

# Ressourceneffizientes Bauen mit Beton unter besonderer Berücksichtigung der Methode der Lean Construction

Dominik Steuer, Svenja Oprach und Shervin Haghsheno

## Zusammenfassung

Das Bauwesen ist ein Schlüsselsektor der Wirtschaft. Dreizehn Prozent des weltweiten Bruttoinlandsprodukts werden durch das Bauwesen erwirtschaftet. Trotz der Wichtigkeit für die Wirtschaft hält sich die jährliche Produktivitätssteigerung mit circa einem Prozent die letzten 20 Jahre in Grenzen [1]. Lösungsvorschläge zur Überwindung dieses Produktivitätsdilemmas können in der Anwendung der Grundprinzipien des Lean Thinkings gefunden werden. Diese Grundprinzipien werden durch Womack und Jones als Wert aus Sicht des Kunden, Identifikation des Wertstromes, Produktion entlang des Wertstromes nach dem Fluss-Prinzip, bedarfsorientierte Produktion nach dem Pull-Prinzip und dem Streben nach Perfektion definiert [2]. Die Anwendung dieser Lean Prinzipien wird im Bauwesen als Lean Construction bezeichnet und kann im Wesentlichen in die folgenden Strömungen unterteilt werden: Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen, kooperative Arbeitsplanung und integrierte Projektabwicklung [3]. Im Hinblick auf das ressourceneffiziente Bauen mit Beton wird hier im Speziellen auf die Gestaltung und Steuerung von Produktionssystemen eingegangen.

## 1 Herausforderungen der Baubranche

Die Baubranche unterscheidet sich in ihrem Aufbau stark von anderen Wirtschaftssektoren. Sie leidet heute unter einem enormen wirtschaftlichen Druck und einer annähernden Vollaustattung. Ein steigender Effizienzdruck wird durch gesetzliche Vorgaben zum Einsatz erneuerbarer Energien und der Energieeinsparung angetrieben. Zusätzlich führt die globale Niedrigzinsphase zu einer Überflutung des Marktes mit billigem Geld, was die Nachfrage im Bauwesen

erhöht [4]. Trotz des massiven Effizienzdrucks ist seit vielen Jahren eine wachsende Lücke zwischen der Produktivität des produzierenden Gewerbes und der Baubranche zu beobachten (siehe Abbildung 1).

So zeigt auch die wirtschaftliche Entwicklung der Bauindustrie, dass es hier einen großen Handlungsbedarf und einen Bedarf zum Umdenken gibt [5]: Die Arbeitsproduktivität (die preisbereinigte Bruttowertschöpfung je geleisteter Erwerbstätigenstunde) ist zwar zwischen 1995 und 2005 leicht gestiegen, das

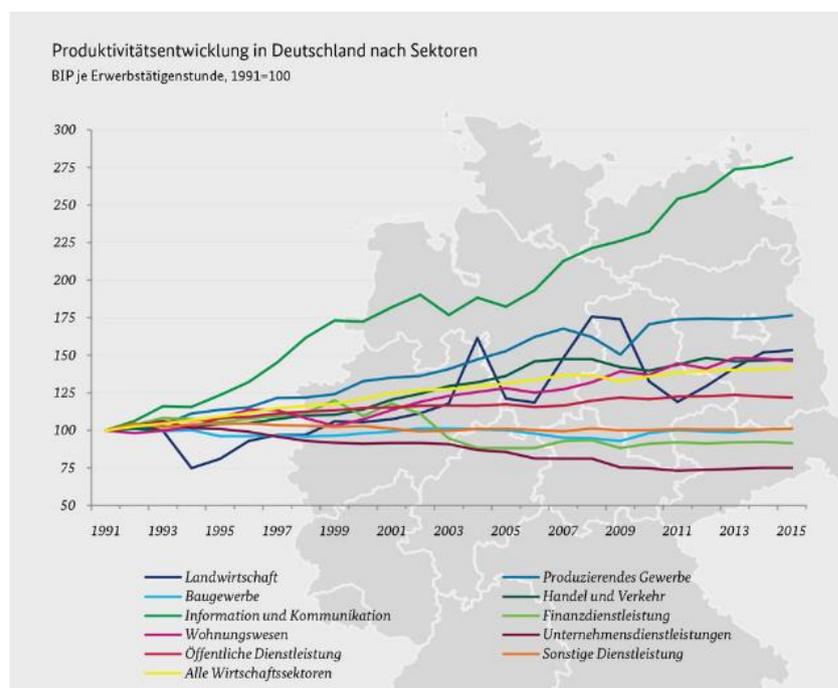


Abb. 1: Produktivitätsentwicklung in Deutschland nach Sektoren; Quelle: Statistisches Bundesamt

produzierende Gewerbe konnte in diesem Zeitraum jedoch einen Produktivitätszuwachs von 30 % nachweisen [6]. In den Jahren 2005 bis 2010 verzeichnete das Baugewerbe wieder einen Produktivitätsrückgang in Höhe von 5,7 % [7]. Zudem führte die jahrelange Rezession zu einem starken Konkurrenzkampf um Bauaufträge mit niedrigen Angebotspreisen und einer steigenden Anzahl an Nachträgen [8]. Dies wiederum führte zu Imageverlusten und der Gefahr von Insolvenzen bei den Bauunternehmen.

Die wirtschaftliche Entwicklung der Bauindustrie kann u. a. auf nicht voll genutzte Ressourcen, nicht funktionierende Schnittstellen zwischen Gewerken, nichtexistierende Qualitätsregelkreise, Sicherheitsrisiken und Lieferprobleme zurückgeführt werden [9]. „Die sich im Verlauf des Bauvorhabens verändernden Umstände führen dazu, dass viele Probleme nicht vorhersehbar sind und Entscheidungen oftmals direkt vor Ort getroffen werden müssen. Dabei besteht das Projektteam aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Unternehmen mit verschiedenen Interessen, die für das jeweilige Projekt neu zusammengesetzt worden sind. Selten können sie auf bestehende Beziehungen zurückgreifen und müssen sich als Projektteam neu aufeinander einstellen.“ [10]. Bei Bauprojekten wird, als Inhalt des Bauvertrags, ein Großteil des Risikos vom Auftraggeber an den Bauunternehmer weitergegeben. Der Bauunternehmer überträgt dieses Risiko weiter an seine Nachunternehmer [4]. Dadurch entsteht ein langer Entscheidungsweg. Als Folge können oft Meilensteine in Bauprojekten durch die fehlende Zuverlässigkeit von Terminplänen nicht eingehalten werden [11]. Damit steigt der Druck zu Ende eines Bauprojektes, welcher wiederum Kosten, Qualität sowie Arbeitssicherheit beeinflussen kann. Nach Ballard [12] werden mehr als 30 % der Baupläne verspätet übergeben, 25-50 % der Arbeitszeit wird für Nacharbeiten aufgewendet und nur 50-70 % aller Einzelaktivitäten werden zum geplanten Zeitpunkt fertiggestellt [13,14]. Hier parallelisieren oder überschneiden sich Aktivitäten gegen Ende des Bauprojektes und Gewerke behindern sich gegenseitig [15]. Weiter führt eine mangelnde Kooperation zwischen allen Projektbeteiligten zu einer hohen Anzahl von Behinderungsanzeigen und Nachträgen. Ein hohes Konfliktpotential ist die Folge, welche sich an den zahlreichen Gerichtsverfahren im Bauwesen erkennen lässt. Eine weitere Herausforderung im Bauwesen stellt die hohe Anzahl an Arbeitsunfällen auf Baustellen dar. So wurden in Deutschland allein im Jahr 2017 873.562 Arbeitsunfälle registriert (DGUV).

Die langjährige Produktivitätsentwicklung, die mangelhafte Wertschöpfung und die steigenden Kundenanforderungen zeigen, dass Qualität, Kosten und Zeit eine genauere Planung erfordern [16].

Es wird immer wichtiger, den Umfang der zu erbringenden Leistung zu definieren, mit einer Reihenfolge und Terminen zu koppeln [17].

## **2 Grundlagen Lean Philosophie**

### **2.1 Begriffe**

Im Rahmen des Lean Construction wird der Kundewert in den Mittelpunkt gestellt und der Prozess hinsichtlich seiner Verschwendungen analysiert. Dabei wird Verschwendung als alles definiert, welches keinen direkten Wert für den Kunden stiftet. „Lean Construction“ (engl.) bedeutet demnach ein „schlanker Bauprozess“. Im Gegensatz dazu stellt „Lean Thinking“ die übergeordnete Philosophie dar, welche auch in anderen Wirtschaftssektoren zunehmend Anwendung findet. „Lean Management“ fasst die Gesamtheit der Management-Werkzeuge zusammen, welche in der Umsetzung des Lean Thinkings unterstützen. Und Lean Construction ist die spezifische Anwendung von Lean Management im Bauwesen, auch LMB genannt.

Das Lean Construction Institut Deutschland (LCI) definiert Lean Construction als die „kluge Zuordnung von Ressourcen für die Transformation von Ausgangsmaterialien in Baustrukturen, während gleichzeitig der Fluss von Material und Informationen geglättet und der maximale Kundennutzen angestrebt wird.“ Ziel des Lean Construction ist ein nachhaltiges und intelligentes Bauen mit einer hohen Wertschöpfung.

### **2.2 Geschichtliche Entwicklung**

Die heute bekannte Lean-Philosophie [2] entstammt den Grundgedanken verschiedener Produktionssysteme. So ist die Produktion von venezianischen Militärschiffen im 15. und 16. Jahrhundert eine der ersten gut dokumentierten Aufzeichnungen eines schlanken Produktionssystems. Weitere wichtige Einflüsse hinsichtlich des Lean-Grundgedanken waren die Arbeitsteilung nach Taylor (1900), die Fließbandfertigung nach Ford (1910), die Entwicklung des Toyota Produktionssystems (TPS) (1945), oder die Segmentierung von General Motors sowie die Produktionssysteme weiterer Organisationen. Dabei ist das TPS als ein wesentlicher Entwicklungsschritt zur Lean-Philosophie hervorzuheben. Im Folgenden wird die geschichtliche Entwicklung genauer dargestellt:

### 2.2.1 Henry Ford

Henry Ford entwickelte aus dem Taylorismus, das Prinzip einer strikten Teilung von Kopf und Handarbeit und einer genauen Vorplanung aller Arbeitsschritte, den Fordismus. Dadurch realisierte er die Massenfertigung des Ford-Modells T mit dem Fließband (vgl. Reinhart 2017). Henry Ford strebte in seiner neuen Fabrik „River Rouge“ in den 1920er Jahren an, durch das Fließband die Integration von Arbeit, Rhythmus und zeitlicher Einteilung, von der Gewinnung der Rohmaterialien bis zum Verkauf der Automobile beim Einzelhändler, zu erreichen. Nach diesem Plan sollte die Arbeit von Millionen Menschen zu einer Einheit zusammengefasst werden [19].

### 2.2.2 Sakichi Toyoda

Viele Japanerinnen, so auch Toyodas Familie, arbeiteten am Anfang der 1900er Jahre an Webstühlen in Heimarbeit oder in Spinnereien. Sie mussten hierbei an technisch und ergonomisch unzureichenden Maschinen arbeiten, was Toyoda dazu motivierte, den ersten elektrisch betriebenen Webstuhl zu entwickeln. Der von ihm genannte „Power Loom“ wurde 1926 über seine Firma „Toyoda Automatic Loom Works, Ltd.“ auf den Markt gebracht. An dem Webstuhl war eine Vorrichtung eingebaut, dessen Prinzip wegweisend für spätere Produktionsarten sein wird. Ein Mechanismus, den er „Jidoka“ nannte, bewirkte, dass sich die Maschine beim Auftreten eines Problems selbst stoppte. Diese selbstgesteuerte Fehlererkennung gewährleistete die Qualität in der Produktion. „Jidoka“ wurde später eine Komponente des Toyota Production System (TPS) [19].

### 2.2.3 Taiichi Ohno

Die Ursprünge der Lean Management-Philosophie liegen im Toyota-Produktionssystem. Taiichi Ohno (Produktionsleiter Toyota) entwickelte Henry Fords Massenproduktion, bei dem die maßgebende Kennzahl die Maschinenproduktion war, weiter und legte den Fokus auf den Fluss eines einzelnen Produkts durch das Produktionssystem. Das TPS entstand aus einem Zwang zur Veränderung und Verschlankeung: Aufgrund der Isolationspolitik der USA gegenüber Japan in den 1930er Jahren und einer Ressourcenknappheit war Japan gezwungen, Ressourcen gezielt und effizient einzusetzen. Aus diesem Hintergrund heraus überdachten Toyoda Kiichirō, Taiichi Ohno und andere Mitarbeiter von Toyota die bestehenden Ansätze für Produktionssysteme. Ihr Ziel war es, mit einfachen Methoden und Werkzeugen einen konti-

nuierlichen Fluss der Produkte und eine hohe Variantenvielfalt ermöglichen zu können. Dies war eine Erweiterung des Ansatzes von Ford, der eine Produktion ohne Variantenvielfalt anstrebte. Ohnos Produktionsphilosophie war nicht auf die Erstellung einer standardisierten Massenware ausgerichtet, sondern hatte die Fertigung von am Kundenbedarf ausgerichteten Produkten zum Ziel [20]. Die neu entwickelten und zusammengestellten Methoden und Werkzeuge beziehen nicht nur Prozesse, sondern auch Mitarbeiter ein und bilden in ihrer Gesamtheit das TPS [12].

### 2.2.4 Womack & Jones: „The machine that changed the world“

James P. Womack und Daniel T. Jones beschreiben das TPS und wesentliche Ansätze anderer stabiler, verschwendungsarmer Produktionssysteme in ihren Büchern „The Machine that changed the world“ (1990) und „Lean Thinking“ (1996). Durch diese Werke etablierte sich der Begriff „Lean“. Lean bedeutet „schlank“ im Sinne von „verschwendungsarm“. Dies bedeutet eine Orientierung am Kundenwert, nicht-wertschöpfende Aktivitäten werden eliminiert bzw. reduziert.

Die Ansätze des Toyota-Produktionssystems wurden im Folgenden durch Womack, Jones, Goldratt sowie andere Persönlichkeiten weiterentwickelt. Die Etablierung des Terminus „Lean Production“ wird Womack, Jones und Roos in ihrem 1990 veröffentlichten Buch „The Machine that Changed the World“ zugeschrieben, in dem sie Methoden basierend auf den Lean Management-Prinzipien zur Verbesserung der Produktion von Automobilen beschreiben [6]. Das Buch ist eine Zusammenfassung, der von den Autoren von 1985 - 1990 durchgeführten Studie am Massachusetts Institute of Technology. In der Studie wurde Toyotas Produktionssystem mit amerikanischen und europäischen Produktionskonzepten verglichen.

Ergebnisse MIT-Studie [18]:

- 3-fache Produktivität mit der Hälfte an Mitarbeitern im Vergleich zu westlichen Produktionswerken
- 4-mal kürzere Lieferzeiten
- gleichzeitiges Angebot doppelt so vieler Modelle
- um 50 % kürzere Modellentwicklungszeiten
- Rückgriff auf nur 20 % der Lieferanten im Vergleich
- Fertigung auf einer um 50 % geringeren Montagefläche

### 3 Grundsätze des Lean Managements

Grundgedanke des Lean-Thinking ist es, den Fokus auf den Kundennutzen zu legen. Dazu wird eine kontinuierliche Verbesserung (jap. „Kaizen“) angestrebt und die Verschwendung (jap. „Muda“) wird in allen Bereichen reduziert. Das „Lean Thinking“ wurde in Europa und den USA mit den fünf heruntergebrochenen Grundprinzipien von Womack und Jones bekannt:

- Kunden-Wert: Erkenne den Wert aus Sicht des Kunden
- Wertstrom: Zeichne den Strom der notwendigen Schritte, um den Kundenwert abzuliefern.
- Fluss-Prinzip: Lasse die Arbeit entlang dieses Stroms fließen
- Pull-Prinzip: Benutze das Pull-Prinzip
- Streben nach Perfektion: Strebe nach Perfektion durch kontinuierliche Verbesserung [2]

Der Zusammenhang der 5 Grundprinzipien ist in der nachfolgenden Abbildung 2 visualisiert.

Der Kunde innerhalb des Erstellungsprozess von Bauwerken kann vielseitig gedeutet werden. Der Kunde kann der Bauherr sein, welcher das Bauwerk übernimmt. Aber auch der Generalplaner, Generalunternehmer oder Generalübernehmer stehen in einer Kundenbeziehung zu den Bauherren. Planer- und Gewerkegruppen wiederum sind einzelne Prozesskunden vorheriger Prozesse und Aufgaben. Der **Kundenwert** bezeichnet dabei die einzelnen notwendigen Wünsche dieser Kundengruppen. „Wo immer es ein Produkt für einen Kunden gibt, gibt es auch einen

Wertstrom. Unsere Herausforderung liegt darin, ihn zu sehen und zu verbessern“ [2]. Der Wertstrom umfasst alle Schritte (wertschöpfend und nicht-wertschöpfend), die nötig sind, um aus Rohmaterial ein Endprodukt für den Kunden zu erstellen. Der **Wertstrom** beinhaltet den Material- sowie den Informationsfluss. Um nicht-wertschöpfende Arbeitsschritte zu reduzieren und damit Möglichkeiten zu schaffen, wertschöpfende Tätigkeiten zu erhöhen.

Der **Fluss** betrachtet alle Teilleistungen auf der Baustelle und fordert einen gleichmäßigen Fortschritt von Bauabschnitt zu Bauabschnitt, ohne Stautufen und mit sorgfältig berechneten Wartezeiten [22]. Synchronisationspunkte koppeln die Phasen, Gewerke und Arbeitspakete aneinander [23]. In der stationären Produktion wird ein Fluss erzeugt, indem das Produkt (Objekt) durch die Arbeitsstationen (Subjekt) fließt. Im Gegensatz dazu fließt im Bau die Leistung (Subjekt), das Produkt (Objekt) hingegen ist stationär [6, 15]. Allerdings ist der Fluss auf einer Baustelle nur schwer erkennbar. „We all were educated to see resource utilization. Are workers busy? Are crane hooks loaded and swinging? But we were not educated to see work flow; e. g., to understand the various types of buffers, to select the right type of buffer for a given situation, and to locate and size those buffers to perform their tasks of absorbing variability and rebatching“ [6]. Weiter besteht das ideale Bild eines „One-Piece-Flows“. Bei einem One-Piece-Flow fließt in der stationären Industrie immer genau ein Produkt (Objekt) von einer Bearbeitungsstation zur nächsten (Subjekt). Vergleichend dazu besteht auf der Baustelle die ideale Struktur eines „Ein-Gewerke-

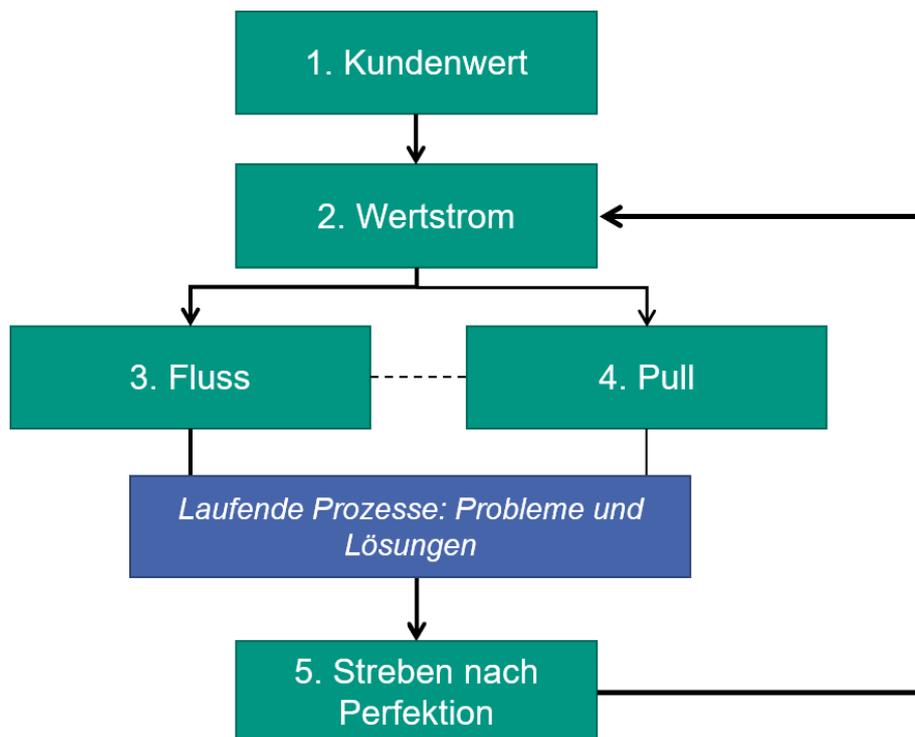


Abb. 2: Grundprinzipien des Lean Thinkings [2]

Flusses". Bei einem „Ein-Gewerke-Fluss“ bearbeiten Gewerke nacheinander jeweils nur einen Taktbereich. Es sollte sich immer nur ein Gewerk in einem Taktbereich befinden und nach der Erledigung des Arbeitspaketes in den nächsten Taktbereich wandern. Damit bearbeitet im Idealfall ein Wagon des Taktzuges mit einem Gewerk einen Taktbereich innerhalb eines Taktes. So kann eine einfache Kontrollierbarkeit und Übersichtlichkeit der Gewerke in den Taktbereichen gewährleistet werden. Außerdem werden klare Verantwortlichkeiten (Raum, Sauberkeit, Termintreue) festgelegt. Um Teilleistungen und Inkonsistenzen jedoch ausgleichen zu können, ist ein „Ein-Gewerke-Fluss“ nicht immer realisierbar. Ein „Mehr-Gewerke-Fluss“ (vergleichbar mit einem Multi-Piece-Flow in der stationären Produktion) muss an einigen Stellen eingeführt werden. Zugwagons bestehen in diesem Fall aus mehreren Gewerken und Arbeitspaketen.

Kommt es zu Terminverzögerung und ein Gewerk benötigt länger als das definierte Taktzeitintervall, so entsteht ein **Sog/Pull** in der Gewerkesequenz [28]. Die nachfolgenden Gewerke warten und „ziehen“ an der Gewerkesequenz. Sie können erst mit ihrem Arbeitspaket beginnen, sobald das vorherige abgeschlossen ist. Sog-Systeme werden auf der Baustelle bewusst zwischen den Zulieferern und Gewerken eingesetzt. „Pull systems release materials or information into a system based on the state of the system“, so Hopp und Spearman [24]. Die Gewerke geben den Zulieferern zeitgerecht Informationen zu benötigten Ressourcen und Materialien. So können sie ihren Bedarf nachfrageorientiert auf die Baustelle ziehen [15]. Zum Beispiel werden Beton-Anlieferungen über Pull-Systeme zur richtigen Zeit auf die Baustelle gezogen. Grund hierfür ist die sehr geringe Lagerbeständigkeit. Andere Ressourcen und Materialien haben jedoch eine sehr lange Lieferzeit und werden daher über Push-Systeme auf die Baustelle geschoben. Ihr Bedarf wird im Voraus antizipiert [13].

Um auf Störungen schnell reagieren zu können, ist eine schnelle Problemevaluation und Maßnahmenfindung notwendig. Maßnahmen müssen in Form neuer Standards dokumentiert werden. Diese vereinheitlichen und bündeln das Wissen bei Partnern, in Prozessen, Modulen und dem Layout. Dafür ist eine aktive Kommunikation zwischen den Gewerken und dem Baumanagement notwendig [31]. Die Standards können auf Basis eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (jap. „Kaizen“) weiterentwickelt werden und stabilisieren die Prozesse. So kann gewährleistet werden, dass alle benötigten Ressourcen Just-in-Time (JIT) angeliefert werden und keine ungeplanten Störungen auftreten. Mit dem kontinuierlichen Verbesserungsprozess wird die Perfektion angestrebt.

## 4 Adaption Lean Construction

Im nächsten Schritt wurden die erarbeiteten Grundsätze von Lean Production auf eine abstraktere Ebene gehoben und als Lean Thinking im Sinne einer Management-Philosophie allgemein für die Führung in Organisationen, sowie die Gestaltung von Leistungserstellungsprozessen jeglicher Art beschrieben. In den folgenden Jahren wurden die Lean Management-Prinzipien nicht mehr nur im Bereich der Produktion selbst eingesetzt, sondern teilweise zur Abwicklung von Logistik-, Einkaufs- und Vertriebsprozessen verwendet [21]. Lean Construction ist die Übertragung von Lean Management auf das Bauwesen.

Die Entwicklung des Lean Ansatzes im Bauwesen ist jedoch noch seit 1992 in ihren Anfängen. Vergleichend dazu hat die Automobilindustrie seit dem Ende der 1980er Jahre einen enormen Wandel hinsichtlich Lean-Aspekten durchlaufen. In Deutschland wurden bisher im Bauwesen gelegentlich nur einzelne Werkzeuge und Methoden des Lean Management verwendet. Bauprojekte mit Anwendung von Lean Construction sind vor allem in den USA, dem Vereinigten Königreich, Dänemark, Finnland, Australien, Brasilien, Chile und Peru zu finden. Weitere erste Entwicklungen sind in Singapur, Indonesien, Ecuador und Kolumbien zu verfolgen [6]. Lean-Methoden und Werkzeuge werden u. a. bei Linienbaustellen oder Hochbauprojekten angewendet. Potenziale sind jedoch in jeder Projektart gegeben. Die Umsetzung von Lean Construction in der deutschen Baupraxis steht ausgehend vom Gesamtpotenzial noch am Anfang [8].

### 4.1 Chancen durch Lean Construction

Ziel des Lean Construction ist ein nachhaltiges und intelligentes Bauen mit einer hohen Wertschöpfung. So muss zuallererst eine stabile Basis geschaffen werden. Dies geschieht durch eine enge Kollaboration, Transparenz und Standardisierung. Es werden die richtigen Informationen und Entscheidungen zur Planung und Durchführung übermittelt [12]. Erst wenn diese Stabilität erreicht ist, können die eigentlichen Ziele des Lean Managements konkret verfolgt werden: Höchste Qualität, geringste Kosten und kürzeste Durchlaufzeiten. Kundenanforderungen werden mit verbesserten Prozessen und einer reduzierten Verschwendung ausgeführt. Aktivitäten, die keinen zusätzlichen Wert schaffen, sind zu eliminieren [12]. Folglich gilt es, eine prozessoptimierte Gewerkesequenz ohne offensichtliche Verschwendung und minimierter verdeckter Verschwendung zu planen und zu steuern. Wartezeiten sowie unnötige Zwischenlagerungen von Baumaterialien werden vermieden und

der Herstellungsprozess kann in einem kontinuierlichen Fluss erfolgen [12]. Produktivität wird signifikant gesteigert und die Leistungserstellung wird gleichmäßig verteilt. Zuletzt wird der Bauablauf zur Einhaltung der Lean-Ansätze permanent kontrolliert und gesteuert [12].

### 5 Verschwendung

Lean Construction bedeutet die Identifikation des Wertes und die Ausrichtung am Kundenwert. Der Kundenwert soll maximiert werden, indem die Verschwendung (japanisch: Muda) entlang des Wertstroms minimiert wird.

Öno nennt die drei M's der Verschwendung auf Japanisch als „Muda“ (= Abfall), „Muri“ (= Überlastung) und „Mura“ (= Ungleichmäßigkeit) [30]. Muda sind Aktivitäten, die Ressourcen verbrauchen, ohne dabei einen Kundenwert zu erzeugen [19]. Mura ist ein nicht-synchroner Gesamtablauf der Teilprozesse, dessen Ausgleichmechanismen Muda erzeugen. Muri ist die Überlastung einzelner Produktionsteile (Maschinen, Menschen, Vorgänge...) und damit der Verursacher von Mura. Sowohl Mura als auch Muri erzeugen Muda [4]. In Abbildung 3 sind die drei M's der Verschwendung dargestellt.

Es gibt sieben Arten der Verschwendung. Ordnet man diese vertikal an, so lässt sich aus den ersten Buchstaben der Name „TIM WOOD“ ablesen.

Tab. 1: Tim Wood

<b>T</b>	Transportation	Transport
<b>I</b>	Inventory	Lagerbestände
<b>M</b>	Motion	Überflüssige Bewegungen
<b>W</b>	Waiting	Wartezeiten
<b>O</b>	Overproduction	Überproduktion
<b>O</b>	Overprocessing	Ineffiziente Arbeitsprozesse
<b>D</b>	Defects/ Rework	Produktionsfehler/ Nacharbeiten

Verschwendung beim Transport sind zum Beispiel unnötig lange Transporte aufgrund von großen Abständen zwischen zwei Produktionsstätten bzw. Prozessschritten. Außerdem muss eine optimale Liefermenge gewährleistet sein, damit weder der Produktionsfluss gefährdet ist, noch die Lagerbestände ein ungesundes Maß übersteigen [4]. Ein zu großes Lager bindet unproduktives Kapital, dessen Wert über die

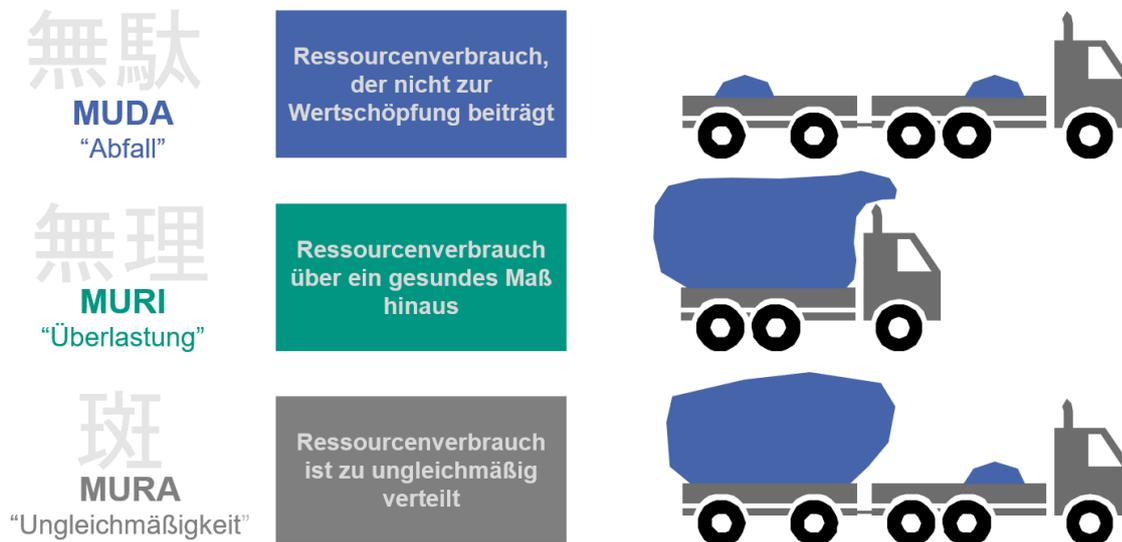


Abb. 3: Muda, Muri, Mura; eigene Darstellung

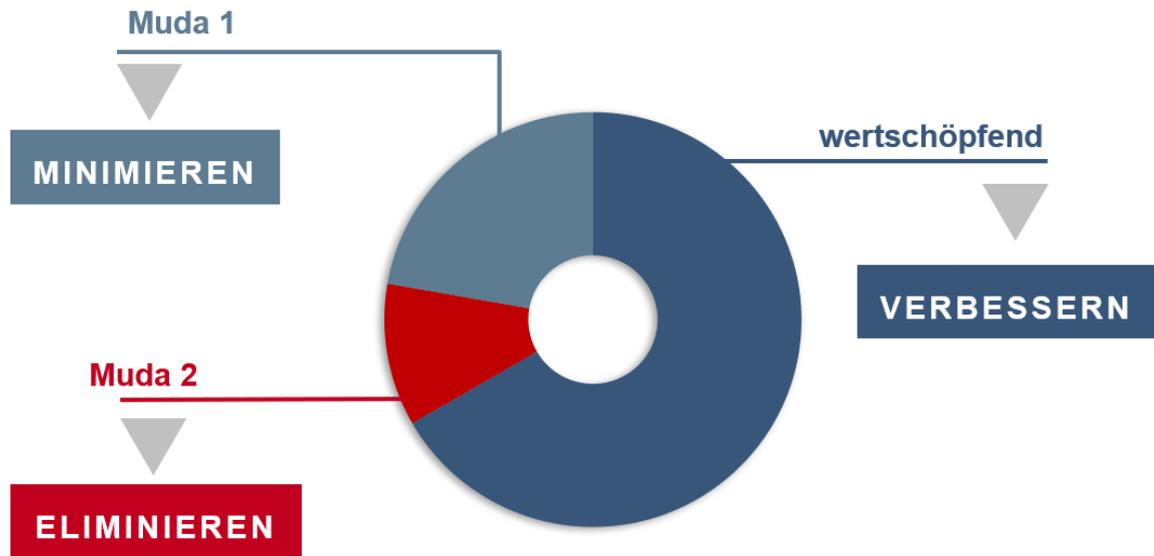


Abb. 4: Der Verschwendungskreis; eigene Darstellung

Lagerdauer abnimmt und für dessen Unterhalt Kosten anfallen. Lagerhaltung ist zwar ein gutes Mittel zur Pufferung der Produktionskapazitäten, verhindert aber, dass Unregelmäßigkeiten konsequent weiterverfolgt werden [4]. Mit „überflüssigen Bewegungen“ sind keine Transportvorgänge von Waren, Maschinen oder Personen gemeint, sondern die Bewegungen des Arbeiters während der Produktion. Zur Schonung des Mitarbeiters und Erhöhung der Geschwindigkeit sollte dieser seine Tätigkeiten möglichst einfach und ohne überflüssige Handgriffe oder Wege erledigen können. Die räumliche und übersichtliche Anordnung der Produktionsmittel ist hierbei von besonderer Wichtigkeit [4]. Wartezeiten sind eine Unterbrechung des Produktionsflusses und führen zu einem Verbrauch der Ressource Arbeitskraft. Sie sollten daher als eine Art von Muda auf jeden Fall vermieden werden [4]. Die Überproduktion dient als Puffer, um Unregelmäßigkeiten abzufangen. Die zu viel produzierte Ware muss eingelagert werden und verursacht dadurch Lagerhaltungskosten. Außerdem entsteht das Risiko, dass die Überproduktion nicht verkauft werden kann [4]. Produktionsfehler und Nacharbeiten machen sich direkt als Verschwendung durch Nachbesserung oder Entsorgung und damit Wertvernichtung bemerkbar [4]. Es wird zwischen zwei Typen von Muda unterschieden. Beim Muda Typ 1 handelt es sich um eine Scheinleistung. Das heißt der Vorgang sorgt für keinen Wertzuwachs, ist aber unvermeidbar unter den gegenwärtigen Technologien und Fertigungseinrichtungen. Muda Typ 2 ist eine Blindleistung, die keinen Wert erzeugt und direkt vermeidbar ist [2]. Muda vom Typ 2 kann und sollte sofort aus dem Produktionsprozess eliminiert werden. Muda

vom Typ 1 und wertschöpfende Tätigkeiten müssen mit den Grundprinzipien Flow, Pull und Perfektion bearbeitet werden, um damit minimiert bzw. verbessert zu werden [2]. In Abbildung 4 ist der Verschwendungskreis dargestellt. Er zeigt den Anteil von Muda 1, Muda 2 und wertschöpfenden Tätigkeiten an der Gesamtheit des Produktionsprozesses.

## 6 Verbesserung von Prozessen

Womack und Jones [2] verfassen im fünften Grundprinzip des Lean Gedankens das Streben nach Perfektion. Darin ist die ständige Weiterentwicklung von Prozessen enthalten. Dieses Kapitel befasst sich deshalb ausführlich mit den Instrumenten und Methoden der Verbesserung von Prozessen und Verträgen.

### 6.1 Kaizen & Kaikaku

Die japanische Bezeichnung eines „kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP)“ ist „Kaizen“. Es handelt sich um einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess in kleinen Schritten, der durch die Einbeziehung der Mitarbeiter möglich gemacht wird [24]. Neben dem Prinzip „Kaizen“ gibt es noch das Prinzip „Kaikaku“, das die Verbesserung durch große Innovationssprünge beschreibt. Kaikaku sind große technologische Durchbrüche, neue Managementkonzepte oder neue Produktionstechniken. Kaizen ist im Vergleich zum Kaikaku eine langfristige Aufgabe, deren Implementierung in kleinen Schritten erfolgt. Kaikaku wird in einem großen Schritt implementiert und erfordert hierfür bedeutsame Investitionen. Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess findet auf der Mitarbeiterenebene statt. Innovationen werden hingegen eher vom Management eingeführt [25].

### 6.2 Der Verbesserungszyklus als Instrument der Verbesserung

Ziel von Kaizen ist die kontinuierliche Verbesserung von Prozessen. Kaizen bedient sich hierbei dem Instrument des „nicht endenden Verbesserungszyklus“ [26]. Der Verbesserungszyklus wird auch PDCA-Zyklus genannt. Es handelt es sich um eine Qualitätstechnik, bei der die grundlegenden Phasen der Verbesserung als Instrumente des Lean Management definiert werden [19]. PDCA steht für die Anfangsbuchstaben der vier Kreisbestandteile Plan, Do, Act/Adjust und Check. Der Zyklus beginnt mit dem Schritt 1. Plan und wird dann in unendlich vielen Schleifen nach dem Prinzip von Kaizen durchlaufen [25].

**Plan:** Es erfolgt die Sammlung von Informationen, eine Analyse der Situation und eine genaue Beschreibung des Problems. Außerdem muss der Kundenbedarf klar ermittelt sein und ein Ziel der gewünschten Verbesserung gesetzt werden [19].

**Do:** In dieser Phase kommt es zur Implementierung der geplanten Verbesserung [26].

**Check:** Es wird die Wirkung der geplanten Verbesserung überprüft. Außerdem erfolgt ein Abgleich mit den gesetzten Zielen aus der „Plan“-Phase [19].

**Act/ Adjust:** Bei Nichterfüllung der Ziele wird das Problem mit einem weiteren Durchlauf von neuem verbessert. Wurden die Ziele mithilfe der Verbesserung erreicht, so wird die Verbesserung unternehmensweit standardisiert. Nach der Realisierung der Verbesserung werden neue Ziele, basierend auf der alten Verbesserung, gesetzt und der Zyklus läuft weiter [26].

### 6.3 Ursachenforschung von Problemen

In der Plan-Phase des PDCA-Zyklus, muss vor der Entwicklung eines Plans zur Verbesserung das Problem identifiziert werden.

#### 6.3.1 Die 5-W-Methode

Um Ursachen eines Problems zu identifizieren, kann die 5-W-Methode verwendet werden. Die 5-W-Methode ist ein einfaches System zur Ursachenforschung, bei dem ein unbekannter Fehler durch wiederholtes Fragen „Warum?“ spezifiziert wird, bis das Kernproblem identifiziert ist. Auf Basis der vorherigen Antwort, wird das Problem durch erneutes Fragen „Warum?“ weiter eingegrenzt, bis es eindeutig identifiziert ist.

## 7 Ansatzpunkte in der Betonproduktion

Die Lean Philosophie kann dort Anwendung finden, wo Prozesse stattfinden. Somit sind die Grundlagen zur Anwendung von Lean in der Betonproduktion gegeben. Die Produktion von Zement und Beton ist charakterisiert durch die Chargenproduktion, das heißt, es findet ein diskontinuierlicher Prozess statt, der anhand von Rezepturen ein bestimmtes Produkt in einer vorgegebenen Menge und Qualität herstellt [27]. Abbildung 5 zeigt schematisch und vereinfacht den Prozess der Betonindustrie. Es gibt Input Ressourcen in Form von Rohmaterialien, diese werden einem Produktionssystem zugeführt und in Beton umgewandelt. Je nach Anforderung der Baustelle wird dieser Beton in Form von Transportbeton auf die Baustelle transportiert oder in weiteren Produktionsschritten zu Betonfertigteilen verarbeitet und dann in Form von Bauteilen auf die Baustelle transportiert.

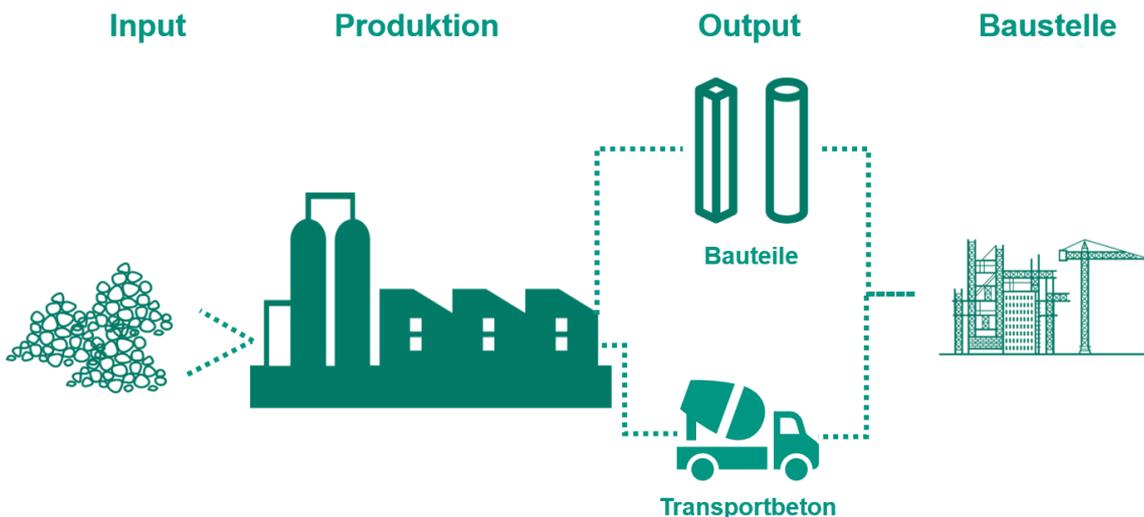


Abb. 5: Vereinfachter Prozess Betonindustrie; eigene Darstellung

Deutlich werden diese Potentiale, die sowohl im Fertigteilebau als auch in der Beton- und Zementindustrie Anwendung finden können, in folgenden Beispielen.

Ballard et al. haben bereits 2003 die Anwendung von Lean Konzepten in der Betonfertigteileindustrie untersucht. Dazu wurde ein Experiment in einer Produktionsstätte in England durchgeführt. Auszugsweise einige Ergebnisse:

- Steigerung der Produktion von Wandelementen von 3,2 Wänden/Tag auf 9 Wände/Tag
- Steigerung des wöchentlichen Umsatzes von £130.000 auf £260.000 bei einer Erhöhung der Mitarbeiterzahl von 115 auf 122.
- Qualitativ wurde durch die Baustelle eine Erhöhung der Qualität festgestellt, ohne diese bis dahin gemessen zu haben [28].

Wichtig hierbei ist zu erwähnen, dass während der ersten Implementierungsphase nichts an der technologischen Ausstattung der Produktion verändert wurde, es wurden nur Umstrukturierungsprozesse im Sinne der Lean Philosophie durchgeführt. Ein weiteres Beispiel, das eine Lösung für einen Engpass in der Produktion von Beton liefert, wurde von der Firma Alcemy entwickelt. Anhand einer Prozessanalyse wurde hier festgestellt, dass der Prozess der Qualitätsüberwachung für Betonmischungen kritisch sowohl für den Bauunternehmer, als auch für Produktionswerk ist. Mit gängigen Methoden dauert dieser Prozess aktuell circa 28 Tage. Um die möglichen Folgen einer schlechten Betoncharge abzufangen, wird der Anteil an Zement in der Mixtur mit bis zu 20 % überbemessen. Was im Sinne der Lean Philosophie eine klare Überproduktion darstellt. Die technische Lösung der Firma kann der Testzyklus von 28 Tagen auf 40 min reduzieren. Dies ermöglicht direkten Einfluss auf die Produktion, um nötige Anpassungen während des Prozesses vorzunehmen und so auf verschiedenen Rohmaterialressourcen zu reagieren. Konsequenz kann nun die exakt erforderliche Menge an Zement in die Betonrezeptur eingebracht werden. Würde diese Technologie weltweit genutzt, könnte das Äquivalent zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Vereinten Königreiches eingespart werden. Interessant hierbei ist, dass dies unter der Annahme eines nicht weiter optimierten Produktionsprozesses stattfinden kann [29].

## 8 Ausblick

Die Lean Philosophie ist in allen Lebensbereichen, wo Prozesse stattfinden, einsetzbar und beinahe alle Interaktionen sind als Prozess abbildbar. Im Hinblick auf eine Prozessoptimierung, wie sie bei Toyota im Toyota Production System stattgefunden hat, steht die Betonindustrie sicherlich am Anfang. Obwohl wie die Beispiele zeigen, es schon seit längerer Zeit Ansatzpunkte für die Umstrukturierung von Prozessen, zumindest in der Fertigteilebranche, gibt. Spannend wird es ganz aktuell, wenn man die Prozessanalyse nutzt, um auch technologische Innovationen, wie zum Beispiel Künstliche Intelligenz Anwendungen, in Branche bringt. Hier deuten sich enorme Potentiale an. Das Attraktive an der Implementierung von Lean Methoden in Prozessen ist, dass dies in den meisten Fällen ohne große Investitionen möglich ist und mit einem Umdenken und Hinterfragen von Prozessen und deren Auswirkungen oft schon immense Erfolge erzielt werden können. Oder wie Rother et al. es formulieren, das „Sehen“ muss neu erlernt werden [23].

## 9 Literatur

- [1] McKinsey Global Institutes (MGI) (2017): Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity. Online verfügbar unter <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-construction-A-route-to-higher-productivity-Full-report.ashx>.
- [2] Womack, J. P.; Jones, D. T.; Ross, D.: The machine that changed the world. The story of lean production - Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry. Free Press, New York, 2007.
- [3] Haghsheno, Shervin, Marco Binnering, and Janosch Dlouhy. "Wertschöpfungsorientierte Planung und Realisierung von Bauvorhaben durch Lean Construction." Der Bauingenieur, Jahressausgabe 2016 (2015): 140ff.
- [4] Fiedler, Martin (Hg.) (2018): Lean Construction - das Managementhandbuch. Agile Methoden und Lean Management im Bauwesen. Berlin: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-55337-4>.

- [5] Haghsheno, Shervin: VDI Expertenforum.
- [6] Ballard, Glenn; Howell, Gregory A. (2003): Lean project management. In: Building Research & Information 31 (2), S. 119-133. DOI: 10.1080/09613210301997.
- [7] Schneider, Rolf (2013): Geringe Produktivitätszuwächse in Deutschland. Economic Research. Hg. v. Allianz. München. Online verfügbar unter [https://www.allianz.com/content/dam/onemarketing/azcom/Allianz\\_com/migration/media/economic\\_research/publications/working\\_papers/de/Produktivitaet13.pdf](https://www.allianz.com/content/dam/onemarketing/azcom/Allianz_com/migration/media/economic_research/publications/working_papers/de/Produktivitaet13.pdf).
- [8] Heidemann, Ailke (2011): Kooperative Projektentwicklung im Bauwesen unter der Berücksichtigung von Lean-Prinzipien - Entwicklung eines Lean-Projektentwicklungssystems: Internationale Untersuchungen im Hinblick auf die Umsetzung und Anwendbarkeit in Deutschland. s.l.: KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=19448>.
- [9] Fockenberg, Klaus (o.J.) (2008): Lean Construction auf der Baustelle. Frankfurt am Main: Fischer.
- [10] Zentrum für Bau- und Infrastrukturmanagement; Lehrstuhl für Bauwirtschaft und Baubetrieb, TU Braunschweig; Lehrstuhl für Infrastruktur- und Immobilienmanagement, TU Braunschweig: Tagungsband zum 29. BBB-Assistententreffen - Fachkongress der wissenschaftlichen Mitarbeiter der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik: Beiträge zum 29. BBB-Assistententreffen vom 06. bis 08. Juni 2018 in Braunschweig. Unter Mitarbeit von Universitätsbibliothek Braunschweig.
- [11] Potts, K. (Hg.) (2005): The New Scottish Parliament Building—a critical examination of the lessons to be learned in: Proceedings of the Third International Conference on Construction in the 21st Century. Third International Conference on Construction in the 21st Century.
- [12] Gehbauer, Fritz (Hg.) (2007): Was bedeutet Lean Construction? Lean Praxis Tag. Karlsruhe, 23.01.2007. Universität Karlsruhe. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/682442-Was-bedeutet-lean-construction.html>, zuletzt geprüft am 17.06.2019.
- [13] Kalsaas, Bo Terje; Koskela, Lauri; Saurin, Tarcisio Abreu; Bygballe, Lena E.; Swärd, Anna (Hg.) (2014): Implementing Lean Construction - A Practice Perspective. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway.
- [14] Tucker, Selwyn N.; Ballard, Glenn (Hg.) (1997): Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Gold Coast, Australia.
- [15] Friedrich, Till; Meijnen, Peter; Schriewersmann, Florian (2013): Lean Construction - die Übertragung der Erfolgsmodelle aus der Automobilindustrie. In: Christoph Motzko (Hg.): Praxis des Bauprozessmanagements. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, S. 37-52.
- [16] Volkmann, Walter (2003): Projektentwicklung. Handbuch für die planerische und baupraktische Umsetzung ; Methoden, Arbeitshilfen, Vordrucke ; [für Architekten und Ingenieure in Architekturbüros, in Ingenieurbüros, in Bauunternehmungen, bei Projektentwicklern, in Bauherrenorganisationen. 2., überarb. u. erw. Aufl. Essen: Verl. für Wirtschaft und Verwaltung Wingen.
- [17] Scheifele, Daniel R. (1991): Bauprojekttablauf. Grundlagen und Modelle für eine effiziente Ablaufplanung im Bauwesen. Köln: Verl. TÜV Rheinland (Schriftenreihe der Gesellschaft für Projektmanagement).
- [18] Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1990): The machine that changed the world. Based on the Massachusetts Institute of Technology 5 million dollar 5 year study on the future of the automobile. New York, NY: Rawson.
- [19] Zollondz, Hans-Dieter (2013): Grundlagen Lean Management. Einführung in Geschichte, Begriffe, Systeme, Techniken sowie Gestaltungs- und Implementierungsansätze eines modernen Managementparadigmas. München: Oldenbourg (Edition Management). Online verfügbar unter [http://www.degruyter.com/search?f\\_0=isbn&nissn&q\\_0=9783486779042&searchTitles=true](http://www.degruyter.com/search?f_0=isbn&nissn&q_0=9783486779042&searchTitles=true)
- [20] Howell, Gregory A. (Hg.) (1999): What is Lean Construction? 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Berkeley.
- [21] Staufen AG (Hrsg.) (2016): 25 Jahre Lean Management. Lean gestern, heute und morgen. Online verfügbar unter [http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAU-FEN.-studie25-jahre-lean-management-2016-de\\_DE.pdf](http://www.staufen.ag/fileadmin/HQ/02-Company/05-Media/2-Studies/STAU-FEN.-studie25-jahre-lean-management-2016-de_DE.pdf).
- [22] Faloughi, Mazen; Linnik, Meeli; Murphy, Dan (Hg.) (2015): WIP design in a construction projekt using takt time planning. Process 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, 29.-31.07.2015. Online verfügbar unter [https://pdfs.semanticscholar.org/af4e/e3d327da8c7a55b4352ccd966dbfa40faf95.pdf?\\_ga=2.180475239.1911568754.1560761450-1199780985.1555487899](https://pdfs.semanticscholar.org/af4e/e3d327da8c7a55b4352ccd966dbfa40faf95.pdf?_ga=2.180475239.1911568754.1560761450-1199780985.1555487899), zuletzt geprüft am 17.06.2019.

[23] Rother, Mike, and John Shook. Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda. Lean Enterprise Institute, 2003.

[24] Liker, Jeffrey K. (2004): The Toyota way. 14 management principles from the world's greatest manufacturer. New York, NY: McGraw-Hill. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/bios/mh041/2004300007.html>.

[25] Imai, Masaaki; Nitsch, Franz (1994): Kaizen. Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. 12. Aufl. München: Wirtschaftsverl. Langen Müller/Herbig.

[26] Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang (2013): Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufriedenstellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen: [das Standardwerk. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser.

[27] Anschütz, Stefan. "Produktionsablaufplanung bei Chargenproduktion." Ablaufplanung bei Chargenproduktion. Deutscher Universitätsverlag, 2001. 21-44.

[28] Ballard, Glenn, Nigel Harper, and Todd Zabelle. "Learning to see work flow: an application of lean concepts to precast concrete fabrication." Engineering, Construction and Architectural Management 10.1 (2003): 6-14.

[29] Spenner, Leopold <https://www.youtube.com/watch?v=lvS4QYrsy5A> (abgerufen am 03.06.2019)

[30] Ōno, Taiichi; Bodek, Norman (2008): Toyota production system. Beyond large-scale production. [Reprinted]. New York, NY: Productivity Press.

[31] Hofacker, Alexander (2010): Bewertung und Einführung von Lean-Methoden in der Einzel- und Kleinserienfertigung am Beispiel des Stahlbaus. Unter Mitarbeit von Fritz Gehbauer und Gisela Lanza. Karlsruher Institut für Technologie. Karlsruhe.

## **Autoren**

### **Dominik Steuer, M.Sc.**

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Gotthard-Franz-Str. 3  
76131 Karlsruhe

### **Svenja Oprach, M.Sc.**

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Gotthard-Franz-Str. 3  
76131 Karlsruhe

### **Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Hagsheno**

Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Gotthard-Franz-Str. 3  
76131 Karlsruhe