwertentwicklung benutzt.

Das Wirtschaftlichkeitsbewertungsmodell wird somit untergliedert in ein:

- Prognosemodell zur Ermittlung der prospektiven Geräte, Anlagen und des Bauhilfsmaterialbedarfs auf der Grundlage von retrospektiven Ausgangsdaten
- Prognosemodell zur Analyse der Wirtschaftlichkeit projektspezifischer bzw. projektgruppenspezifischer Geräte, Anlagen und Bauhilfsmaterialien mittels statischen Kostenvergleichs (Projektebene)
- Prognosemodell zur Analyse der Wirtschaftlichkeit der unternehmensspezifischen Bereitstellungsvarianten (Miet- oder Besitzmodell) von Geräten, Anlagen und Bauhilfsmaterialien mittels dynamischem Kostenvergleich (Unternehmensebene)

Die Unsicherheiten des zukünftigen Bauproduktionsgeräte- und Bauhilfsmaterialbedarfs und der damit verbundenen Ausgaben können durch Vorgabe der Bandbreiten der Auslastung und der Kosten in der Wirtschaftlichkeitsanalyse mittels einer probabilistischen Berechnung unter Zuhilfenahme der Monte Carlo Simulation (MCS) abgeschätzt werden.

Die Monte Carlo Simulation wird derzeit in der Wissenschaft zur Bewertung von unscharfen Ereignissen herangezogen, die auf keiner statistischen Grundbasis beruhen, so auch bei der Bewertung von Risiken eines Bauprojekts [16] und der anschließenden Wahl des geeigneten Bauvertrags [17] bzw. der geeigneten Projektabwicklungsform [18].

3.1 Prognosemodell zur Ermittlung des Bauproduktionsmittelbedarfs

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeitsprognose der projektspezifischen Produktionssysteme sowie der Bereitstellungsvarianten (Besitz- bzw. Mietmodell) verschiedener Geräte, Anlagen und Bauhilfsmaterialien muss für eine spezifische strategische Geschäftseinheit (SGE) der zukünftige Bedarf bzw. der zusätzliche zukünftige Bedarf an Inventar wie Geräte, Anlagen sowie Bauhilfsmaterialien ermittelt werden.

Der Inventar- und Bauhilfsmaterialbedarf muss aus den zukünftig prognostizierten Umsatzzahlen abgeleitet werden. Für solche Investitionsplanungen sind damit Umsatzprognosen der SGE für die nächsten $n \sim 5$ Jahre erforderlich [1].

Folgendes Bedarfsprognosekonzept wird zugrunde gelegt (Bild 2):

- Retrospektiv – Umsatzzahlen z.B. der letzten 5 Jahre sowie Summe der jährlich (ungefähr) ausgeführten Leistungen nach SGF-Cluster (Bild 1)
- Retrospektiv – Vorhaltenemgen an Inventar und Bauhilfsmaterial sowie der mittleren Einsatzhäufigkeit pro Jahr $[e^{\Omega, m}]$ bzw. Vorhaltungsdauer pro Jahr/Vorhalteausnutzungsgrad in x [%] der Gesamtjahresarbeitstage nach SGF-Cluster
- Prospektiv – Prognostizierte Umsatzentwicklung in den nächsten 5 Jahren entsprechend der Marktentwicklung/-tendenz im SGF-Cluster
- Prospektiv – Ermittlung zukünftig notwendiger Vorhaltenemgen an Inventar und Bauhilfsmaterial für das SGF bzw. die SGE aufgrund der prospektiven Umsatzentwicklung und der proportional hochgerechneten Vorhaltenemgen pro Einheitsumsatz

3.2 Systemkonfiguration des Wirtschaftlichkeitsbewertungsmodells

Grundlage eines aussagekräftigen Wirtschaftlichkeitsvergleichs für alternative Bereitstellungsvarianten von Produktionseinrichtungen ist eine klare Systemabgrenzung des verwendeten Modells. Dazu ist es erforderlich von vergleichbaren Randbedingungen auszugehen. Es muss also sowohl eine inhaltliche, wie auch eine zeitliche Systemabgrenzung für die Betrachtung definiert werden.

Im Folgenden werden zwei interagierende Modelle zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Bauproduktionseinrichtungen bzw. Bauhilfsmaterialien einer SGF bzw. SGE für die unikat, projektspezifische Baustellenproduktion vorgestellt:

- Projektebene – projektspezifische bzw. projektgruppenspezifische Systemauswahl
- Unternehmensebene – unternehmensspezifische Bereitstellungsvariante bezüglich Miet- oder Besitzmodell

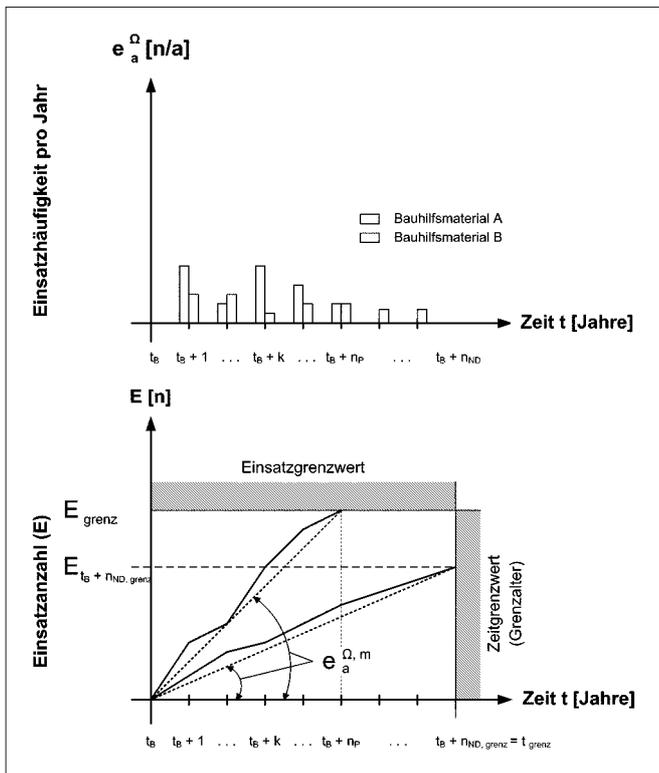


Bild 3. Einsatzhäufigkeit pro Jahr, Einsatzgrenzwert und Zeitgrenzwert sowie die mittlere jährliche Einsatzanzahl von Bauhilfsmitteln
 Fig. 3. Frequency of use per year, utilization limits and time limits, average annual number of times construction aids are used

Die prinzipiellen Prozessabläufe in der Bauindustrie z. B. im Betonhochbau ähneln sich zwar von Baustelle zu Baustelle in Bezug auf das Schalen, das Bewehren und das Betonieren. Doch trotz dieser Ähnlichkeit der Elementarprozesse unterscheiden sich diese oft grundsätzlich hinsichtlich des Einsatzes der optimalen Bauhilfsmaterialien und Geräte (Produktionseinrichtungen) durch den Unikatcharakter des herzustellenden Gebäudes, der sich aus Geometrie, Bauelementen und äußeren Randbedingungen ergibt und in einem relativ breiten Spektrum variiert. Im Gegensatz zur stationären Fertigungsindustrie ist deshalb in jeder strategischen Geschäftseinheit (SGE) der Bauunternehmen für jedes Projekt und damit für jeden Auftrag zunächst der projektspezifisch optimale Prozessablauf mit den optimalen Bauhilfsmaterialien und Geräten (Produktionseinrichtungen) zu ermitteln.

Die Prozessanalyse und die Auswahl der Produktionseinrichtung können in der Bauindustrie demzufolge nicht einfach auftrags- bzw. projektübergreifend wie in der stationären Fertigungsindustrie erfolgen.

Für eine auftrags- bzw. projektübergreifende, langfristige Entscheidung ist eine systematische Prognose hinsichtlich der Konstruktions- und Gebäudearten notwendig, die nach der Art der optimalen Produktionseinrichtungen/Bauhilfsmaterialien und Geräte zu gliedern ist. Daher muss man bei einer langjährigen, projektspezifischen Betrachtung die Projekte in Projektgruppen gliedern. Diese Projektgruppen $P = \{A, B, C \dots\}$ müssen nach den potentiellen Bauprozessen $B(\Phi, \Omega)$ und Bauproduktionseinrichtungen $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ sowie den Bauelementen $\Phi = \{\phi_1 \dots \phi_n\}$ gegliedert bzw. zusammengefasst werden. Nach Girmscheid Bauproduktionstheorie [12], [13], [14] werden die Projekte denjenigen Produktionsprozessen und den dazugehörigen

Produktionseinrichtungen $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots\}$ zugeordnet, dass die minimalen Gesamtkosten z. B. für den Rohbau erzeugt werden. Mit dieser Zuordnung erhält man die Projektgruppen $P = \{A(B(\Phi, \Omega)); B(B(\Phi, \Omega)); C(B(\Phi, \Omega)) \dots\}$, die nach den Produktionsbedingungen bzw. Produktionsprozessen B geordnet sind.

Zudem ist zu beachten, dass speziell Bauproduktionseinrichtungen einen primären Einsatzhäufigkeitsbezug hinsichtlich ihrer Nutzungsdauer aufweisen. Das bedeutet für eine projektübergreifende Wirtschaftlichkeitsanalyse, dass sich der Betrachtungshorizont der Wirtschaftlichkeitsanalyse aus der Grenzeinsatzhäufigkeit und der jährlich prognostizierten mittleren Einsatzhäufigkeit ergibt (Bild 3).

Daher können Investitionsentscheidungen aufgrund ihrer zum Großteil längerfristigen Gültigkeit nicht rein projektbezogen getroffen werden. Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsvergleichen zur Bestimmung der zu bevorzugenden Bereitstellungsvariante von Produktionseinrichtungen und Bauhilfsmaterialien im Hinblick auf die projektspezifische Systementscheidung und die unternehmensspezifische Bereitstellungsvarianten Miete oder Besitz (Kauf) sind deshalb folgende Entscheidungsarten für die Produktionseinrichtungen zu unterscheiden:

- Die **projektspezifische bzw. projektclusterspezifische** Entscheidung (Projektebene), bei der die optimale Lösung für ein aktuell anstehendes Projekt bzw. für eine Projektgruppe $P = \{A, B, C \dots\}$ gesucht wird.

Als Entscheidungsbasis kann hierbei einerseits das konkrete Projekt dienen oder andererseits die projektgruppenspezifische Betrachtung einer Projektgruppe P einer SGE über einen festgelegten Betrachtungszeitrahmen n_{ND} . Bei der projektspezifischen bzw. projektgruppenspezifischen Entscheidung für die Systemvariante genügt aufgrund des relativ kurzen Untersuchungszeitraums zwischen Ausschreibung, Vergabe, und Bauabschluss die statische Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Kosten- bzw. Ausgabenseite des Projektes oder der Projektgruppen.

- Die **projektübergreifende** Entscheidung auf Unternehmensebene bzw. SGE, die die prinzipielle Wahl zwischen Miete (Mietmodell) oder Kauf (Besitzmodell) eines benötigten Produktionsinvestitionsgutes behandelt, wird aufbauend auf einer projektgruppenspezifischen Entscheidung für ein Produktionssystem gefällt. Die Gültigkeit dieser Entscheidung hat längerfristigen Bestand und beschränkt sich in der Regel nicht auf ein Projekt sondern auf einen produktionsstrukturierten Projektcluster (Projektgruppen $P = \{A(B(\Phi, \Omega)); B(B(\Phi, \Omega)); C(B(\Phi, \Omega)) \dots\}$).

Als Entscheidungsbasis dienen hierbei allgemeine generische produktionstechnische Überlegungen zum „fit for purpose“ sowie Verfahren der dynamischen Wirtschaftlichkeits- bzw. Investitionsrechnung, die auf Prognosen über die Art und Anzahl der zukünftig zu erwartenden Projekte, die zu erwartenden Produktionsmengen und damit der prognostizierten Auslastung der Produktionseinrichtung bzw. des Investitionsguts sowie der allgemeinen Umsatz- und Mietpreisentwicklung beruhen.

Die Auswahl der zu bevorzugenden Bereitstellungsvariante (Miet- bzw. Besitzmodell) wie auch der Produktionseinrichtungen erfolgt bei beiden Entscheidungsarten nach dem **ökonomischen Minimalprinzip**, da ein vorab definierter Nutzen oder Output mit einem Minimum an Kosten, Ausgaben oder Aufwand erzielt werden soll.

Die Entscheidungsfindung – sowohl projektspezifisch wie auch projektübergreifend – kann aufgrund der verschiedenen Systemvarianten für Produktionseinrichtungen separat erfolgen. Die Kompatibilität der Produktionseinrichtungen in ihrer Prozesskombination muss jedoch sichergestellt werden.

3.3 Stufen der Wirtschaftlichkeitsanalyse bei Bauproduktionseinrichtungen bzw. Bauhilfsmaterialien

Bei einem ökonomischen Vergleich zwischen Miet- und Besitzmodell ist es daher erforderlich zuerst das effizienteste projektspezifische Produktionssystem nach dem ökonomischen Minimalprinzip zu bestimmen. Daher ist folgende Systematisierung notwendig:

- Projektgruppierung $P(B(\Phi, \Omega)) = \{A, B, C \dots\} = f(B(\Phi, \Omega))$ nach den grundsätzlichen operativen Charakteristiken der Produktionssysteme bilden
- Projektgruppen $P = \{A, B, C \dots\}$ nach Umsatz- und Mengenkennwert ordnen

Aufbauend auf dieser Systematisierung erfolgt die Wirtschaftlichkeitsanalyse nach einer zweistufigen Systembetrachtung. Diese zweistufige Selektionsmethode fokussiert wie folgt:

- Projektsicht – Minimierung der Projektausgaben/Kosten
- Unternehmens-/Werkhofsicht – Minimierung der langfristigen Unternehmensausgaben/-kosten

Zuerst muss man das Ausgaben- bzw. Kostenminimalprinzip auf das Projekt bzw. auf die Projektgruppe bezüglich des effizientesten Produktionssystems $\Omega = \{A^\Omega, B^\Omega, C^\Omega \dots\}$ anwenden.

Erst dann findet das Ausgaben- bzw. Kostenminimalprinzip auf Unternehmensebene bezüglich der Entscheidung für das Miet- bzw. Besitzmodell Anwendung.

Somit gliedert sich das ökonomische Minimalprinzip für baustellenspezifische Bauproduktionseinrichtungen bzw. Bauhilfsmaterialien in die

- Projektebene – projektspezifische bzw. projektgruppenspezifische Entscheidung bezüglich der Produktionssysteme und
- Unternehmensebene – unternehmensspezifische Miet- oder Besitzmodellentscheidung.

Bei der projektspezifischen bzw. projektgruppenspezifischen Produktionssystementscheidung werden die Ausgaben/Kosten für

- die Bereitstellung der Produktionseinrichtungen inkl. aller Nebenkosten sowie
- die Nutzung der Produktionseinrichtung, z. B. bei Schalungen das Einschalen und Ausschalen bzgl. der operativen Effizienz

zusammengefasst und die Produktionssysteme entsprechend der minimalen Ausgaben/Kosten für das Projekt bzw. die Projektgruppe beurteilt.

Bei der unternehmensspezifischen Miet- oder Besitzentscheidung werden die grundsätzlichen Ausgaben der Modelle miteinander verglichen. Da man sich beim Besitzmodell meist für ein Allround-Produktionssystem $\Omega = A^\Omega$ mit den geringsten Kosten in der Projektgruppe A mit der höchsten projektspezifischen Anwendung (z. B. nach dem Pareto-Prinzip) entscheidet, werden die Projektgruppen $P = \{B, C, D \dots\}$ nicht mit den optimalen Aufwandswerten bzw. geringsten Kosten bedient. In der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden jedoch nicht die Aufwandswerte, sondern die Differenzwerte zwischen der suboptimalen und der optimalen Lösung berücksichtigt. Bei der optimalen Lö-

sung (meist das Mietmodell) wird bei den Projekten $P = \{B, C, D \dots\}$ die Nutzung der optimalen Produktionsmittelgruppe $\Omega = \{B^*, C^*, D^* \dots\}$ zugeordnet. Im Gegensatz dazu wird bei der Zuordnung der Nutzung der Produktionsmittelgruppe $\Omega = A^*$ zu den Projekten $P = \{B, C, D \dots\}$ eine suboptimale Lösung (meist Besitzmodell) erreicht.

Die mit der suboptimalen Lösung entstehenden Ineffizienzaufwendungen bei einer Investitions- und Besitzmodellentscheidung müssen dem Gesamtunternehmen bzw. dem Werkhof als allgemeine Geschäftskosten belastet werden.

Dies ist damit zu begründen, dass nicht das projektspezifische Produktionssystem mit den geringsten Gesamtkosten gewählt werden kann. Daher müssen diese Differenzausgaben bzw. Ineffizienzausgaben $\Delta A_{\{B,C,\dots\},t}^{B,Ineff}$ bei den Projektgruppen $P = \{B, C, D \dots\}$ beim wirtschaftlichen Systemvergleich zwischen Miet- und Besitzmodell berücksichtigt werden.

3.4 Systemabgrenzung des Prognosemodells

Die Systemabgrenzung muss einerseits auf Projektebene sowie auf Unternehmensebene für die wirtschaftlichen Entscheidungsmodelle erfolgen. Auf Projektebene zur Wahl der Bauprozesse und der Bauproduktionsgeräte wird aufgrund der kurzen Betrachtungszeit die statische Wirtschaftlichkeitsanalyse in Anlehnung an die Projektkalkulation angewandt.

Die inhaltliche und zeitliche Systemabgrenzung auf der Projektebene für die Produktionssystementscheidung und die dazugehörigen Geräte erfolgt unter der Betrachtung der Gesamtkosten der verschiedenen Prozessvarianten im Projekteinsatz mit

- den Vorbereitungskosten: AVOR-Planung, Transaktionen, Transport, Rüsten,
- den Gerätekosten: AVS/Miete und Reparatur und
- den Betriebskosten: Lohn und andere Aufwendungen.

Die zeitliche Abgrenzung ergibt sich aus der Prozessdauer im Projekt.

Auf Unternehmensebene wird die langfristige Entscheidung aufgrund der Produktionssystemauswahl $\Omega = \{A^\Omega, B^\Omega, C^\Omega \dots\}$ für Projektcluster $P = \{A, B, C \dots\}$ für das Besitz- oder Mietmodell mit einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt.

Girmscheid hat in [9], [10] sowie Fastrich und Girmscheid in [11] die konsequente inhaltliche und zeitliche Systemabgrenzung beschrieben. Diese wird hier analog angewendet.

Bei der Betrachtung von Bauproduktionseinrichtungen muss auf die Grenznutzungsdauer bei der Analyse geachtet werden (Bild 3).

Diese ergibt sich einerseits aus der Grenzeinsatzzahl E_{grenz} (z. B. von Schalungssystemen, maximale Betriebsstunden von Geräten) und andererseits aus dem Zeitgrenzwert $n_{\text{ND,grenz}}$, der das technische Grenzalter in Bezug auf technische Überalterung im Hinblick auf Leistung, Energieverbrauch etc. angibt.

Daraus ergeben sich unterschiedliche Nutzungszeiten für die Produktionseinrichtungen. Daher müssen gemäß Bild 4 die Ersatzinvestitionen die innerhalb des Betrachtungszeitraums anfallen und der jeweilige Restwert am Ende des Betrachtungszeitraums beachtet werden [9].

Damit ergibt sich die inhaltliche und zeitliche Systemabgrenzung für die Besitz- und Mietentscheidungsmodelle wie in Bild 5 dargestellt.

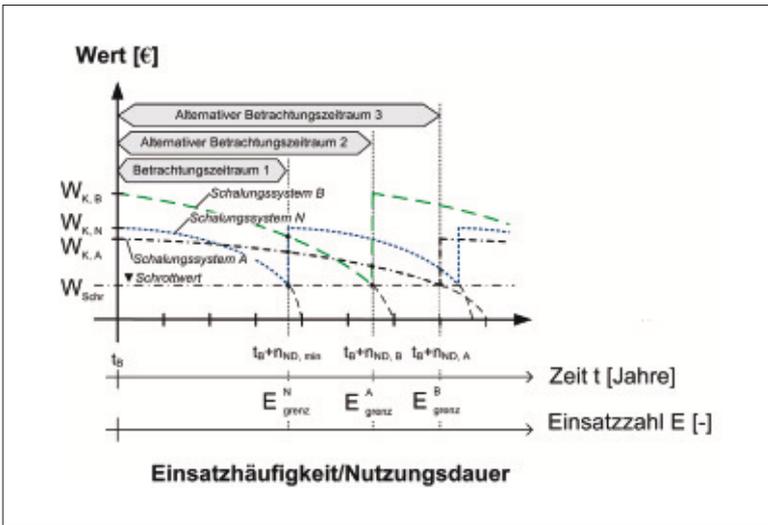


Bild 4. Lebenszyklusbetrachtung bei Wirtschaftlichkeitsanalysen von Produktionssystemen
 Fig. 4. Life cycle approach to analyzing the cost efficiency of production systems

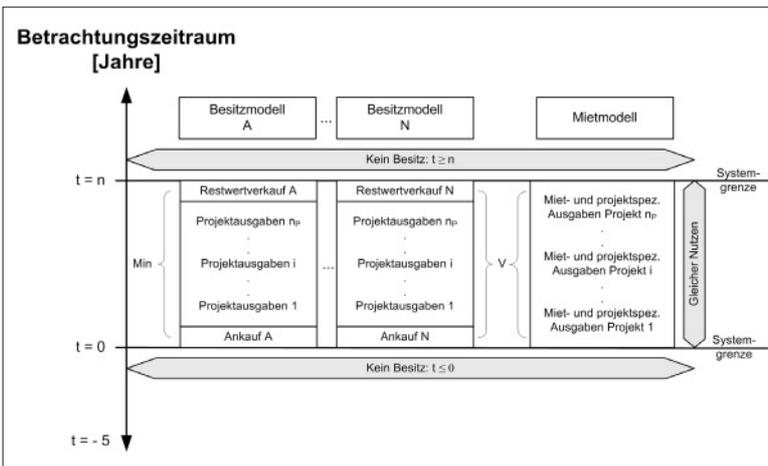


Bild 5. LC-NPV-Wirtschaftlichkeitsvergleichsmodell
 Fig. 5. LC-NPV model for comparing cost efficiency

4 Bedarfsanalyse – Ermittlung der Vorhaltemengen

Für die prospektive Ermittlung der Vorhaltemengen von Produktionsmitteln wie Geräte, Anlagen und Bauhilfsmaterialien müssen zuerst retrospektive Kennzahlen als Basisdaten sowie prospektive Umsatz- bzw. Leistungs- und Produktionsmengenprognosen erhoben werden.

Die retrospektive Analyse kann projekt- bzw. projektgruppenspezifische erfolgen und sollte die letzten 5 Jahre umfassen. Sie muss für ein spezifisches strategisches Geschäftsfeld (SGF), z.B. Rohbau Hochbau erfolgen und umfasst Relationskennzahlen wie

- Umsatz zu Produktionsmenge z.B. Schalflächen,
- Umsatz zu Vorhaltemengen von Produktionseinrichtungen z.B. Schalmaterial,
- Auslastungsgrad der Bauproduktionseinrichtungen bezogen auf den Umsatz z.B. Vorhaltetage bzw. Einsatzhäufigkeit pro Jahr und Umsatz.

Die projektgruppenspezifische Gliederung und Auswertung erfolgt nach den produktionstechnischen Charakteristiken, z.B. bezüglich Eignung der Schalung für spezifische Konstruktions- und Gebäudearten. Diese retrospektiven Kennzahlen müssen jedoch kritisch nach wirtschaftlichem Auslastungsgrad und Einsatzhäufigkeit überprüft werden.

Aufbauend auf diesen retrospektiven umsatzbezogenen bzw. produktionsmengenbezogenen Vorhaltekennwerten und den prospektiven Umsatzprognosen können zukünftige Vorhaltemengen an Produktionseinrichtungen prognostiziert werden. Diese Vorhaltemengen können pauschal oder differenziert z.B. entsprechend der drei Hauptschalssysteme (Rahmenschalungen, Systemträgerschalungen, Spezialschalungen) sowie in Wand- und Deckenschalssysteme aufgliedert werden.

Die prospektive Bedarfsermittlung basiert meist auf der Umsatzplanung der strategischen Geschäftseinheit (SGE) bzw. des Unternehmens für die nächsten 5–10 Jahre. Zur Ermittlung der prospektiven Vorhaltemengen auf der Basis zielorientierter, prognostizierter Umsatzkennzahlen, ist es daher erforderlich diese auf retrospektive Ist-Basiswerte von Vorhaltemengenbedarf sowie den Auslastungsgrad bezogen auf den erzielten Umsatz bzw. Produktionsmenge der letzten 5 Jahre zu stellen.

Die einzelnen Schritte der Bedarfsanalyse ergeben sich wie folgt:

- Analyse – retrospektive Ermittlung von Kennzahlen bezüglich Vorhaltemenge und Umsatz bzw. Produktionsmenge unter Beachtung möglicher Effizienzsteigerungen
- Prognose – prospektive Bedarfsermittlung für Vorhaltemengen von Produktionseinrichtungen (Geräte, Schalung, etc.) auf der Grundlage von prospektiven Umsatzzielen der strategischen Geschäftseinheit (SGE) oder des Unternehmens

4.1 Retrospektive Vorhaltemengen je Einheitsumsatz der jeweiligen SGE

Für die Retrospektive werden z.B. die letzten 5 Jahre der SGE-Hochbau (Rohbau) herangezogen. Dieser Zeitraum mittelt einerseits die möglichen Schwankungen und andererseits lässt sich daraus eine gute Korrelation für die prospektive Prognose erstellen, welche ebenfalls einen Zeithorizont von 5–10 Jahren umfasst.

- Zur Prognose werden 2 Analysevarianten verfolgt:
- Variante 1 – geht davon aus, dass sich in Zukunft der Anteil der verschiedenen Produktionssysteme am zukünftigen Umsatz des SGF bzw. der SGE proportional zur Vergangenheit verhält. Damit geht man von einer mittleren Invarianz hinsichtlich vergangener und zukünftiger Projektarten und Projektgrößen aus (Bild 6: Projekttyp A).
 - Variante 2 – geht davon aus, dass sich in Zukunft der Anteil der verschiedenen Produktionssysteme am zukünftigen Umsatz des SGF bzw. der SGE gegenüber der Vergangenheit verändert. Damit kann man Veränderungen im Nachfrageverhalten des Marktes antizipieren. Dieses Nachfrageverhalten steht in Bezug zur Varianz zukünftiger Anteile von Projektarten und Projektgrößen am Umsatz (Bild 6: Projekttyp B und C).
- Die retrospektive Analyse erfolgt auf der Ebene des SGF oder der SGE.
 Mittlerer Jahresumsatz der SGE {S} über den retrospektiven Analysezeitraum n_a (Bild 6):

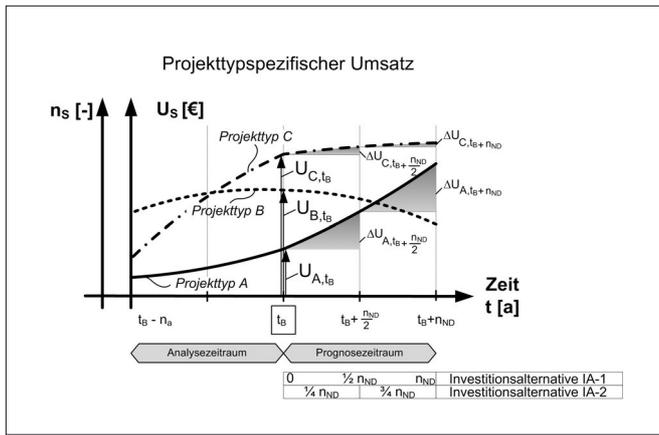


Bild 6. Projekttypenspezifische Umsatzentwicklung einer SGE
 Fig. 6. SBU revenue development relative to specific types of projects

$$U_m^{\{S\}} = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} U_{t_B-l}^{\{S\}}}{n_a} \quad [\text{€}/\text{a}]$$

Die zum Gesamtumsatz des Unternehmens gehörenden Produktionseinrichtungen setzen sich aus den Geräte- und Bauhilfsmaterialclustern der SGE $\{S\} = \{\text{Hochbau, Tiefbau, ...}\}$ wie folgt zusammen (Bild 1):

$$\{\underline{\Omega}\}^{\text{Cluster}} = \left\{ \{\underline{\Omega}\}^{S=\text{Hochbau}}; \{\underline{\Omega}\}^{S=\text{Tiefbau}}; \{\underline{\Omega}\}^{S=\text{Spezialtiefbau}}; \dots \right\}$$

Der mittlere jährliche Produktionsmittelbedarf einer SGE ergibt sich über dem retrospektiven Analysezeitraum n_a zu:

$$\{\underline{\Omega}\}_m^{\{S\}} = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} \{\underline{\Omega}\}_{t_B-l}^{\{S\}}}{n_a}$$

Dabei setzen sich die Produktionsmittel einer SGE $\{S\} = \{S = \text{Hochbau}; S = \text{Tiefbau}; S = \dots\}$ zum Zeitpunkt $(t_B - 1)$ aus folgenden Gerätearten i und Gerätetypen τ zusammen:

$$\{\underline{\Omega}\}_{t_B-1}^{\{S=\text{Hochbau}\}} = \left\{ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Turmkräne} \\ \tau = xtm \end{matrix} \Big|_{n=ym} \ ; \ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Betonanlagen} \\ \tau = xm^5/h \end{matrix} \Big|_{n=ym^5/h} \dots \right\}_{t_B-1}$$

$$\{\underline{\Omega}\}_{t_B-1}^{\{S=\text{Tiefbau}\}} = \left\{ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Bagger} \\ \tau = xm^5 \end{matrix} \Big|_{n=ym^5} \ ; \ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Lader} \\ \tau = xm^5 \end{matrix} \Big|_{n=ym^5} \ ; \ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{LKW} \\ \tau = xm^5 \end{matrix} \Big|_{n=ym^5} \dots \right\}_{t_B-1}$$

$$\{\underline{\Omega}\}_{t_B-1}^{\{S=\text{Spezialtiefbau}\}} = \left\{ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Träger} \\ \tau = xto \end{matrix} \Big|_{n=yto} \ ; \ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Rammeinrichtung} \\ \tau = xto \end{matrix} \Big|_{n=yto} \ ; \ n_\tau \omega_\tau \begin{matrix} \text{Ankerbohr} \\ \tau = x/l \end{matrix} \Big|_{n=y/l} \dots \right\}_{t_B-1}$$

Nun wird der retrospektiven mittlere jährliche Produktionsmittelbedarf der SGE im Analysezeitraum n_a für die Geräteart i und den Gerätetyp τ gebildet:

$$\{\alpha_\tau^i\}_m^{\{S\}} \stackrel{\text{def}}{=} (n_\tau \cdot \omega_\tau^i)_m^{\{S\}} = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} (n_\tau \cdot \omega_\tau^i)_{t_B-l}^{\{S\}}}{n_a}$$

Somit kann man die retrospektiven mittleren jährlichen Produktionsmittel einer SGE $\{S\}$ wie folgt in Vektorschreibweise darstellen:

$$\{\underline{\Omega}\}_m^{\{S\}} = \left\{ n_\tau \omega_\tau^i \right\}_m^{\{S\}} \Big|_{\substack{i=\text{Geräteart} \\ \tau=\text{Gerätetyp}}}$$

Die mittlere jährliche Anzahl von Projekten über den retrospektiven Zeitraum n_a ergibt sich wie folgt:

$$m = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} m_l}{n_a}$$

Die mittlere Anzahl von retrospektiven Projekten m pro Jahr bezogen auf den mittleren Umsatz zur prospektiven Ermittlung einmaliger Projektkosten pro Jahr ergibt sich wie folgt:

$$\gamma_{U,m}^{\text{Proj}} = \frac{m}{U_m^{\{S\}}}$$

Aufgegliedert auf die Geräte ω_τ^i erhält man die folgende Beziehung für die retrospektive Vorhaltemenge:

$$\{\alpha_\tau^i\}_{U,m}^{\{S\}} = \frac{\left\{ n_\tau \omega_\tau^i \right\}_m^{\{S\}}}{U_m^{\{S\}}} \Big|_{\substack{i=\text{Geräteart} \\ \tau=\text{Gerätetyp}}}$$

$$\begin{bmatrix} \alpha_1^i \\ \alpha_2^i \\ \dots \\ \alpha_\tau^i \\ \dots \\ \alpha_n^i \end{bmatrix}_{U,m}^{\{S\}} = \frac{1}{U_m^{\{S\}}} \cdot \begin{bmatrix} n_1 \cdot \omega_1^i \\ n_2 \cdot \omega_2^i \\ \dots \\ n_\tau \cdot \omega_\tau^i \\ \dots \\ n_n \cdot \omega_n^i \end{bmatrix}_{i=\text{Geräteart} \\ \tau=\text{Gerätetyp}}^{\{S\}}$$

$$\{S\} = \{S = \text{Hochbau} \vee S = \text{Tiefbau} \vee \dots\}$$

α_τ^i = retrospektive Vorhaltemenge des jeweiligen Geräts pro mittleren Jahresumsatz der SGE

ω_τ^i = Produktionsmittel mit Spezifikation des Geräts bezüglich Geräteart i und Gerätetyp τ

n_τ = Anzahl der Geräte

i = Geräteart (Bagger, LKW, Radlader, ...)

τ = Gerätetyp (Leistung, Größe, ...)

In einem weiteren Schritt wird die Auslastung der Geräte und der Bauhilfsmaterialien überprüft bzw. gemäß einem Mindestauslastungsgrad angepasst. Wird die Sollauslastung retrospektiv nicht erreicht, wird die Vorhaltemenge n_τ

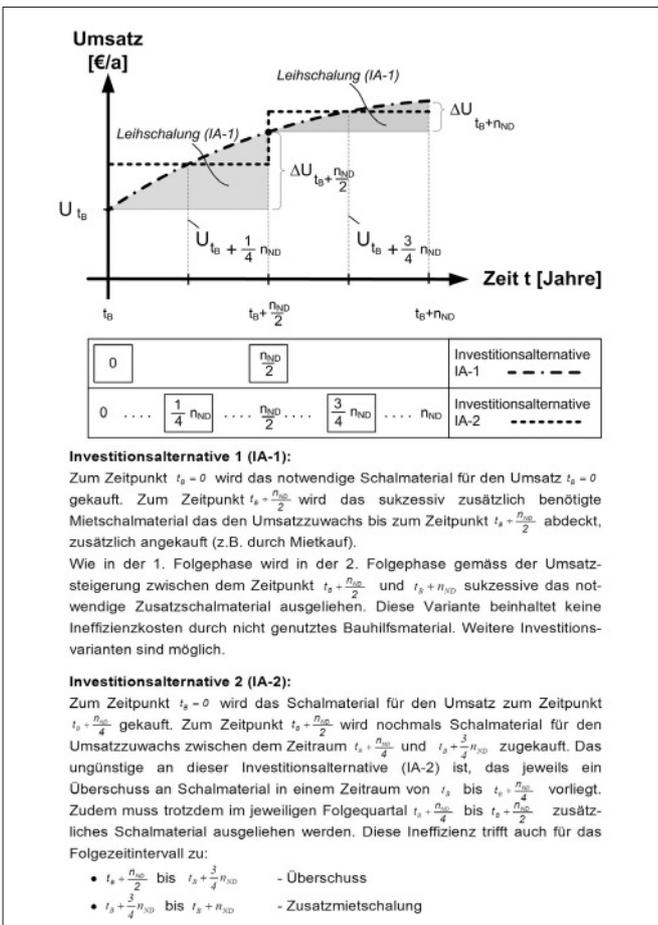


Bild 7. Umsatzentwicklung im prospektiven Prognosezeitraum
 Fig. 7. Revenue development in the prospective forecast period

mittels Reduktionsfaktor Γ_T wie folgt für die Geräteart i und den Gerätetyp τ reduziert:

$$\Gamma_{T,\tau}^i = \left\{ \begin{aligned} &\Gamma_{T,\tau}^i \cdot \Gamma_{T,\tau}^i = \frac{T_{it}^{vorh,\Omega(\omega)}}{T_{it}^{vorgabe,\Omega(\omega)}} \text{ für } T_{it}^{vorh,\Omega(\omega)} < T_{it}^{vorgabe,\Omega(\omega)} \vee \\ &\vee \Gamma_{T,\tau}^i = 1 \text{ wenn } T_{it}^{vorh,\Omega(\omega)} \geq T_{it}^{vorgabe,\Omega(\omega)} \end{aligned} \right\}$$

$T_{it}^{vorgabe,\Omega(\omega)}$ = Mindestauslastungszeit des Geräts ω der Gerätegruppe Ω der SGE $\{S\}$.

Für Bauhilfsmaterialien (Betriebsmaterial) wie Schalungen und Spundwände kann z.B. die Schallfläche bzw. Vorhaltemenge an Schalung wie folgt herangezogen werden:

Retrospektive Mittelbildung:

Mittlerer Umsatz pro Jahr

$$U_m = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} U_{t_B-l}}{n_a} \quad [€/a]$$

Mittlere Vorhaltemenge aller Schalungssysteme, Spundwände etc. $\Omega = \{A, B, C \dots\}$ im Zeitraum $\{t_B - n_a \text{ bis } t_B\}$:

$$F_{ges,m}^{Vorh} = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} F_{ges,t_B-l}^{Vorh}}{n_a} \quad [m^2]$$

Retrospektive Vorhaltemenge an Bauhilfsmaterialien pro mittleren Jahresumsatz:

$$\left\{ \alpha_{U,m}^{Vorh} \right\}^{\{S\}} = \frac{\sum_{l=1}^{n_a} F_{ges,t_B-l}^{Vorh}}{\sum_{l=1}^{n_a} U_{t_B-l}} = \frac{F_{ges,m}^{Vorh}}{U_m} \quad [m^2/€ \text{ pro Jahr}]$$

4.2 Prospektive Bauproduktionsmittelprognose-Vorhaltungen

Die Prognose des zukünftigen Produktionsmittelbedarfs einer SGE oder eines Unternehmens wird aus den retrospektiven Relationen aufgebaut und mittels zukünftigem prognostizierten Umsatz ermittelt (Bild 7).

Gesamtproduktionsmittel einer SGE $\{S\}$ gemäß Investitionsalternative IA-1 (Bild 7) zum Zeitpunkt t_B , abgestützt auf die mittleren Vorhaltungen der retrospektiven Periode:

$$\left\{ \Omega^i \right\}_{t_B}^{\{S\}} = \left\{ n_\tau \cdot \omega_\tau^i \right\}_{t_B}^{\{S\}} \Big|_{\substack{i=Geräteart \\ \tau=Gerätetyp}} = U_{t_B}^{\{S\}} \cdot \left\{ \Gamma_{T,\tau}^i \right\} \cdot \left\{ \alpha_\tau^i \right\}_{U,m}^{\{S\}} \Big|_{\substack{i=Geräteart \\ \tau=Gerätetyp}}$$

Aufgegliedert auf die einzelnen Geräte, Anlagen und Bauhilfsmaterialien unter Berücksichtigung des Auslastungsreduktionsfaktors $\Gamma_{T,\tau}^i$ ergeben sich die Vorhaltemengen an Bauproduktionsmitteln bezogen auf den Umsatz zum Zeitpunkt t_B wie folgt (Bild 7):

$$\left\{ \Omega^i \right\}_{t_B}^{\{S\}} = \begin{bmatrix} n_1 \cdot \omega_1^i \\ n_2 \cdot \omega_2^i \\ \dots \\ n_\tau \cdot \omega_\tau^i \\ \dots \\ n_n \cdot \omega_n^i \end{bmatrix}_{t_B}^{\substack{\{S\} \\ i=Geräteart \\ \tau=Gerätetyp}} = U_{t_B}^{\{S\}} \cdot \begin{bmatrix} \Gamma_{T,1}^i \cdot \alpha_1^i \\ \Gamma_{T,2}^i \cdot \alpha_2^i \\ \dots \\ \Gamma_{T,\tau}^i \cdot \alpha_\tau^i \\ \dots \\ \Gamma_{T,n}^i \cdot \alpha_n^i \end{bmatrix}_{U,m}^{\substack{\{S\} \\ i=Geräteart \\ \tau=Gerätetyp}}$$

Zukauf von Vorhaltemengen an Produktionsmittel (z.B. Mietkauf) zum Zeitpunkt $t = t_B + \frac{n_{ND}}{2}$ (Bild 7):

$$\left\{ \Delta \Omega^i \right\}_{t_B + \frac{n_{ND}}{2}}^{\{S\}} = \Delta U_{t_B + \frac{n_{ND}}{2}}^{\{S\}} \cdot \left\{ \Gamma_{T,\tau}^i \right\} \cdot \left\{ \alpha_\tau^i \right\}_{U,m}^{\{S\}} \Big|_{\substack{i=Geräteart \\ \tau=Gerätetyp}}$$

5 Fazit

Mit dem vorgestellten Prognosemodell lässt sich die notwendige Baugeräteausstattung von Bauunternehmen antizipieren. Der hier vorgestellte Modellansatz geht hierfür von der strategischen Ausrichtung der strategischen Geschäftseinheit (SGE) aus. Dabei wird der Bauhof als Supporteinheit im Unternehmen angesehen, der die optimale Bereitstellung von Bauproduktionseinrichtungen sicherstellt. Der Bauhof ist somit kein Selbstzweck sondern Servicebereich für die strategische Geschäftseinheit. Daher kann das Inventar in Gerätecluster untergliedert werden, die den Bedürfnissen und der strategischen Ausrichtung der SGE entsprechen. Basierend auf diesem Prognosemodell für den zukünftigen Inventarbedarf der SGE bzw. des Gesamtunternehmens werden in einem Folgebeitrag die wirtschaftliche Systemwahl auf Projektebene bzw. Projektcluberebene sowie die Bereitstellungsvarianten (Miet- oder Besitzmodell) auf SGE- bzw. Unternehmensebene vorgestellt.

Literaturverzeichnis

- [1] *Girmscheid, G.*: Strategisches Bauunternehmensmanagement. Springer Verlag, Berlin, 2005
- [2] *Schmidt, R.*: Investitionstheorie. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 2033–2044
- [3] *Krahn, J. P.*: Investitionsmodelle, integrierte. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 1952–1965
- [4] *Bitz, M.*: Investitionsplanung bei unsicheren Erwartungen. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 1965–1982
- [5] *Lüder, K.*: Investitionsplanung und -kontrolle. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 1982–1999
- [6] *Inderfurth, K.*: Investitionsprogrammplanung. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 2011–2020
- [7] *Kruschwitz, L.*: Investitionsrechnung. In: Wittmann, W.: Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre I Teilband 2 Handwörterbuch der Betriebswirtschaft. 5. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1993, S. 2020–2032
- [8] *Boussabaine, H.; Kirkham, R.*: Whole Life-cycle Costing: Risk and Risk Responses. Blackwell Publishing Ltd., Oxford (UK), 2004
- [9] *Girmscheid, G.*: Risikobasiertes probabilistisches LC-NPV-Modell Bewertung alternativer baulicher Lösung. In: Bauingenieur (D), Vol. 81, 9/2006, S. 394–405
- [10] *Girmscheid, G.*: NPV-Wirtschaftlichkeitsanalysemodell: Lebenszyklusbetrachtung von kommunalen Straßenunterhalts-PPPs. In: Bauingenieur (D), Vol. 81, 10/2006, S. 455–463
- [11] *Fastrich, A.; Girmscheid, G.*: Public Private Partnership for maintenance activities – System boundaries for a life cycle oriented economic efficiency analysis. In: Proceedings of CIB World Building Congress 2007 – Construction for Development, CIB, Cape Town, South Africa, 2007, p. 636–648
- [12] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionstheorie – Strukturrahmen. In: Bauingenieur (D), Vol. 82, 9/2007, S. 397–403
- [13] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionstheorie – Struktur des Bauproduktionsprozesses. In: Bauingenieur (D), Vol. 82, 9/2007, S. 404–413
- [14] *Girmscheid, G.*: Bauproduktionstheorie – Bauproduktionsprozessplanung und -steuerung. In: Bauingenieur (D), Vol. 83, 03/2008
- [15] *Hüttner, M.*: Prognoseverfahren und ihre Anwendung. Walter de Gruyter, Berlin/New York, 1986
- [16] *Girmscheid, G.; Busch, T.*: Risikomanagement in Bauunternehmen – Projektrisikomanagement in der Angebotsphase. In: Bauingenieur (D) Vol 78, 12/2003, S. 571–580
- [17] *Cadez, I.*: Risikowertanalyse als Entscheidungshilfe zur Wahl des optimalen Bauvertrags. In: Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 4, Bauingenieurwesen, Nr. 149, VDI Verlag, Düsseldorf, 1998
- [18] *Girmscheid, G.*: Projektabwicklung in der Bauwirtschaft – Wege zur Win-Win-Situation für Auftraggeber und Auftragnehmer. Springer Verlag, Berlin/vdf Hochschulverlag der ETH Zürich, Zürich, 2004