



Manuel Kanatschnig, BSc

Systematische Baustellendokumentation

Möglichkeiten zur zeitnahen Datenerfassung und Dokumentation auf Baustellen

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium

Wirtschaftsingenieurwesen - Bauwesen

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler

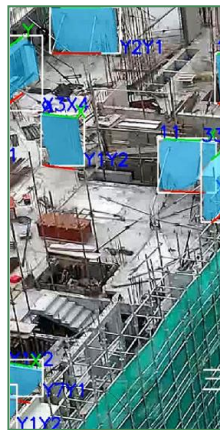
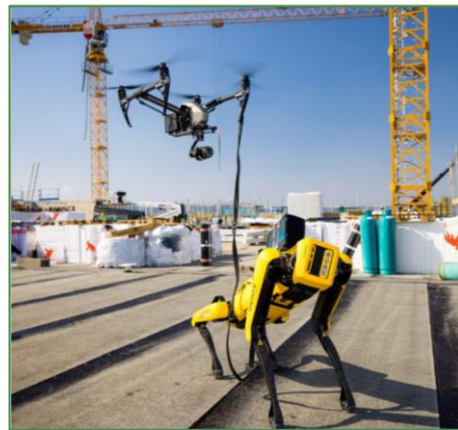
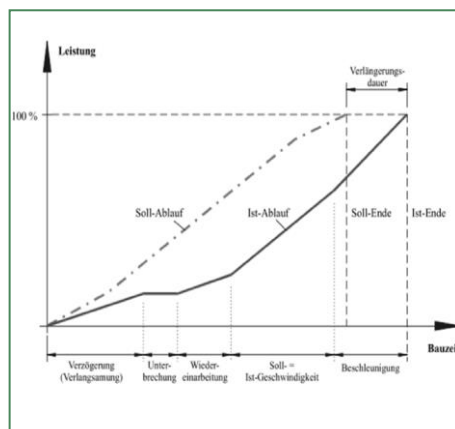
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Mitbetreuer

Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Kummer

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

MASTERARBEIT



SYSTEMATISCHE BAUSTELLENDOKUMENTATION MÖGLICHKEITEN ZUR ZEITNAHEN DATENERFASSUNG UND DOKUMENTATION AUF BAUSTELLEN

Kanatschnig Manuel, BSc

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Betreuer
Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Kummer

Graz am 23. Oktober 2023

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,

date

.....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler und Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Kummer.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützte.

(Ort), am (Datum)

(Unterschrift des Studierenden)

Kurzfassung

Eine umfassende Dokumentation zählt zu den Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Durchführung eines Bauprojekts und für eine gute Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten. Häufig ist es auf gegenwärtigen Baustellen jedoch der Fall, dass es im Laufe der Zeit zu Konflikten zwischen den Vertragsparteien kommt. Diese Streitigkeiten sind aufgrund einer unzureichenden Dokumentation der einzelnen Bauprozesse sehr schwer zu lösen, da Verantwortlichkeiten für die Abweichungen im Bauablauf aufgrund der nicht detaillierten Erfassung des Baugeschehens schwierig zuzuordnen sind. Eine ausführliche und gemeinschaftliche Dokumentation der Ereignisse auf der Baustelle kann dazu beitragen, Konflikte frühzeitig zu vermeiden und gleichzeitig die Möglichkeit bieten, einzelne Prozesse zu optimieren.

Deshalb werden in der gegenständlichen Arbeit die Anforderungen an die Baustellendokumentation untersucht und in weiterer Folge die Stärken und Schwächen der einzelnen Dokumentationsmittel, welche derzeit auf Baustellen üblicherweise verwendet werden, genauer analysiert. Im Anschluss wird untersucht, wie die Baustellendokumentation durch neue Technologien verbessert werden kann. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf Technologien im Bereich der Bauprozessidentifikation gelegt, welche es ermöglichen, Baustellengeschehnisse in nahezu Echtzeit zu dokumentieren. Abschließend werden diese Technologien auf ihre Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation untersucht.

Abstract

A comprehensive documentation is a key factor for the successful execution of a construction project and for fostering effective collaboration among the project stakeholders during construction. However, it is often the case on current construction sites that conflicts arise over time between the different contractual parties. These disputes are difficult to resolve due to inadequate documentation of the individual construction processes, making it challenging to assign responsibilities for deviations and disruptions in the construction workflow. Thorough and collaborative documentation of the events on the construction site can help prevent conflicts at an early stage while providing an opportunity to optimize individual processes.

Therefore, this study examines the requirements for construction site documentation and subsequently analyzes the strengths and weaknesses of the various documentation tools commonly used on construction sites. Furthermore, it investigates how construction site documentation can be improved through the adoption of new technologies. Special attention is given to technologies in the field of construction process identification, which enable the documentation of construction site events in near real-time. Finally, these technologies are examined for their strengths and weaknesses, as well as the opportunities and risks they present for construction site documentation.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Situationsanalyse	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Methodik	3
1.4	Gliederung der Arbeit	4
2	Grundlagen	5
2.1	Projektphasen	5
2.2	Projektbeteiligte der Ausführungsphase	7
2.2.1	Bauherr	8
2.2.2	Projektmanagement	9
2.2.3	Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)	9
2.2.4	Bauausführende Unternehmen	9
2.2.5	Subunternehmer	10
2.2.6	Planer*innen	10
2.2.7	Sonstige Projektbeteiligte in der Ausführungsphase	11
2.3	Produktivität	11
2.3.1	Elementare Produktionsfaktoren	13
2.3.2	Dispositive Produktionsfaktoren	14
2.3.3	Äußere Einflüsse auf das Produktionssystem	14
2.4	Generierung von Wissen aus Daten und Informationen	16
2.4.1	Entstehung von Wissen	16
2.4.2	Wissensarten	18
3	Dokumentation	20
3.1	Begriff Dokumentation	20
3.2	Allgemeines zur Baustellendokumentation	20
3.3	Dokumentationsarten	21
3.4	Wer dokumentiert?	22
3.5	Was soll dokumentiert werden?	24
3.6	Wann soll dokumentiert werden?	25
3.7	Anforderungen an die Dokumentation	26
3.8	Wesentliche Fragen der Dokumentation	27
3.9	Potenziale der Baustellendokumentation	28
4	Bauablaufstörungen: Anforderungen an die Baustellendokumentation	30
4.1	Allgemeines zu Bauablaufstörungen	30
4.2	Unterschied Ablaufstörung und Ablaufschwankung	32
4.3	Störungsarten	33
4.4	Ursachen für Bauablaufstörungen	36
4.5	Auswirkungen durch Bauablaufstörungen	38
4.5.1	Auswirkungen auf die Bauzeit	38
4.5.2	Auswirkungen auf die Baukosten	39
4.5.3	Auswirkungen auf den Bauablauf	39
4.5.4	Auswirkungen auf die eingesetzten Bauverfahren	40
4.6	Erkennbarkeit der Störung	40
4.7	Gegensteuerungsmaßnahmen	40
4.8	Anforderungen an die Nachweisführung	42
4.9	Vorgehensweise bei der Nachweisführung	44

4.9.1	Analyse der Vertragsbestimmungen	44
4.9.2	Identifikation der Störung und dessen Ursache	45
4.9.3	Ermittlung der zeitlichen Auswirkungen und Zuordnung der Störung zur jeweiligen Sphäre	46
4.9.4	Berechnung der monetären Auswirkungen	48
4.10	Nachweisarten	49
4.11	Einzelnachweis	50
4.12	Probleme Einzelnachweis	51
4.13	Globalnachweis	53
4.14	Probleme Globalnachweis	54
4.15	Zusammenfassung	54
5	Aktuelle Dokumentationsmittel	57
5.1	Bautagesberichte	57
5.1.1	Stärken Bautagesberichte	61
5.1.2	Schwächen Bautagesberichte	62
5.2	Baubuch	64
5.2.1	Stärken Baubuch	65
5.2.2	Schwächen Baubuch	65
5.3	Besprechungsprotokolle	66
5.3.1	Stärken Besprechungsprotokolle	67
5.3.2	Schwächen Besprechungsprotokolle	68
5.4	Foto- und Videodokumentationen	69
5.4.1	Stärken Foto- und Videodokumentationen	70
5.4.2	Schwächen Foto- und Videodokumentation	71
5.5	Schriftverkehr	72
5.5.1	Stärken Schriftverkehr	72
5.5.2	Schwächen Schriftverkehr	73
5.6	IST-Terminplan	74
5.6.1	Stärken IST-Terminplan	75
5.6.2	Schwächen IST-Terminplan	76
5.7	Planlieferlisten	77
5.7.1	Stärken Planlieferlisten	78
5.7.2	Schwächen Planlieferlisten	78
5.8	Aufmaßprotokolle	79
5.8.1	Stärken Aufmaßprotokolle	80
5.8.2	Schwächen Aufmaßprotokolle	81
5.9	Lieferscheine	82
5.9.1	Stärken Lieferscheine	82
5.9.2	Schwächen Lieferscheine	83
5.10	Zusammenfassung IST-Dokumentationsmittel	84
6	Chancen und Risiken durch den Einsatz neuer Technologien im Bereich der Baustellendokumentation	85
6.1	Künstliche Intelligenz	87
6.1.1	Anwendungsgebiete der künstlichen Intelligenz in der Baubranche	90
6.1.2	Stärken und Chancen der KI für die Baustellendokumentation	94
6.1.3	Schwächen und Risiken der KI für die Baustellendokumentation	96
6.1.4	SWOT-Analyse KI	98
6.2	Internet of Things (IoT)	99
6.2.1	Anwendungsgebiete von IoT in der Baubranche	103
6.2.2	Stärken und Chancen von IoT für die Baustellendokumentation	104
6.2.3	Schwächen und Risiken von IoT für die Baustellendokumentation	106

6.2.4	SWOT-Analyse IoT	108
6.3	3D-Rekonstruktion mittels Laserscanning und Photogrammetrie	109
6.3.1	Anwendungsgebiete von Photogrammetrie und Laserscanning in der Baubranche	112
6.3.2	Stärken und Chancen von Photogrammetrie und Laserscanning für die Baustellendokumentation	115
6.3.3	Schwächen und Risiken von Photogrammetrie und Laserscanning für die Baustellendokumentation	116
6.3.4	SWOT-Analyse Photogrammetrie und Laserscanning	118
6.4	Trägergeräte (Drohnen und Robotik)	119
6.4.1	Anwendungsgebiete von Drohnen und Robotik in der Baubranche	123
6.4.2	Stärken und Chancen von Drohnen für die Baustellendokumentation	124
6.4.3	Schwächen und Risiken von Drohnen und Robotik für die Baustellendokumentation	125
6.4.4	SWOT-Analyse der Drohnen und Robotik	128
7	Zusammenfassung	129
8	Ausblick	131
9	Literaturverzeichnis	134
10	Linkverzeichnis	141

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Zielsetzung der Arbeit	2
Abbildung 2.1 Projektphasen.....	7
Abbildung 2.2 Projektbeteiligte in der Ausführungsphase	8
Abbildung 2.3 Darstellung der Gesamtproduktivität nach <i>Hofstadler</i>	12
Abbildung 2.4 Dreidimensionales Produktionssystem nach <i>Hofstadler</i>	15
Abbildung 2.5 Anwendung der Wissenstreppe nach North auf den Baubetrieb.....	17
Abbildung 2.6 Wissensarten.....	18
Abbildung 3.1 Dokumentation des AN	23
Abbildung 3.2 Anforderungen und Ziele an die Dokumentation von AG & AN	24
Abbildung 3.3 Wesentliche Fragen zur Dokumentation	28
Abbildung 4.1 Arten von Bauablaufstörungen	34
Abbildung 4.2 Auswirkungen von Bauablaufstörungen auf die Bauzeit.....	34
Abbildung 4.3 Primär- und Sekundärstörungen.....	35
Abbildung 4.4 Häufige Störungsursachen und Sphärenzuteilung	37
Abbildung 4.5 Einarbeitungseffekt nach Unterbrechung	38
Abbildung 4.6 Kausalität	42
Abbildung 4.7 SOLL-, SOLL'-, IST-Vergleich.....	47
Abbildung 4.8 Kumulierungswirkung von Bauablaufstörungen.....	52
Abbildung 5.1 Bautagesbericht Musterformular Seite 1	59
Abbildung 5.2 Bautagesbericht Musterformular Seite 2	60
Abbildung 5.3 Digitales Bautagebuch iTWO.....	61
Abbildung 5.4 Ausschnitt Bautagesbericht	63
Abbildung 5.5 Beispiel Besprechungsprotokoll.....	67
Abbildung 5.6 Beispiel Terminplan	75
Abbildung 5.7 Beispiel Lieferschein	82
Abbildung 6.1 Symbolfoto Künstliche Intelligenz	87
Abbildung 6.2 Schematische Darstellung eines neuronalen Netzes	89
Abbildung 6.3 Personenerkennung auf Baustellenaufnahmen	92
Abbildung 6.4 Erkennung von Baumaterialien.....	92
Abbildung 6.5 SWOT-Analyse künstliche Intelligenz	98
Abbildung 6.6 Schematischer Aufbau eines polysensoralen Systems	99
Abbildung 6.7 Bestandteile und Funktionsweise des RFID-Systems.....	101
Abbildung 6.8 Einbau Bewehrungskorb und Stütze mit Neigungssensor.....	104
Abbildung 6.9 SWOT-Analyse IoT	108
Abbildung 6.10 Funktionsweise des Laserscanners	110
Abbildung 6.11 Erzeugung eines Modells mittels Photogrammetrie	112
Abbildung 6.12 Auszug aus der Fotoserie für die 3-D Rekonstruktion.....	113
Abbildung 6.13 3-D Rekonstruktion der Schalung	114

Abbildung 6.14 Modelldaten und ihre Eignung	114
Abbildung 6.15 SWOT-Analyse Photogrammetrie und Laserscanning	118
Abbildung 6.16 Beispiel eines Quadcopters der Firma DJI.....	120
Abbildung 6.17 Roboterhund "Spot" und Drohne bei der Durchführung von Laserscans	124
Abbildung 6.18 SWOT-Analyse Drohnen und Robotik.....	128

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1 Zuordnung der Auswirkung und Sphäre der Störung	48
Tabelle 5.1 Stärken/Schwächen Bautagesbericht	64
Tabelle 5.2 Stärken/Schwächen Baubuch.....	66
Tabelle 5.3 Stärken/Schwächen Besprechungsprotokolle	69
Tabelle 5.4 Stärken/Schwächen Foto- und Videodokumentation	72
Tabelle 5.5 Stärken/Schwächen Schriftverkehr	74
Tabelle 5.6 Stärken/Schwächen IST-Terminplan.....	77
Tabelle 5.7 Planlieferliste	78
Tabelle 5.8 Stärken/Schwächen Planlieferlisten.....	79
Tabelle 5.9 Beispiel Aufmaßprotokoll.....	80
Tabelle 5.10 Stärken/Schwächen Aufmaßprotokolle	81
Tabelle 5.11 Stärken/Schwächen Lieferscheine.....	84
Tabelle 6.1 KI-Technologien	88
Tabelle 6.2 Vor- und Nachteile beim Einsatz der verschiedenen Funktechniken ...	102

Abkürzungsverzeichnis

ABGB	Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch
AG	Arbeitgeber
AN	Arbeitnehmer
AW	Aufwandswert
BAS	Bauablaufstörung
BGH	Bundesgerichtshof
BLE	Bluetooth Low Energy
BTB	Bautagesbericht
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
etc.	et cetera
i.d.R.	in der Regel
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
MKF	Mehrkostenforderung
OCR	Optical Character Recognition
ÖBA	Örtliche Bauaufsicht
PPH	Projektphase(n)
PV	Produktivitätsverlust
RFID	Radio-Frequency Identification
RSS	Received Signal Strength
RTLS	Real Time Location System
UWB	Ultra-Wideband
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

In der Einleitung wird zuerst mittels einer Situationsanalyse auf den aktuellen Stand der Baubranche eingegangen und welche Probleme es bei der Dokumentation auf gegenwärtigen Baustellen gibt. Danach werden die genauen Ziele definiert, welche in dieser Arbeit verfolgt werden. Um diese Ziele auch schlussendlich zu erreichen, wird eine bestimmte Methodik verwendet und die Arbeit in unterschiedliche Bereiche gegliedert.

1.1 Situationsanalyse

In der gegenwärtigen Bauindustrie herrscht bei den ausführenden Bauunternehmen ein enormer Kosten- und Termindruck. Stark ansteigende Materialkosten, durchwachsene Auftragslagen und steigende Zinsen machen der Branche zu schaffen. Zusätzlich zum Kosten- und Termindruck herrscht gerade in der Baubranche und auch in vielen anderen Branchen ein Fachkräftemangel, der die Realisierung der Bauprojekte erschwert.¹ Des Weiteren nimmt die Komplexität der Bauwerke zu, was die Herausforderungen für die Bauunternehmen immer weiter erhöht.² Deshalb suchen viele Unternehmen derzeit nach neuen Wegen, um Baustellen effizienter abzuwickeln und vorhandenes Personal effektiver einzusetzen.

Die Auftraggeber legen zunehmend Wert auf einen schnellen Abschluss ihrer Projekte. Aufgrund einer dadurch häufig sehr kurzen Planungsphase gibt es immer wieder Abänderungen an den Plänen des Bauwerks während der Baudurchführung. Veränderungen im Bauablauf ergeben aber auch Veränderungen in den Bauzuständen, wodurch es schwer ist, Aussagen über zukünftige Baustellenzustände darzustellen. Es ist jedoch erforderlich, geeignete Maßnahmen abzuleiten, wenn Störeinflüsse auf der Baustelle eintreten. Deshalb hängt der Erfolg auf gegenwärtigen Baustellen sehr stark von einer erfahrenen Bauleitung ab.³

Einer der häufigsten Gründe, wieso Bauprojekte nicht erfolgreich durchgeführt werden ist, dass wichtige Entscheidungen oft viel zu spät getroffen werden und die Ausführung der Baustelle unzureichend kontrolliert und dokumentiert wird. Oftmals ist das erforderliche Zeitbudget für so eine detaillierte Dokumentation der Baugeschehnisse bei den Projektbeteiligten nicht vorhanden und wird deshalb vernachlässigt. Jedoch liegt genau in der Analyse dieser Daten ein enormes Potenzial, um die Baustelle erfolgreich abzuwickeln. Weiters ist auch fehlendes Wissen über die einzelnen Bauprozesse ein häufiger Grund, wieso Projekte scheitern und nicht zur

¹ Vgl. HOFSTADLER, H.: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 127ff.

² Vgl. <https://www.handwerkundbau.at/betonbau>. Datum des Zugriffs: 11.04.2023.

³ Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb. S. 677.

Zufriedenheit des Auftraggebers ausgeführt werden, da durch diese Versäumnisse sehr oft die Qualität der Bauwerke herabgesetzt werden muss, um einen termingerechten Projektabschluss zu erreichen.⁴

All diesen Herausforderungen muss sich die Bauwirtschaft in näherer Zukunft stellen. Darum ist es notwendig, neue Wege zu finden, um den Bauprozess weiter zu optimieren und auf die immer wieder neuen Problemstellungen in der Baubranche vorbereitet zu sein.⁵ Hierbei können neue Technologien im Bereich der Baustellendokumentation eine entscheidende Rolle spielen, um die zukünftigen Herausforderungen besser meistern zu können.

1.2 Zielsetzung

Für die vorliegende Masterarbeit wurden im Vorhinein klare Ziele definiert, wobei zwischen Muss-, Soll-, Kann-, und Nicht-Zielen unterschieden wurde. Die verschiedenen Ziele sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt und werden darauffolgend noch näher beschrieben.

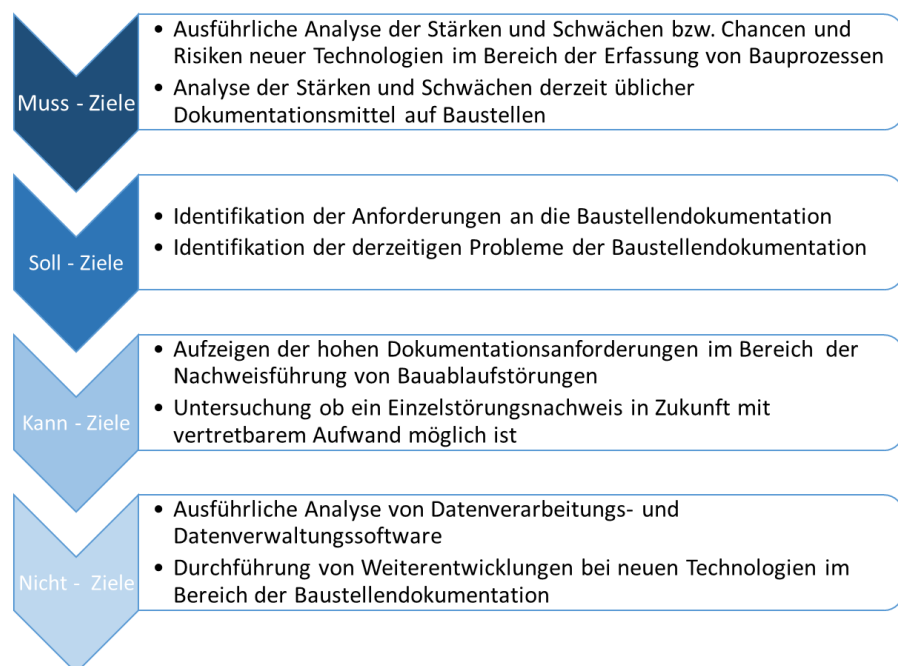


Abbildung 1.1 Zielsetzung der Arbeit

Ein Muss-Ziel der gegenständlichen Arbeit ist die ausführliche Analyse der Stärken und Schwächen der einzelnen Technologien im Bereich der Datenerfassung und welche Chancen und Risiken diese für die Baustellendokumentation erzeugen können. Außerdem ist es ein klares Ziel dieser Arbeit, die Stärken und Schwächen der derzeit auf Baustellen üblichen

⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Projektvorlaufzeit und Bauzeit. S. 29.

⁵ Vgl. HOFSTADLER, H.: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 149.

Dokumentationsmittel zu untersuchen. Auf diese beiden Analysen wird das Hauptaugenmerk der Arbeit gelegt.

Die Soll-Ziele dieser Arbeit sind die Identifikation der Anforderungen an die Baustellendokumentation und die zusätzliche Analyse der derzeitigen Probleme bei ebendieser. Diese beiden Ziele dienen als Voraussetzung, um in weiterer Folge aussagekräftige Analysen zu den einzelnen Dokumentationsmitteln durchzuführen.

Ein Kann-Ziel der Arbeit ist es, die hohen Dokumentationsanforderungen im Bereich der Nachweisführung von Bauablaufstörungen zu erläutern und zusätzlich zu überprüfen, ob ein Einzelstörungsnachweis mittels neuer Technologien im Bereich der Digitalisierung von Dokumentationsprozessen möglich ist.

Die Nicht-Ziele dienen dazu, die Arbeit klar von verwandten Bereichen abzugrenzen. Ein Nicht-Ziel der Arbeit ist es, ausführliche Analysen zu den auf dem Markt verfügbaren Datenverarbeitungs- und Datenverwaltungssoftwares durchzuführen. Der Fokus liegt dabei klar auf den verschiedenen Datenerfassungsmethoden und darauf, worin die Vor- und Nachteile dieser einzelnen Methoden liegen. Des Weiteren ist es nicht das Ziel der Arbeit, vorhandene Technologien zu verbessern und weiterzuentwickeln, denn die Analysen der einzelnen Innovationen dienen vielmehr dazu, Potenziale und Risiken bei der Implementierung dieser in die Baustellenprozesse aufzeigen, um dadurch eine Grundlage für spätere Entscheidungen bei der Wahl des geeigneten Verfahrens zur Verfügung zu haben.

1.3 Methodik

Bei der Durchführung der Arbeit wurde die hermeneutische Erkenntniserweiterung als Methodik gewählt. Diese Methode ermöglicht es, tiefgehende Einblicke in den untersuchten Bereich sowie ein umfassendes Verständnis dafür zu gewinnen. Durch die Anwendung hermeneutischer Prinzipien konnten die vorhandenen Informationen analysiert, interpretiert und neue Erkenntnisse generiert werden. Die Ergebnisse dieser Methodik lassen sich in zwei Aspekte unterteilen: Zum einen konnten die Stärken und Schwächen der bestehenden Ist-Dokumentationsmittel identifiziert werden, zum anderen wurde durch die Analyse des Themengebietes eine SWOT-Analyse⁶ für neue Technologien angefertigt, welche die gewonnenen Erkenntnisse zusammenfassen soll. Die Identifikation von Stärken und Schwächen der Ist-Dokumentationsmittel sowie die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken neuer Technologien bildet eine solide Grundlage für zukünftige Entscheidungen und Handlungen. Die gewonnenen Er-

⁶ Eine SWOT-Analyse ist ein strategisches Planungstool, das verwendet wird, um die Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities) und Risiken (Threats) eines Unternehmens, einer Organisation, eines Produkts oder einer Idee zu bewerten.

kenntnisse können genutzt werden, um bestehende Prozesse zu verbessern, innovative Ansätze zu entwickeln und eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Implementierung neuer Technologien zu schaffen.

1.4 Gliederung der Arbeit

Im einführenden Kapitel werden wesentliche Begriffe und Zusammenhänge in Bezug auf die Bauausführung näher erläutert. Des Weiteren wird der Begriff des Wissens ausführlich beschrieben, der bei der Erfassung und Dokumentation von Baustellengeschehnissen eine entscheidende Rolle spielt. Dieses Kapitel dient als Grundlage, um die weiteren Kapitel nachvollziehbar und verständlich zu gestalten. Im darauffolgenden Kapitel werden wichtige Aspekte der Dokumentation von Baustellen näher beschrieben und es wird ausgeführt, welche wesentlichen Fragen bereits vor der Durchführung geklärt werden müssen. Kapitel 4 konzentriert sich anschließend auf die Anforderungen an die Dokumentation von Baustellen, wobei die hohen Ansprüche anhand der Identifikation und Nachweisführung von Störungen im Baufortschritt näher erläutert werden. In Kapitel 5 werden daraufhin die aktuell auf Baustellen üblichen Dokumentationsmittel analysiert und die Stärken und Schwächen dieser beschrieben. Im letzten Kapitel werden vier Technologien analysiert, die eine zeitnahe Dokumentation und Erfassung von Baustellenprozessen ermöglichen. Um die Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien auszuwerten, wurde hierbei für jede Technologie eine SWOT-Analyse angefertigt. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab, der die Potenziale und Herausforderungen der zukünftigen Baustellendokumentation noch einmal näher beleuchtet.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der gegenständlichen Arbeit nähergebracht und wichtige Begriffe genauer erläutert. Damit soll für die Leserschaft eine geeignete Ausgangsbasis geschaffen werden, um den Inhalt der Arbeit verständlicher zu gestalten. Es wird anfangs auf die einzelnen Projektphasen während eines Bauprojektes eingegangen und des Weiteren die Ausführungsphase näher beschrieben. Anschließend werden die einzelnen Tätigkeiten der Projektbeteiligten während der Bau durchführung thematisiert und zusätzlich wird beschrieben welche Produktionsfaktoren es während der Errichtung des Bauwerks gibt und wie diese gezielt gesteuert werden können. Am Schluss des Kapitels wird der Begriff des Wissens und was der Unterschied zwischen Informationen und Wissen ist näher beschrieben. Dieser Begriff dient als Grundlage um für das weiterführende Kapitel 3 Dokumentation ein tieferes Verständnis zu entwickeln.

2.1 Projektphasen

Jedes Bauprojekt durchläuft die verschiedensten Projektphasen (PPH), bis es schlussendlich in Betrieb genommen wird. Am Anfang jedes Projektes steht eine Idee, die im Laufe der Zeit zu einem konkreten Vertragsgegenstand wird und schließlich in einem nutzbaren Objekt manifestiert wird. In Abhängigkeit von der jeweiligen Projektphase müssen verschiedene Gesetze und Regelwerke berücksichtigt werden. Zusätzlich ändern sich auch die Projektbeteiligten im Laufe der Projektphasen. Ein fester Bestandteil jeder PPH ist hierbei jedoch der Auftraggeber, da er wichtige Entscheidungen treffen muss, die er nicht an andere delegieren kann.⁷ Für weitere Informationen über den Auftraggeber und die einzelnen Projektbeteiligten siehe Abschnitt 2.2 .

Für die Aufteilung der Projektphasen gibt es in der Literatur die verschiedensten Ansätze, welche jedoch immer wieder Gemeinsamkeiten untereinander aufweisen. Die ÖNROM B1801-1 teilt hierbei das Bauprojekt in folgende Projektphasen auf:

- Entwicklungsphase
- Vorbereitungsphase
- Vorentwurfsphase
- Entwurfsphase
- Ausführungsphase
- Abschlussphase

⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 157.

Für die Aufteilung des Bauprojektes wurde in dieser Arbeit die Abbildung 2.1 nach *Lechner*, welche von *Hofstadler* weiterentwickelt wurde zur Hilfe genommen. Hierbei wird das gesamte Bauprojekt in 5 Projektphasen eingeteilt. Die PPH 1 ist hierbei die Projektvorbereitung. Diese Phase wird in weiterer Folge in die Bedarfsplanung und die Projektentwicklung unterteilt, wobei die Bedarfsplanung zeitlich vor der Projektentwicklung erfolgt. Am Ende dieser Phase erfolgt der Planungsbeschluss. In der PPH 2 erfolgt die Planung des Bauwerks, welche zuerst mit einem Vorentwurf beginnt. Nach Abstimmung des Vorentwurfs mit dem Auftraggeber wird der Einreichplan angefertigt. Die PPH 2 endet mit der Vollendung des Einreichplans, welcher dann an die zuständige Behörde weitergeleitet wird. Die Behörde kontrolliert die Einreichungsunterlagen und erteilt nach positiver Beurteilung die Baubewilligung. Nach Erhalt des positiven Bescheids wird damit begonnen die Ausführungsplanung für das Projekt zu erstellen und im Anschluss werden die Unterlagen für das Leistungsverzeichnis erstellt. Dies ist jedoch abhängig davon, welche Vertragsart zwischen AG und AN gewählt wurde. Kommt ein Einheitspreisvertrag zur Anwendung, wird von den ausführenden Unternehmen zusätzlich zu den Planungsunterlagen ein LV benötigt, um eine genaue Beschreibung der auszuführenden Leistungen zu erhalten. Mit diesem LV wird dann das Angebot von den ausführenden Baufirmen erstellt und dem Auftragnehmer retourniert. Nach der Vergabe der Bauleistungen beginnt die PPH 4. In dieser Phase werden die Leistungen tatsächlich in die Realität umgesetzt. Nach der Fertigstellung der Projektphase 4 kommt es zur Übergabe des Bauobjekts und das Bauwerk geht in den Betrieb.⁸

In der Regel sind die genannten Projektphasen in der Realität jedoch nicht chronologisch, sondern teilweise überlappend.⁹ Dies kann zu Problemen in den einzelnen Phasen führen. Ein Beispiel hierbei wäre die baubegleitende Planung. Durch die nicht vollständige Planung des Projekts vor der Bauausführung kann es dazu kommen, dass Pläne nicht rechtzeitig zur jeweiligen Baumaßnahme beigestellt werden können. Dies bewirkt deutlich höhere Unsicherheiten in der Bauausführung, welche zu Bauzeitüberschreitungen oder Mehrkostenforderungen führen können.

Die Auftragnehmer steigen in der Regel erst in der PPH 3 bei der Angebotsbearbeitung in das Projekt ein und treten mit der Übergabe am Ende der PPH 4 wieder aus dem Projekt aus.¹⁰ In der gegenständlichen Arbeit wird hauptsächlich auf die Projektphasen 3 und 4 eingegangen in denen sehr viele Akteure gleichzeitig am Projekt beteiligt sind. Es ist jedoch anzumerken, dass die PPH 4 nicht gänzlich isoliert betrachtet werden kann, da sie von den vorherigen Phasen abhängig ist. Es ist zum Beispiel nicht möglich eine für den Bauherrn zufriedenstellende Ausführungsphase durchzuführen, ohne die dafür benötigten Daten und Informationen aus

⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 158.

⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 158.

¹⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 157.

den vorhergehenden Phasen in die Ausführung zu implementieren. Deshalb ist es wichtig einen kontinuierlichen Informationsfluss über die Projektphasen hinweg zu erzeugen und Informationsverluste von Anfang an zu minimieren.

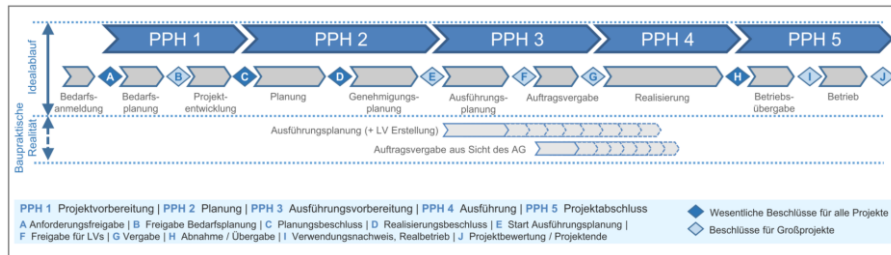


Abbildung 2.1 Projektphasen¹¹

2.2 Projektbeteiligte der Ausführungsphase

Wie bereits Abschnitt 2.1 erwähnt ist die Bauausführungsphase ein wesentlicher Bestandteil des Bauprojektes und bezieht sich auf die Umsetzung der Planung und Vorbereitung eines Bauprojekts in die Realität. Während dieser Phase werden die Bauarbeiten durchgeführt und die verschiedenen Gewerke koordiniert. Die Ausführungsphase umfasst den Zeitraum vom Abschluss der Vergabe bis hin zur Fertigstellung des Bauwerks. Aufgrund der hohen Anzahl an Projektbeteiligten erfordert die Ausführungsphase eine enge Zusammenarbeit zwischen allen Projektmitgliedern damit ein erfolgreiches Projekt gewährleistet werden kann. In der Baupraxis ist häufig hierbei von Auftragnehmer (AN) und Auftraggeber (AG) die Rede, wobei als Auftragnehmer das ausführende Bauunternehmen gemeint ist. Als Auftraggeber wird grundsätzlich nicht nur der Bauherr an sich verstanden, sondern auch weitere Beratungsorgane, die den Bauherrn dabei helfen die Baustelle zu leiten, zu koordinieren und zu kontrollieren.¹² Hierzu gehören unter anderem das Projektmanagement, Planer*innen und auch die örtliche Bauaufsicht welche nachfolgend beschrieben werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Dokumentation der Ausführungsphase. Deshalb werden nachfolgend vor allem die Projektbeteiligten näher beschrieben, welche maßgebend an der PPH 4 beteiligt sind. Um eine Basis für die weitere Arbeit zu schaffen, werden die unterschiedlichen Aufgaben der Akteure detaillierter beschrieben. Hierdurch soll ein besseres Verständnis geschaffen werden, welche Aufgaben und Verantwortlichkeiten die einzelnen Projektmitglieder während der Baudurchführung über-

¹¹ HOFSTADLER, C.: Projektvorlaufzeit und Bauzeit. S. 133.

¹² Vgl. SPANG, K.: Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten. S. 560.

nehmen und wie sie miteinander interagieren. In der nachfolgenden Abbildung werden die Projektbeteiligten schematisch dargestellt und anschließend genauer beschrieben.

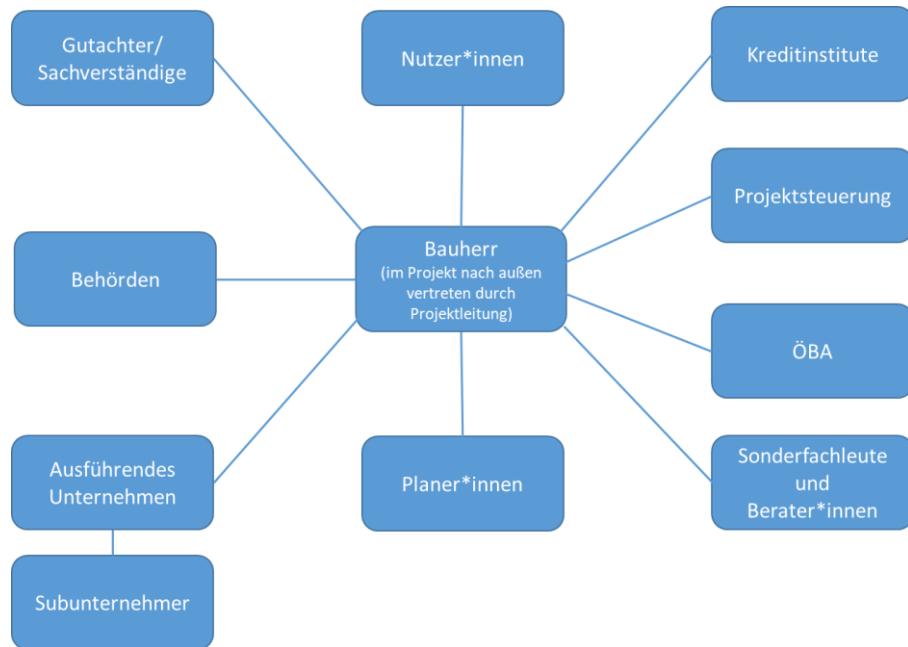


Abbildung 2.2 Projektbeteiligte in der Ausführungsphase

2.2.1 Bauherr

Der Bauherr ist in alle Phasen des Bauprojektes miteingebunden und fällt die unternehmerische Entscheidung ein Projekt auszuführen und trägt damit alle dadurch entstehenden Rechte und Pflichten. Er ist unter anderem dafür zuständig Zielvorstellungen zu entwickeln und wichtige Entscheidungen in den verschiedenen Projektphasen zu treffen. Er definiert Qualitäts-, Termin- und Kostenziele für das Bauvorhaben und ist auch zuständig für die Koordination und Steuerung der Projektbeteiligten. Aufgrund dieses enormen Aufgabenspektrums ist es bei größeren Bauprojekten nicht möglich, dass der Bauherr all diese Aufgabenbereiche übernimmt. Häufig haben die Bauherren eine geringe Erfahrung und sind nicht fachkundig. Deshalb ist es möglich, dass der Bauherr einen Teil seiner Tätigkeiten an andere Beteiligte abgibt. Es wird hierbei zwischen delegierbaren und nicht delegierbaren Bauherrenaufgaben unterschieden, wobei nur delegierbare Bauherrenaufgaben an Projektbeteiligte abgegeben werden dürfen. Zu den nicht delegierbaren Aufgaben zählt das Setzen der obersten Projektziele, die Finanzierung des Projekts und die Mitwirkung zur Verwirklichung der Projektziele. Andere Aufgaben darf der Bauherr an zusätzliche Leistungsträger übergeben.¹³

¹³ Vgl. LANDOWSKI D.: Einzel- oder Generalplaner – die optimale Planereinsatzform. S. 28.

2.2.2 Projektmanagement

Unter Leistungen des Projektmanagements wird eine Summe aus Projektleitung und Projektsteuerung verstanden. Die Aufgaben der Projektleitung und der Projektsteuerung unterscheiden sich vor allem im Bereich der Entscheidungskompetenz. Während die Projektleitung gezielt Führungsfunktionen übernimmt und für die Beauftragung und Koordination aller Beteiligten verantwortlich ist, arbeitet die Projektsteuerung als Stabstelle mit beratender Funktion und trifft keine Entscheidungen. Die Projektsteuerung erarbeitet Lösungsvorschläge und gibt diese dann weiter an die Projektleitung.¹⁴ Wichtig ist sowohl die Projektleitung als auch die Projektsteuerung so früh wie möglich in das Projekt zu integrieren, damit der Projektablauf maßgeblich durch das Projektmanagement beeinflusst werden kann.

2.2.3 Örtliche Bauaufsicht (ÖBA)

Die örtliche Bauaufsicht wird häufig während der Projektphase 4 vom Bauherrn angefordert und dient als zusätzliche Unterstützung zur Kontrolle der Ausführung. Häufig werden diese Arbeiten von Planungsbüros oder eigener spezialisierter Büros durchgeführt. Die Aufgaben der ÖBA sind größtenteils Kontroll- und Koordinationsaufgaben während der Bauausführung. Die ÖBA ist zuständig dafür, dass Qualität, Termine und Kosten von dem ausführenden Unternehmen eingehalten werden.¹⁵ Sollte es Abweichungen von den vorgegebenen Zielen des Bauherrn geben, muss die ÖBA darauf rasch reagieren, um das Projektziel nicht zu gefährden. Weiters ist die ÖBA dafür zuständig Rechnungen der Baufirmen zu überprüfen und Mehr- oder Minderkostenforderungen zu bearbeiten. Die Abnahme von bereits fertiggestellten Leistungen zählt zu einer weiteren Aufgabe der örtlichen Bauaufsicht. Hierbei werden die Leistungen der Gewerke noch einmal auf Mängel überprüft und es wird darauf geachtet, ob sie die Anforderungskriterien und den Stand der Technik erfüllen.

2.2.4 Bauausführende Unternehmen

Bauwerke können ohne bauausführende Unternehmen nicht errichtet werden. Die ausführenden Unternehmen sind vom Bauherrn direkt beauftragte Auftragnehmer und organisatorisch den Planungsbeteiligten gleichgestellt. Sie sind vertraglich dazu verpflichtet, die von den planenden Personen erstellten Ausführungspläne zu prüfen und in die Realität umzusetzen, indem sie Material, Gerät und Arbeitskraft disponieren und auf der Baustelle einsetzen. Die Baufirmen sind dazu verpflichtet das Bauprojekt

¹⁴ Vgl. LANDOWSKI D.: Einzel- oder Generalplaner – die optimale Planereinsatzform. S. 39.

¹⁵ Vgl. MAUERHOFER, G.; HARRER, E.; KRANINGER, M.; Skriptum Baumanagement Grundlagen WS2018/19. S. 184.

nach den gültigen Gesetzen und Richtlinien und den vertraglich festgelegten Bestimmungen ordnungsgemäß auszuführen. Dabei kann das Unternehmen nur ein bestimmtes Gewerk auf der Baustelle übernehmen oder sämtliche Bauleistungen des Projektes.¹⁶ Ein Gewerk können hierbei zum Beispiel die Stahlbetonarbeiten sein. Das bauausführende Unternehmen wird grundsätzlich erst nach der Planungsphase und der Erstellung des Leistungsverzeichnisses in das Projekt integriert. Dies hängt jedoch von der Organisation des Gesamtprojektes ab.

2.2.5 Subunternehmer

Subunternehmer sind Firmen auf der Baustelle, die kein direktes Vertragsverhältnis zum Bauherrn besitzen. Sie werden vom ausführenden Unternehmen zur Unterstützung bei der Erstellung der Bauleistung herangezogen. Subunternehmer übernehmen häufig ein bestimmtes Gewerk. Ein Beispiel hierfür wären die Bewehrungsarbeiten bei Stahlbetonarbeiten. Die Zusammenarbeit mit Subunternehmern kann für den Hauptunternehmer, welcher in einem direkten Vertragsbeziehung mit dem Bauherrn steht, die verschiedensten Vorteile mit sich bringen. Durch den Einsatz von Subunternehmern ist es möglich flexibler bei der Ausführung zu agieren und Ressourcen schnell und effektiv einzusetzen, um die Projektanforderungen zu erfüllen. Ein Subunternehmer profitiert von einer Zusammenarbeit mit einem Hauptunternehmer, da er durch das Vertragsverhältnis die Möglichkeit hat, an Projekten mitzuarbeiten, die er allein mit seinen verfügbaren Ressourcen niemals bewältigen könnte. Jedoch ist es in der Vergangenheit auf Baustellen immer wieder dazu gekommen, dass dieses Vertragsverhältnis unrechtmäßig ausgenutzt wird. Häufig kommt es dazu, dass Subunternehmer unter Druck gesetzt werden ihre Preise zu senken, um den Auftrag zu erhalten, was zu einer Unterbietung der Tariflöhne und infolgedessen zu Lohndumping führen kann.

2.2.6 Planer*innen

Der Großteil des Planungsprozesses ist i.d.R. vor der Bauausführung bereits abgeschlossen. Jedoch spielen planende Personen trotzdem eine Rolle in der Ausführungsphase des Bauprojektes, da es häufig während der Ausführung immer wieder zu Abänderungen in den Planungsunterlagen kommt. Bei einer Planung während der Bauausführung sind die planenden Personen dafür zuständig, die aktuellen Pläne dem ausführenden Unternehmen zukommen zu lassen. Ohne diese Pläne ist es nicht möglich, das Bauwerk nach den Wünschen des Bauherrn zu errichten. Bei kleineren Projekten kommt es teilweise vor, dass Planer*innen auch die

¹⁶ Vgl. LANDOWSKI D.: Einzel- oder Generalplaner – die optimale Planereinsatzform. S. 53ff.

Projektkontrolle übernehmen. Meistens wird hierfür jedoch zusätzlich eine Projektsteuerung herangezogen.¹⁷

2.2.7 Sonstige Projektbeteiligte in der Ausführungsphase

Zusätzlich zu den bereits angeführten Projektbeteiligten in der Ausführungsphase gibt es noch weitere Beteiligte die nachfolgend aufgelistet werden. Sie sind auch essenziell für die Ausführung von Bauprojekten, jedoch sind sie für die gegenständliche Arbeit nicht von entscheidender Bedeutung. Aufgrund der Vollständigkeit werden diese trotzdem nachfolgend erwähnt. Sonstige Projektbeteiligte sind:

- Behörden
- Gutachter/ Sachverständige
- Sonderfachleute und Berater
- Kreditinstitute
- Nutzer¹⁸

2.3 Produktivität

Zum Abschluss des Kapitels werden zwei wichtige Begriffe noch näher erläutert, wobei der erste dieser beiden Begriffe die „Produktivität“ ist. Die Produktivität ist eine wesentliche Kennzahl im Baubetrieb und der Bauwirtschaft. Sie ist ein zentraler Begriff bei der Ausführung von Bauleistungen und dient zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einzelner Arbeitsprozesse sowie des gesamten Produktions- und Wirtschaftsprozesses. Neben den elementaren Produktionsfaktoren wie Arbeit, Betriebsmitteln und Stoffen, beeinflussen auch dispositive Produktionsfaktoren wie Planung, Steuerung und Kontrolle die Gesamtproduktivität. Eine wesentliche Rolle spielen dabei die Auswahl und Kombination der verschiedenen Produktionsfaktoren. Die Produktivität beschreibt das Ergebnis zu der dafür eingesetzten Faktormenge und wird durch folgende Gleichung allgemein beschrieben:

$$\text{Produktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}}$$

Das Zusammenspiel der Produktionsfaktoren untereinander ist entscheidend für die Produktivität der Leistungserbringung. Wie gut dies in der Ausführung des Bauprojektes gelingt, hängt maßgeblich von der Art, Form

¹⁷ Vgl. MAUERHOFER G.; HARRER, E.; KRANINGER, M.; Skriptum Baumanagement Grundlagen WS2018/19. S. 111ff.

¹⁸ Vgl. SCHIRMER S.: Bau-Projektmanagement für Einsteiger. S. 11ff.

und Komplexität des Bauwerks sowie von den Gegebenheiten der Leistungserbringung ab. Die erreichbare Gesamtproduktivität wird auch durch Faktoren wie Qualität und Quantität, Bauzeit, das Umfeld und nicht zuletzt durch die Witterungsbedingungen beeinflusst.¹⁹

In der nachfolgenden Abbildung werden die einzelnen Produktionsfaktoren anhand eines zweidimensionalen Systems dargestellt. Hierbei wird zwischen dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren unterschieden. Außerdem ist eine Rückkoppelung zwischen dem Output und den dispositiven Produktionsfaktoren erkennbar. Diese Rückkoppelung dient dazu, Abweichungen des tatsächlichen Outputs gegenüber dem geplanten Output kontrollieren und steuern zu können, um bei Produktivitätsminderungen eingreifen zu können. Durch diese Rückkoppelung ist es möglich Abweichungen gegenüber der geplanten Bauausführung zu erkennen und diesen mittels der Produktionsfaktoren entgegenzuwirken.

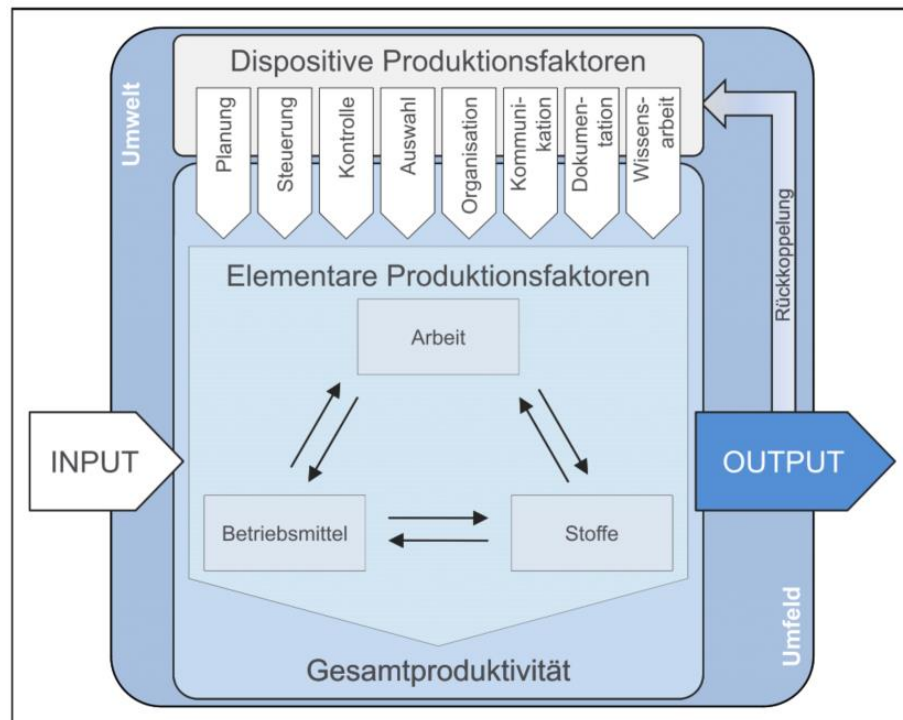


Abbildung 2.3 Darstellung der Gesamtproduktivität nach Hofstadler²⁰

In weiterer Folge wird nun genauer auf die einzelnen Produktivitätsfaktoren eingegangen. Die Produktionsfaktoren sind ein wichtiger Bestandteil bei der Bewertung der Gesamtproduktivität, da durch die Dokumentation von Produktivitätsfaktoren Abweichungen und Optimierungspotenziale während der Baudurchführung identifiziert werden können. Darüber hinaus können Produktivitätsfaktoren auch bei der Budgetplanung und -kon-

¹⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. S. 52f.

²⁰ HOFSTADLER C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 15.

trolle helfen, da sie es ermöglichen, den Einsatz von Ressourcen wie Arbeitskräften, Maschinen und Materialien zu optimieren und so die Kosten zu senken.

2.3.1 Elementare Produktionsfaktoren

Arbeit, Betriebsmittel und Stoffe zählen zu den drei elementaren Produktionsfaktoren.

- **Arbeit:**
Unter Arbeit versteht man die menschliche Arbeitsleistung, die unmittelbar mit der Leistungserstellung im Zusammenhang steht.²¹ Leistungen, die nur zur Steuerung und Kontrolle des Bauvorhabens getätigt werden, gehören nicht zu den elementaren Produktionsfaktoren. Ein Beispiel für Arbeit wäre das Betonieren einer Wand. Hierbei wird die Arbeitsleitung der Beschäftigten unmittelbar für die Leistungserbringung des Bauteils aufgewendet.
- **Betriebsmittel:**
Zu den Betriebsmitteln gehören alle Einrichtungen, Anlagen und Baugeräte, die zur Erstellung der Leistung benötigt werden. Auch Betriebsstoffe wie Strom werden zu den Betriebsmitteln dazugezählt. Betriebsmittel werden auch als Potenzialfaktoren bezeichnet. Darunter versteht man Produktionsfaktoren, die häufiger als einmal auf der Baustelle eingesetzt werden.²² Dies ist ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen Betriebsmittel und Stoffen.
- **Stoffe:**
Unter Stoffen versteht man Materialien, die für die Erstellung von Erzeugnissen dienen.²³ Im Gegensatz zu den Betriebsmitteln werden Stoffe zum Bestandteil des Endprodukts. Ein Beispiel hierbei für einen Stoff wäre Beton. Dieser wird durch das vergießen des Betons in die Schalung ein festes Element des Bauwerks. Eine Schalung hingegen wird nach dem Betonierprozess und der Aushärtungsphase des Betons wieder entfernt und stellt somit ein Betriebsmittel dar.

²¹ Vgl. HOFSTADLER C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 36.

²² Vgl. HOFSTADLER C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 36.

²³ Vgl. HOFSTADLER C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 36.

2.3.2 Dispositive Produktionsfaktoren

Die dispositiven Produktionsfaktoren stellen sicher, dass es ein erfolgreiches Zusammenwirken zwischen den elementaren Produktionsfaktoren gibt. Sie übernehmen die Steuerung und Überwachung der Baudurchführung und stehen nur indirekt mit der tatsächlichen Leistungserbringung in Verbindung. Ohne die dispositiven Produktionsfaktoren ist eine Überprüfung der Produktivität und der Abweichungen während der Leistungserbringung nicht möglich. Zu den dispositiven Produktionsfaktoren zählen:

- Planung
- Steuerung
- Kontrolle
- Auswahl
- Organisation
- Kommunikation
- Dokumentation
- Wissensarbeit

2.3.3 Äußere Einflüsse auf das Produktionssystem

Das in der Abbildung 2.3 dargestellte System wird zusätzlich noch durch äußerliche Faktoren beeinflusst, welche Auswirkungen auf die Gesamtproduktivität des Systems haben. Deshalb wird das zweidimensionale System in der Abbildung 2.4 durch ein dreidimensionales ergänzt, indem zusätzliche Einflussfaktoren dargestellt werden. Das zweidimensionale System wird hierbei als „inneres System“ verstanden und das dreidimensionale System als „äußeres System“. Im Gegensatz zu den dispositiven und elementaren Produktionsfaktoren sind die Faktoren des äußeren Systems für den AN kaum bis überhaupt nicht beeinflussbar. Zu den äußeren Einflüssen auf das Produktionssystem gehören:

- Bauzeit
- Umfeld
- Witterung
- Qualität und Quantität
- Art, Form und Komplexität des Bauwerkes

All diese Faktoren stehen mit dem zweidimensionalen System in einer Wechselbeziehung und beeinflussen die Produktivität der Bauausführung. Um die gesteckten Projektziele zu erreichen ist das innere System unter

Berücksichtigung der äußeren Randbedingungen effizient zu gestalten.²⁴ Im inneren Produktionssystem kann der Auftragnehmer durch die Wahl seiner Produktionsfaktoren und die Kombination dieser miteinander (z.B. Bauverfahren, Fertigungsreihenfolge, Anzahl der Arbeitskräfte) die Effizienz seiner Leistungen signifikant steigern.



Abbildung 2.4 Dreidimensionales Produktionssystem nach Hofstadler²⁵

Zusammenfassend ist die Produktivität in der Ausführungsphase entscheidend für den Erfolg von Projekten. Sie trägt dazu bei, die Kosten zu senken und die Rentabilität zu steigern. Die Dokumentation der individuellen Produktionsfaktoren während der Bauausführung ist von großer Bedeutung, um Abweichungen festzustellen und entsprechende Gegensteuerungsmaßnahmen zu ergreifen. Durch die Protokollierung der Produktionsfaktoren in der Ausführungsphase kann effektiv dazu beigetragen werden, dass Projekte erfolgreich durchgeführt werden und der Auftraggeber mit den getätigten Leistungen zufrieden ist.

²⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 2.

²⁵ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. S. 52.

2.4 Generierung von Wissen aus Daten und Informationen

Die Definition von Wissen ist ein Thema, das Philosophen auf der ganzen Welt seit Jahrtausenden beschäftigt hat. Trotz dieser langen wissenschaftlichen Auseinandersetzung gibt es jedoch keine einheitliche Definition des Begriffs. Jeder Bereich, sei es Betriebswirtschaft, Pädagogik oder Psychologie, hat seine eigene Interpretation des Begriffs „Wissen“.²⁶ Für eine Baustellendokumentation spielt dieser Begriff eine entscheidende Rolle, da zuerst Daten und Informationen generiert werden müssen, um schlussendlich Wissen zu erzeugen. Für die gegenständliche Arbeit erscheint die Definition nach *Romhardt* am geeignetsten:

„Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfaßt sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in einem bestimmten Kontext.“²⁷

2.4.1 Entstehung von Wissen

Für die Darstellung wie Wissen entsteht kommt häufig die Wissenstreppe nach *North* zum Einsatz. Sie stellt den stufenweisen Prozess von einzelnen Daten und Informationen hin zum Wissen dar. In der Abbildung 2.5 ist eine Weiterentwicklung dieser Wissenstreppe nach *Hofstadler/Kummer* dargestellt, welche nachfolgend beschrieben wird.

Am Anfang der Treppe sind nur Zeichen sichtbar, die auf eine Zahl oder einen Buchstaben hindeuten könnten. Durch das Verknüpfen der Zahl mit einer Syntax zum Baubetrieb kann ein Zusammenhang hergestellt werden und es ist dadurch eindeutig, dass es sich um eine Zahl handelt. Um auf die dritte Stufe zu gelangen, muss diese Zahl eine Bedeutung bekommen und vermitteln, für was sie steht. Dies geschieht, indem die Zahl eine Maßeinheit bekommt. Im konkreten Beispiel der Abbildung ist die Einheit Std/m^3 , was die benötigten Lohnstunden je m^3 beschreibt. Der nächste Schritt auf der Wissenstreppe ist die Stufe „Wissen“. Erst durch die Vernetzung der Zahl mit einem Bauprojekt und einer bestimmten Tätigkeit kann sie mit anderen Werten verglichen werden, da je nach Bauprojekt und Tätigkeit der Aufwandswert sehr unterschiedlich sein kann und von den verschiedensten Einflüssen abhängig ist. Das Know-how bezeichnet das spezifische Wissen und die Fähigkeiten einer Person oder eines Unternehmens in einem bestimmten Bereich, das auf Erfahrung und prakti-

²⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 878.

²⁷ ROMHARDT, K.: Organisation aus der Wissensperspektive. S. 64.

scher Anwendung beruht. Um auf diese Stufe zu gelangen, muss zusätzlich noch der Anwendungsbezug mit dem Aufwandswert verknüpft werden. Art, Form und Komplexität des Bauwerks haben einen großen Einfluss auf den Aufwandswert. Deshalb ist es ratsam, nur Aufwandswerte von ähnlichen Gebäuden miteinander gegenüberzustellen, um einen aussagekräftigen Vergleich zu erhalten. Wenn das Know-how mit Antrieb und Willen verbunden wird, führt es zum Können, das gezielt angewendet werden kann, um wirtschaftliche Ergebnisse zu erzielen. Dieses Können basiert auf Wissen und der praktischen Anwendung des Know-hows und resultiert in messbaren Handlungen im Baubetrieb. Kompetenz wird erreicht, wenn das Wissen erfolgreich angewendet wird und es durch diese Handlung zu einer Verbesserung des Aufwandswertes kommt. Die letzte Stufe ist die Stufe der Einzigartigkeit. Diese Stufe wird durch einen Wissensvorsprung gegenüber seinen Mitkonkurrenten erreicht. Durch zusätzliches Wissen wird ein Wettbewerbsvorteil erzeugt.²⁸

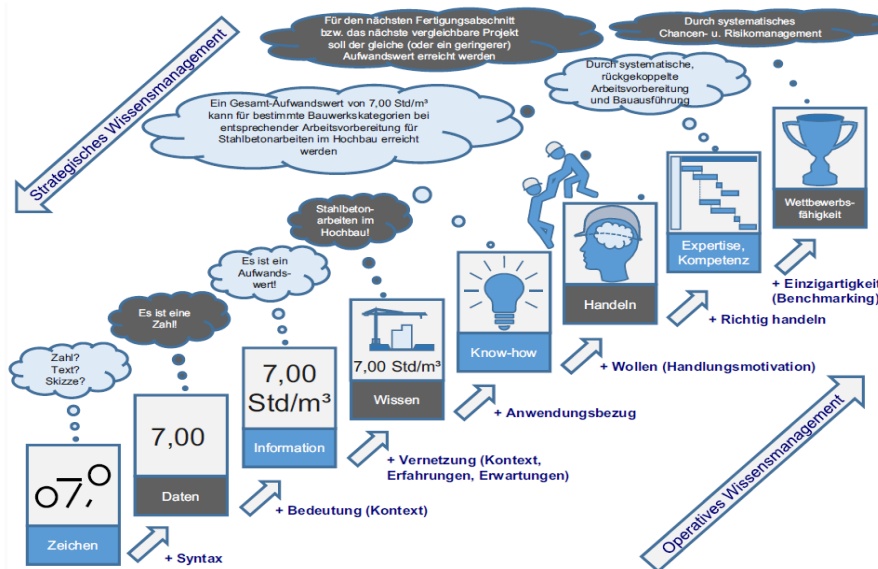


Abbildung 2.5 Anwendung der Wissenstreppe nach North auf den Baubetrieb²⁹

Für die Dokumentation von Baustellen ist die Wissenstreppe von hoher Bedeutung, da reine Daten und Informationen für weitere Auswertungen nicht genutzt werden können. Erst durch die Vernetzung und Verknüpfung mit dem Bauwerk und der Tätigkeit können diese Daten sinnvoll für die weitere Analyse genutzt werden.

Häufig ist es auf gegenwärtigen Baustellen jedoch der Fall, dass Daten nicht weiter als bis zur Informationsstufe gelangen. Infolgedessen werden

²⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 80.

²⁹ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 79.

die erzeugten Informationen ungenutzt gelassen, obwohl sie für die Erzielung eines aussagekräftigen Resultats vonnöten sind.³⁰

2.4.2 Wissensarten

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Wissensarten. Die Gesamtheit dieser Wissensarten ergibt die Wissensbasis. In der nachfolgenden Abbildung ist die Wissensbasis in 3 Dimensionen aufgeteilt.³¹

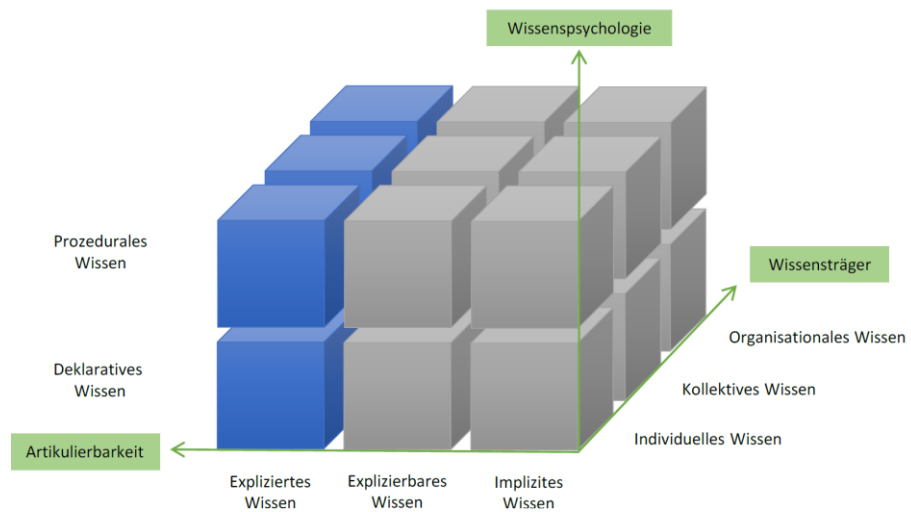


Abbildung 2.6 Wissensarten³²

Eine Dimension in der Abbildung sind die Wissensträger, wobei in dieser Dimension dahingehend unterschieden wird, ob es sich um organisatorisches, kollektives oder individuelles Wissen handelt. Das individuelle Wissen ist das Wissen, welches ein einzelner Mensch besitzt. Dieses Wissen ist mit einer Person verbunden. Kollektives Wissen hingegen ist das Wissen, welches in einer gemeinsamen Gruppe vorhanden ist. Dies kann zum Beispiel eine Arbeitsgruppe auf der Baustelle sein, welche gemeinsam einen Teilbereich des Projektes bearbeitet. Der Wissensträger organisatorisches Wissen beinhaltet das gemeinsame Wissen einer ganzen Organisation. Eine Organisation auf der Baustelle kann hierbei die Auftragnehmerseite sein.³³

³⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 894.

³¹ Vgl. HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 894.

³² HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 894.

³³ Vgl. HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 894.

Die nächste Dimension in der Abbildung 2.6 ist die Dimension der Artikulierbarkeit. Hierbei wird grundsätzlich zwischen implizitem und explizitem Wissen unterschieden. Expliziertes Wissen ist hierbei das Wissen, welches dokumentiert ist und in schriftlicher Form zur Verfügung steht. In der Abbildung wird zusätzlich noch in explizierbares Wissen unterschieden. Dabei handelt es sich um Wissen welches dokumentierbar wäre, jedoch derzeit noch nicht dokumentiert wurde. In dieser Art des Wissens liegt ungenutztes Potenzial. Die dritte Art der Artikulierbarkeit ist das implizite Wissen. Implizites Wissen ist schwer von einer Person zur anderen in mündlicher oder schriftlicher Form weiterzugeben. Es wird auch als Erfahrungswissen bezeichnet und bezieht sich auf Strategien, die erfahrene Mitarbeiter*innen nutzen, um Probleme schnell und einfach zu bewältigen. Ein Beispiel für diese Art des Wissens ist die Erfahrung der Bauleitung, die im Laufe der Tätigkeit erlangt wurde.³⁴

Die letzte Dimension ist die Wissenspsychologie. Hierbei wird zwischen prozeduralem und deklarativem Wissen unterschieden. Prozedurales Wissen ist eine Art von Wissen, das jemand hat und durch das Verfahren demonstriert, etwas zu tun. Dieses Wissen ist eng mit Fähigkeiten verbunden und ermöglicht es uns, bestimmte Aufgaben oder Handlungen auszuführen, wie z.B. Fahrradfahren, Schwimmen, Kochen oder Schreiben. Prozedurales Wissen ist oft implizit und kann schwer in Worte gefasst werden. Es wird normalerweise durch Übung und Erfahrung erworben, indem man eine Aufgabe oder Handlung wiederholt, bis sie automatisiert wird. Deklaratives Wissen bezieht sich auf Fakten, Informationen oder Wissen, das in expliziter Form ausgedrückt werden kann, wie zum Beispiel Wörter, Sätze oder Bilder. Es bezieht sich auf das „Was“ des Wissens und beschreibt, was wir über ein bestimmtes Thema wissen.³⁵

Eine systematische Dokumentation erfordert die Berücksichtigung verschiedener Arten von Wissen. Durch die Berücksichtigung der einzelnen Arten ist es möglich viele verschiedene Wissensselemente aus den verschiedenen Wissensarten in der Dokumentation zu sammeln. Es ist wichtig Wissen anzusammeln, da dies eine umfassende Analyse und Bewertung der Baustelle ermöglicht. Durch die Erzeugung von Wissen aus Informationen können potenzielle Risiken und Herausforderungen identifiziert werden, die mit der Durchführung der Baustelle verbunden sind. Um Wissen zu erzeugen, müssen zuerst Daten und Informationen generiert werden. Dies geschieht auf den Baustellen durch die Dokumentation des Baufortschritts. Eine gründliche Erfassung der Baustellengeschehnisse ist der Grundstein, um späteres Wissen zu generieren.

³⁴ Vgl. POLZIN, B.; RINGLER, P; WEIGL, H.: Wissensmanagement im Bauwesen. S. 3

³⁵ Vgl. WISSENSMANAGEMENT FORUM.: Das Praxishandbuch Wissensmanagement – Integratives Wissensmanagement. S. 13.

3 Dokumentation

In diesem Kapitel wird auf die wesentlichen Fragen der Baustellendokumentation eingegangen. Es wird ausführlich beschrieben, warum eine gründliche Aufzeichnung des Bauablaufs in der Ausführungsphase erforderlich ist, um Störeinflüsse bereits frühzeitig während der Errichtung des Bauwerks zu identifizieren und zu erkennen. Zusätzlich werden die Probleme der derzeitigen Baustellendokumentation aufgezeigt, welche in den nachfolgenden Kapiteln noch weiter vertieft werden.

3.1 Begriff Dokumentation

Der Begriff der Dokumentation hat gleich wie der Begriff des Wissens keine eindeutige Definition in der Literatur. Nachfolgend werden 2 Definitionen dargestellt, welche für die Baustellendokumentation am relevantesten erscheinen:

„Die Dokumentation ist [...] das Sammeln, Ordnen und Nutzbarmachen bzw. gezielte Wiederauffinden von Dokumenten aller Art ohne Rücksicht darauf ob die dazugehörigen Schriftstücke verfügbar sind. Man faßt außerdem die Technik und Methode dieser Tätigkeit zum Zwecke der Verbreitung von Informationen unter diesem Begriff zusammen.“³⁶

„Unter Dokumentation versteht man die langfristige Sicherung wesentlicher Projektunterlagen und die Auswertung der Projektarbeit zur Gewinnung von Informationen.“³⁷

Wie aus den oben genannten Definitionen hervorgeht, ist ein wichtiger Punkt bei der Dokumentation, die gesammelten Daten später wiederauffindbar zu machen. Denn nur vernünftig abgelegte Daten können Wissen für spätere Projektphasen erzeugen. Bevor die Daten jedoch verwaltet werden können, müssen sie zuerst erfasst bzw. generiert werden.

3.2 Allgemeines zur Baustellendokumentation

Die Baustellendokumentation ist ein wichtiger Teil eines jeden Bauvorhabens. Sie beinhaltet die Erfassung und Verarbeitung von Informationen auf der Baustelle, wie beispielsweise den Fortschritt der Bauarbeiten sowie auftretende Störungen oder Veränderungen im Bauablauf. Außerdem ermöglicht eine ausführliche Protokollierung vergangene Sachverhalte jederzeit wieder zu rekonstruieren. Häufig wird die Aufzeichnung auf Bau-

³⁶ HENZLER, R. G.: Information und Dokumentation: Sammeln, Speichern und Wiedergewinnen von Fachinformation in Datenbanken. S. 3.

³⁷ KALUSCHE, W.: Projektmanagement für Bauherren und Planer, zitiert bei: KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J. H.; VIERING, M. G.: Bau-Projekt-Management Grundlagen und Vorgehensweisen. S. 91.

stellen für den Nachweis von Bauablaufstörungen und Mehrkostenforderungen seitens des Auftragnehmers verwendet. Jedoch gibt es unzählige weitere Anwendungsmöglichkeiten, wofür eine Baustellendokumentation verwendet werden kann, wie zum Beispiel für den Nachweis von Mängeln oder der Arbeitssicherheit. Außerdem ist die Dokumentation ein wichtiger Bestandteil für weitere Analysen und Prozessoptimierungen.

Allerdings erfordert das Erfassen und Verarbeiten der Aufzeichnungsdaten derzeit einen hohen Zeitaufwand, welcher durch die unter Zeitdruck arbeitenden Projektbeteiligten nicht aufgewendet werden kann. Aus diesem Grund wird die Dokumentation auf Baustellen oft vernachlässigt oder unvollständig durchgeführt. Dies hat auch Auswirkungen auf die Projektpartner, da diese untereinander von den Informationen des jeweils anderen abhängig sind, um eine umfassende Protokollierung der Baustellen geschehnisse zu erzielen. Eine vernachlässigte Dokumentation kann dazu führen, dass Informationen verloren gehen oder falsch weitergegeben werden. Dies resultiert wiederum in unausweichliche Konflikte zwischen den Vertragsparteien.³⁸

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Dokumentation sowohl Informationen über den Zustand der Baustelle und der Leistungserbringung zu bestimmten Zeitpunkten liefert als auch den Kapazitätseinsatz und Einflüsse auf diesen aufzeichnet.³⁹

3.3 Dokumentationsarten

Bei den Dokumentationsarten wird grundsätzlich zwischen der manuellen Datenerfassung und der digitalen kontinuierlichen Erfassung unterschieden. Bei der manuellen Datenerfassung werden die Daten von Hand niedergeschrieben und in Ordnern abgelegt. Bei der digitalen Datenerfassung hingegen werden die Daten von Maschinen oder Sensoren generiert und gespeichert. Die manuelle Datenerfassung nimmt bei Baustellen immer weiter ab, da digitale Dokumentationsarten große Vorteile mit sich bringen. Es ist mit ihnen möglich Daten zu sortieren, filtern und miteinander zu verknüpfen. Bei der manuellen Datenerfassung ist es hingegen sehr mühsam alte Informationen wieder zu finden, die vor geraumer Zeit abgelegt wurden. Zusätzlich erschwert sie den Datenaustausch zwischen den einzelnen Projektteams, da durch die physischen Dokumente keine zentrale Datenverwaltung möglich ist.⁴⁰ Heutzutage werden oft Projektserver eingesetzt, um den Datenaustausch zwischen verschiedenen Projektteams zu vereinfachen. Hierfür bieten sich Optionen wie z.B. Google Drive oder Dropbox an. Diese Cloud-Speicherdienste gestatten es

³⁸ Vgl. <https://www.planradar.com/de/baustellendokumentation>. Datum des Zugriffs: 31.03.2023.

³⁹ Vgl. MÜLLER K.; GÖGER G.: Der gestörte Bauablauf. S. 15.

⁴⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 101.

den Nutzern, ihre Daten online abzulegen und ermöglichen es mit jedem beliebigen Gerät auf die Informationen zuzugreifen, sofern die Person dafür eine Berechtigung hat.

Des Weiteren kann bei der Dokumentationsart auch in globale und spezifische Dokumentationsmethoden unterschieden werden. Hierbei wird bei der globalen Dokumentation das gesamte Bauvorhaben erfasst und bei der spezifischen Betrachtung nur ein Gewerk oder einzelne Bauteile. Der Vorteil der globalen Betrachtung liegt darin, dass auch Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gewerken und Bauteilen dokumentiert werden, jedoch ist die Dokumentationstiefe deutlich geringer. Dadurch ist die globale Dokumentation nicht für detaillierte Fragestellungen geeignet. Hierbei eignet sich die spezifische Dokumentationsart deutlich besser. Mit ihr können auch einzelne Arbeitsgruppen während der Ausführung ihrer Tätigkeiten aufgezeichnet werden.⁴¹

3.4 Wer dokumentiert?

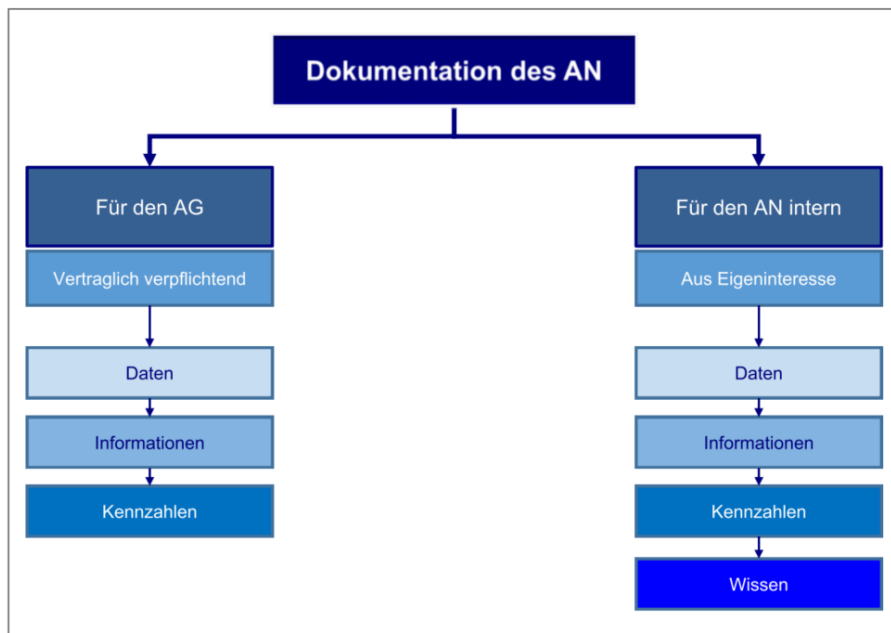
Die Dokumentation der Baustellengeschehnisse wird sowohl von Auftraggeber als auch vom Auftragnehmer durchgeführt. Sie hilft dem Auftraggeber den Überblick über die Ausführung des Projektes zu behalten und zu überprüfen, ob die Arbeiten planmäßig verlaufen oder ob es Verzögerungen durch Störeinflüsse gibt. Im Falle von Mängeln oder Unstimmigkeiten kann der Auftraggeber auf die Dokumentation zurückgreifen, um den genauen Sachverhalt zu rekonstruieren.⁴²

Für Auftragnehmer liegt der Hauptnutzen der Dokumentation der Baustellengeschehnisse in der Nachweisführung von Bauablaufstörungen und in der Optimierung des Bauablaufs.⁴³ Die Dokumentation kann jedoch auch für interne Zwecke genutzt werden, da durch die Vernetzung der generierten Daten und Informationen Wissen entsteht. Dieses Wissen kann als Wissensspeicher gesammelt werden, um für zukünftige Projekte einen Wettbewerbsvorteil zu schaffen. Deshalb ist es für den AN wesentlich, die vorherrschenden Umstände während der Bauausführung zu erfassen. Es ist erforderlich besondere Erschwernisse und deren Ursachen, sowie die Witterung und Leistungsabweichungen auf der Baustelle umfassend zu dokumentieren. Zusätzlich übermittelt der AN dem AG in regelmäßigen Zeitabständen Daten über die Baugeschehnisse.

⁴¹ Vgl. HOFSTADLER, C.: KUMMER, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 100.

⁴² Vgl. HOFSTADLER, C.: KUMMER, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 97.

⁴³ Vgl. HOFSTADLER, C.: KUMMER, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 97.

Abbildung 3.1 Dokumentation des AN⁴⁴

In der ÖNORM B 2110:2023 ist die Baustellendokumentation wie folgt definiert:

Vorkommnisse (Tatsachen, Anordnungen und getroffene Maßnahmen), welche die Ausführung der Leistung oder deren Abrechnung wesentlich beeinflussen sowie Feststellungen, die zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr getroffen werden können, sind nachweislich festzuhalten. Die Vertragsparteien sind verpflichtet, an einer gemeinsamen Dokumentation mitzuwirken. Die Dokumentation allein stellt kein Anerkenntnis einer Forderung dar.

Von einem Vertragspartner ausnahmsweise allein vorgenommene Dokumentationen sind dem anderen ehestens nachweislich zu übergeben. Diese gelten vom Vertragspartner als bestätigt, wenn er nicht innerhalb von 14 Tagen ab dem Tag der Übergabe schriftlich Einspruch erhoben hat. Im Falle eines Einspruches ist umgehend eine einvernehmliche Klärstellung der beeinspruchten Dokumentationen anzustreben.

Jeder Vertragspartner trägt grundsätzlich seine Kosten der vertragsgemäßen Dokumentation.⁴⁵

Dies bedeutet, sobald die ÖNORM B 2110 im Bauvertrag angewendet wird, eine Baustellendokumentation verpflichtend erforderlich ist. Zusätzlich sind beide Vertragsparteien durch die Norm verpflichtet, an einer gemeinsamen Dokumentation mitzuwirken. Dies hat den Vorteil, dass durch eine gemeinschaftliche Dokumentation viele Konflikte bereits im Vorfeld

⁴⁴ HOFSTADLER, C.; Kummer, M.: Datenfitting als nutzbringendes Werkzeug des Chancen- und Risikomanagements. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 175.

⁴⁵ ÖNORM B 2110:2023, Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen.

beseitigt werden können. Ist die ÖNORM B 2110 nicht im Bauvertrag vereinbart gilt das ABGB. In diesem Gesetzbuch ist eine solche Dokumentationspflicht nicht geregelt. Es empfiehlt sich jedoch trotzdem immer eine Aufzeichnung zu führen, um im Falle von Meinungsverschiedenheiten handfeste Beweise zu haben. Nachfolgend sind die Anforderungen und Ziele von Auftraggeber und Auftragnehmer an die Dokumentation dargestellt.

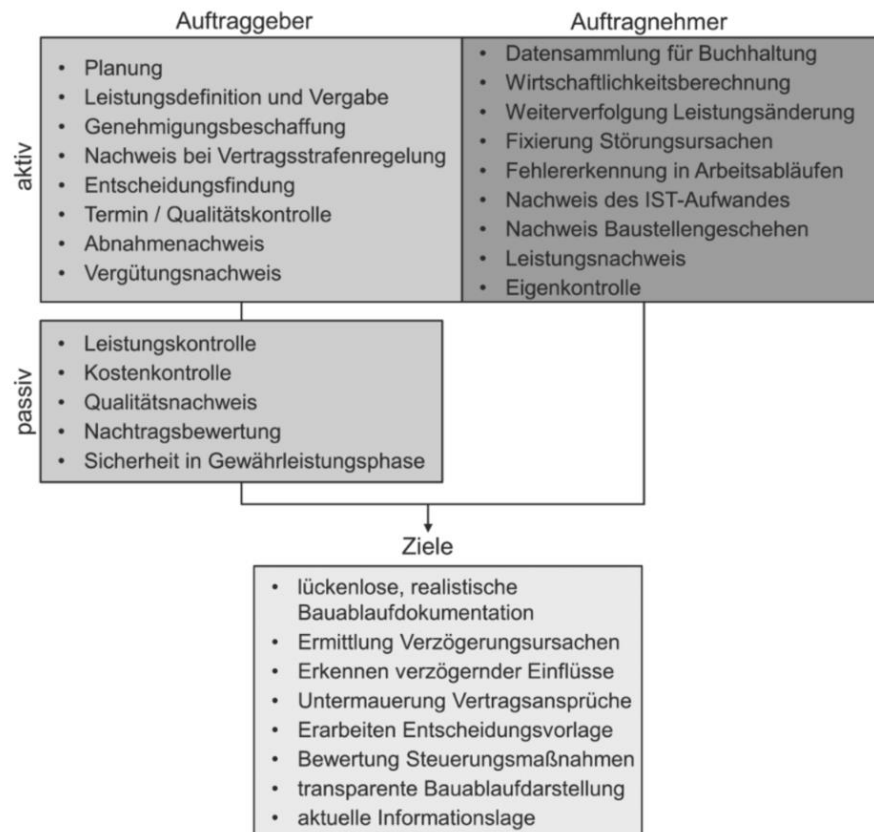


Abbildung 3.2 Anforderungen und Ziele an die Dokumentation von AG & AN⁴⁶

3.5 Was soll dokumentiert werden?

Durch viele verschiedene Dokumentationsmittel kann es passieren, dass eine regelrechte Datenflut über die Projektbeteiligten hereinbricht. Dies kann schnell dazu führen, dass es für ein Projekt mehr als 100.000 verschiedene Dokumente gibt. Doch welche dieser Dokumente sind wichtig und welche sind für den weiteren Bauablauf von keiner Relevanz mehr? 95 % der Dokumente, die auf Baustellen vorhanden sind, haben nur kurzfristige und eingeschränkte Wirksamkeit, weil der Empfänger mit dieser Information weiterarbeitet und sie dadurch in seine Arbeit integriert. Die restlichen 5 % der Daten und Informationen werden für zukünftige Analysen oder Streitigkeiten gebraucht. Das Problem hierbei ist jedoch, dass

⁴⁶ KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Management. S. 193.

niemand exakt weiß, welche Daten aus der Gesamtheit des Datenspeichers das sind.⁴⁷ Deshalb sind alle Informationen und Dokumente aufzubewahren, um für eine nicht vorhersehbare Verwendung in der Zukunft verfügbar zu sein. Bei der Aufbewahrung ist darauf zu achten, dass diese Daten später wiedergefunden werden können und nicht in der großen Anzahl an Dokumenten verloren geht.

Es ist wichtig bei der Dokumentation äußere als auch innere Einflüsse auf die Baustellentätigkeiten zu erfassen. Hierbei beziehen sich die äußeren Einflüsse auf die Umgebung und das Wetter, aber auch Lärm und Strahlung zählen dazu. So können zum Beispiel Regentage oder ein Sturm große Auswirkungen auf die erfolgreiche Abwicklung der Baustelle haben. Zu den inneren Einflüssen zählen hingegen alle Faktoren, die innerhalb des Bauprozesses wirken und Auswirkungen auf sein Ergebnis haben.

Eine lückenlose und wirtschaftliche Erfassung der Baustellengeschehnisse ist mit den derzeitigen Dokumentationssystemen nur eingeschränkt möglich. Die Kosten würden durch eine solche Datenerfassung viel zu hoch werden gegenüber den eigentlichen Herstellungskosten.⁴⁸ Dies würde keine wirtschaftliche Realisierung des Bauprojekts mehr ermöglichen. Es wird durch die Digitalisierung jedoch in Zukunft möglich sein, sich immer weiter einer lückenlosen Dokumentation anzunähern, ohne dabei immense Kosten zu erzeugen. Näheres dazu wird in Kapitel 6 beschrieben.

3.6 Wann soll dokumentiert werden?

Damit keine Daten und Informationen verloren gehen muss die Dokumentation so schnell als möglich erfolgen. Die unverzügliche Datenerfassung ist auch wichtig, um auf Störungseinflüsse während der Bauausführung rasch reagieren zu können. Ein wichtiger Begriff hierbei ist die Remanenz. Die Remanenz beschreibt den zeitlichen Versatz zwischen dem Bauge-schehen und der tatsächlichen Dokumentation und dem Erkennen der Abweichung vom Bau-SOLL.⁴⁹

Eine mangelnde Dokumentation und Nachverfolgung der Tätigkeiten erhöht die Remanenz zwischen dem Auftreten und dem Erkennen einer Abweichung. Dies kann zu Problemen führen, da häufig eine umfassende Protokollierung zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr möglich ist. Ein Beispiel hierfür sind die Bewehrungsarbeiten bei Betonbauteilen. Diese können nach dem Vergießen des Betons nicht mehr so umfangreich do-

⁴⁷ Vgl. LECHNER, H.: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Rechtssichere Dokumentation der öBA- Leistungsbild und Verantwortlichkeiten für die Dokumentation auf Baustellen. S. 38f.

⁴⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.; Kummer, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 133.

⁴⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Projektvorlaufzeit und Bauzeit. S. 22.

kumentiert werden. Dies führt zu einem Informationsverlust bei der Erstellung des Betonbauteils, welcher zu nachträglichen Konflikten führen kann, wenn Zuständigkeiten bei Mängeln oder Schäden geklärt werden müssen.

Durch eine Dokumentation der Baustelle in regelmäßigen Zeitintervallen kann diese Remanenz verringert werden und die Qualität der aufgezeichneten Daten verbessert werden. Außerdem verbessert das gemeinsame Erarbeiten einer umfassenden Baustellenkommunikation die Kommunikation zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten. Alle relevanten Informationen sind schnell und einfach zugänglich, was zu einer reibungsloseren Zusammenarbeit beiträgt. Zusammenfassend trägt eine zeitnahe und genaue Dokumentation dazu bei, die Auswirkungen von Fehlern und Abweichungen zu reduzieren und die Produktivität des Projekts zu verbessern.

3.7 Anforderungen an die Dokumentation

Die Anforderungen an die Baustellendokumentation können sehr stark je nach Bauprojekt variieren. Grundsätzlich ist jedoch eine ausreichende Erfassung der Baustellengeschehnisse anzustreben. Es gilt hierbei der Grundsatz „*So wenig wie möglich, so viel wie notwendig*“. Häufig werden wichtige Dokumentationsdaten jedoch erst viel später im Projekt benötigt, wodurch es schwierig ist zu erkennen, welche Daten und Informationen wirklich notwendig sind.⁵⁰

Für ein Projekt mit sehr hohen Leistungsabweichungen gegenüber der Planungsphase ist die Dokumentation deutlich umfangreicher auszuführen, als für ein Projekt das sehr stark mit dem Bau-SOLL korreliert. Es ist jedoch schwierig bereits vor einem Projekt zu erkennen, wie stark die Leistungsabweichungen während des Bauablaufes sein werden. Häufig werden diese Abweichungen durch Einflüsse erzeugt, die sehr schwer zu vorhersagen sind.⁵¹ Darum sollte es grundsätzlich immer der Anspruch sein, eine sehr detaillierte Baustellendokumentation durchzuführen, welche jedoch die Kosten nicht in das Unermessliche treibt.

Wie schon im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, wird bei der derzeitigen Bauausführung die Dokumentation häufig viel zu spät durchgeführt. Jedoch ist es eine der wichtigsten Anforderungen an die Erfassung von Daten, dass diese rasch und unverzüglich dokumentiert werden, denn durch eine zu späte Aufzeichnung können wichtige Daten verloren gehen und es wird dadurch deutlich schwieriger Störungen bei Prozessen zu identifizieren und zu rekonstruieren. Als Beispiel kann hierbei der Erdbau

⁵⁰ Vgl. REISTER, D.: Nachträge beim Bauvertrag. S. 236.

⁵¹ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 95.

erwähnt werden. Häufig sind hierbei wichtige Daten später nicht mehr zugänglich, weil der vorher getätigte Aushub bereits wieder verschüttet wurde oder bereits ein Gebäude in dieser Baugrube errichtet wurde.⁵²

Eine weitere wichtige Eigenschaft, die eine Baustellendokumentation mit sich bringen sollte, ist die Urkundenechtheit. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, dass die Informationen in der Dokumentation auf eine Weise gespeichert werden, die Manipulationen verhindert. Es gibt mittlerweile verschiedenste Technologien, die dabei helfen können, die Echtheit der Daten zu versichern. Eine Möglichkeit wäre hierbei die Blockchain-Technologie.⁵³

Zusammenfassend sollte eine Dokumentation und die darin vorkommenden Daten folgende Anforderungen erfüllen:⁵⁴

- Vollständigkeit
- Eindeutigkeit
- Korrektheit
- Urheberrecht
- Aktualität
- Genauigkeit
- Konsistenz
- Redundanzfreiheit
- Relevanz/Prägnanz
- Einheitlichkeit
- Zuverlässigkeit
- Zuordenbarkeit
- Verständlichkeit/Klarheit

Die Anforderungen an die Baustellendokumentation in Bezug auf Bauablaufstörungen und deren Nachweisführung werden in Kapitel 4 noch ausführlicher beschrieben.

3.8 Wesentliche Fragen der Dokumentation

In der nachfolgenden Abbildung sind noch einmal die wesentlichen Fragen der Dokumentation zusammengefasst, welche in diesem Kapitel bereits näher erläutert wurden. Es ist wichtig diese Fragen schon am Anfang

⁵² Vgl. HOFSTADLER, C.: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 336.

⁵³ Vgl. RANT, M.; EMBERGER, W.; SOER, R.; SINGER, M.: Digitale Dokumentation und Beweissicherung. S. 14.

⁵⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.; Kummer, M.: Datenfitting als nutzbringendes Werkzeug des Chancen- und Risikomanagements. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 177.

der Ausführungsphase mit den Projektbeteiligten zu besprechen, um später eine umfassende Aufzeichnung der Baustellengeschehnisse zu erzielen. Wie bereits erwähnt, ist es nicht möglich eine umfassende Dokumentation nur einen Projektbeteiligten zu überlassen, da er nicht alle Daten und Informationen zur Verfügung hat. Es erfordert ein Zusammenspiel zwischen den Projektbeteiligten für eine erfolgreiche Dokumentation.

Wann?	Warum?	Wie?	Welche?
Wann? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Unverzüglich ▪ Ehestens ▪ So bald wie möglich ▪ Rechtzeitig ▪ Zeitnah 	Warum? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Soll-Ist-Vergleich ▪ Beweis ▪ Qualität ▪ Ausmaßfeststellung ▪ Mehr-/Minderkostenforderung ▪ Produktivität ▪ Ablaufanalyse ▪ Trendanalyse ▪ Nachkalkulation ▪ Logistik ▪ Wissensmanagement 	Wie? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manuell <ul style="list-style-type: none"> ▪ Texte ▪ Fotos ▪ Videos ▪ Proben ▪ Messungen ▪ Tests ▪ Sprachmemos ▪ Automatisch <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fotos ▪ Videos ▪ Schranken ▪ Tracking 	Welche? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ungestörte Bereiche ▪ Gestörte Bereiche ▪ Zufällig gewählte Bereiche
Wann? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anlaufphase ▪ Hauptbauzeit ▪ Auslaufphase 			Welche? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensität der Dokumentation ▪ Interne und/oder externe Datenerfassung und Informationsgenerierung

Abbildung 3.3 Wesentliche Fragen zur Dokumentation⁵⁵

3.9 Potenziale der Baustellendokumentation

Die Digitalisierung beeinflusst den Baubetrieb zunehmend und bietet neue Möglichkeiten zur Optimierung der Dokumentationsprozesse. Hierbei ist die Qualität der Dokumentation entscheidend, um Chancen zu nutzen und Risiken frühzeitig zu erkennen und zu bewerten. Echtzeitdaten und Informationen können dazu beitragen, den Baubetrieb besser zu kontrollieren, zu analysieren und zu steuern.

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten erwähnt wurde, erfordert eine umfassende Dokumentation während der Ausführungsphase einen erheblichen Aufwand, da die Daten derzeit hauptsächlich manuell erfasst werden.⁵⁶ Mit den aktuell verwendeten und in Kapitel 5 beschriebenen Dokumentationsmitteln ist es nicht möglich eine Dokumentation der Baustelle in Echtzeit durchzuführen. Um dies in Zukunft zu erreichen ist es erforderlich teile des Dokumentationsprozesses zu automatisieren. Hierbei können Innovationen im Bereich der Digitalisierung dazu beitragen, Daten zu erfassen, zu verarbeiten und systematisch zu archivieren.

Ein weiteres Problem bei der heutigen Projektabwicklung besteht darin, dass die Dokumentationen oft erst sehr spät erfolgen. Durch diesen Zeitraum zwischen dem Auftreten eines Ereignisses und der tatsächlichen Dokumentation entsteht Remanenz.⁵⁷ Durch eine raschere Erfassung der

⁵⁵ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 96.

⁵⁶ Vgl. HASTENTEUFEL, J.; WEBER, S.; RÖHM T.: Digitale Transformation im Controlling. S. 119.

⁵⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Was sind Produktivitätsverluste und welche Wirkungen haben diese?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkostenforderungen – Wo liegen die Grenzen?. S. 74.

Baustellengeschehnisse sinkt die Remanenz und es ist möglich zeitnaher auf Störeinflüsse und Abweichungen gegenüber dem Bau-SOLL zu reagieren, was wiederum aus ökonomischer Sicht ein enormes Einsparpotenzial bietet, da unnötige Bauzeitverlängerungen dadurch besser vermieden werden können. Die Remanenz im Dokumentationsprozess kann durch eine Echtzeitdatenerfassung auf der Baustelle verringert werden. Eine Möglichkeit hierfür sind Sensoren. GPS-Tracking oder Auto-ID Systeme können auf Geräten, Materialien oder auch Personen angebracht werden, um Daten in Echtzeit zu erfassen.

Ein weiteres Potenzial in der Baustellendokumentation ist der strukturierte Datenaustausch zwischen den Projektbeteiligten.⁵⁸ Dieser Datenaustausch ist erforderlich, um eine umfassende Dokumentation aller Bereiche zu erzeugen, da nur durch die Zusammenarbeit der Beteiligten ein Gesamtüberblick aller Bereiche der Baustelle möglich ist. Hierbei können Cloud Anwendungen dabei helfen, die Zusammenarbeit im Projekt zu verbessern und eine partnerschaftliche Projektabwicklung zu erreichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass neue Technologien im Bereich der Digitalisierung die Baustellendokumentation grundlegend verändern werden. Durch den Einsatz dieser Technologien und Werkzeuge können Informationen schneller, genauer und effizienter erfasst und verarbeitet werden. Inwieweit eine nahezu lückenlose Dokumentation mittels dieser Werkzeuge bereits möglich ist und wo die Chancen und Risiken neuer Technologien liegen wird in Kapitel 6 genauer erläutert.

⁵⁸ Vgl. SCHERER, J.; SCHAPKE, S.: Informationssysteme im Bauwesen 2. S. 169.

4 Bauablaufstörungen: Anforderungen an die Baustellendokumentation

In diesem Kapitel wird näher auf das Thema der Bauablaufstörungen eingegangen und ausführlich beschrieben wie Bauablaufstörungen entstehen und welche Arten es gibt. Des Weiteren wird behandelt, wie Bauablaufstörungen nachgewiesen werden können und worin die Vor- und Nachteile zwischen dem Detailnachweis und dem Globalnachweis liegen. Aufgrund der hohen Anforderungen, insbesondere bei der Identifikation und dem Nachweis von Störungen im Bauablauf, bildet dieses Kapitel die Grundlage für die nachfolgenden Kapitel der Arbeit, um die Anforderungen an die verschiedenen Dokumentationsmittel klar zu definieren.

4.1 Allgemeines zu Bauablaufstörungen

Bei der Durchführung von Bauprojekten kommt es immer wieder zu Abweichungen gegenüber des geplanten Bauablaufs. Dies liegt unter anderem daran, dass in der Projektphase 4 sehr viele verschiedene Produktionsfaktoren und Projektbeteiligte gleichzeitig im Projekt interagieren. Die Folge dieser zahlreichen Einflüsse auf das Bauprojekt sind häufig daraus resultierende Bauablaufstörungen.

Heilfort führte 2001 eine empirische Untersuchung durch und stellte fest, dass in der Baupraxis 56 % aller Bauvorhaben von Bauablaufstörungen betroffen sind.⁵⁹ Mittlerweile hat sich die Anzahl der gestörten Abläufe jedoch noch deutlich erhöht.⁶⁰ Diese hohe prozentuale Anzahl von gestörten Bauvorhaben verdeutlicht die Bedeutung der Thematik. Doch was wird unter Bauablaufstörungen verstanden und wie werden diese definiert? Zu diesem Thema haben bereits zahlreiche Autor*innen ihre Gedanken niedergeschrieben und eigene Definitionen entwickelt. Im Folgenden werden einige dieser Definitionen dargestellt und näher untersucht.

Zimmermann definiert Bauablaufstörungen wie folgt:

„Eine Bauablaufstörung lässt sich als unvorhersehbares Ereignis beschreiben, das nicht im Einflussbereich des AN liegt und eine Abweichung des tatsächlichen Ist vom geplanten Soll hervorruft. Sie tritt innerhalb einer bereits begonnenen Leistungsprozesskette auf und beeinflusst deren Ausführungsprozess in zeitlicher Hinsicht (Dauer, zeitliche Lage), wodurch sich auch Auswirkungen auf den restlichen geplanten Bauablauf ergeben.“⁶¹

⁵⁹ Vgl. HEILFORT, T.: Partnerschaftliches Management von Bauablaufstörungen - Mehr Erfolg durch Kooperation. In: Bauwirtschaft, 9/2001. S. 28f.

⁶⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.; LECHNER, H.; HECK, D.: 11. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium. S. 3.

⁶¹ ZIMMERMANN, J.: Prozessorientierter Nachweis der Kausalität zwischen Ursache und Wirkung bei Bauablaufstörungen. S.48.

Zimmermann behauptet in seiner Definition, dass Bauablaufstörungen nur aus der Sphäre des AG stammen können. *Sundermeier* definiert den Begriff hingegen wie nachfolgend:

*„Es handelt sich dabei um eine Abweichung des tatsächlichen (sog. Ist-Bauablauf) vom ursprünglich geplanten (sog. Soll-Bauablauf), d.h. regelmäßig um Verzögerungen und/oder Unterbrechungen des Bauablaufs. [...] Die Gründe können sowohl im Risikobereich des Auftraggebers als auch im Risikobereich des Auftragnehmers liegen.“*⁶²

Hierbei ist zu erkennen, dass nach *Sundermeier* Bauablaufstörungen sowohl aus der Sphäre des AN als auch aus der Sphäre des AG stammen können. Beide zeigen jedoch in ihren Definitionen klar auf, dass Bauablaufstörungen einer Sphäre zuzuordnen sind, um die Zuständigkeiten und den weiterführenden Entgeltanspruch in Folge von Mehrkostenforderungen zu klären. Zusammenfassend gibt es keine eindeutige Definition für den Begriff Bauablaufstörungen. In der ÖNROM B 2110 und dem ABGB kommt diese Bezeichnung überhaupt nicht vor. Die ÖNORM B 2110:2023 definiert lediglich unter Punkt 3.7.2 den Begriff *Störung der Leistungserbringung* wie folgt:

„Leistungsabweichung, deren Ursache nicht aus der Sphäre des Auftragnehmers (AN) stammt und die keine Leistungsänderung ist.

Beispiele sind vom Leistungsumfang abweichende Baugrundverhältnisse sowie Vorleistungen oder Ereignisse, wie Behinderungen, die der Sphäre des Auftraggebers (AG) zugeordnet werden.“

Der Begriff Leistungsabweichung ähnelt hierbei sehr stark dem Begriff der Bauablaufstörungen. Ähnlich wie bei der Definition nach *Zimmermann* beschreibt auch die ÖNROM B 2110:2023, dass Bauablaufstörungen bzw. Leistungsabweichungen aus der Sphäre des AG stammen. Zusätzlich ist in der ÖNORM B 2110:2023 der Begriff der Leistungsabweichung definiert:

„3.7 Leistungsabweichung

Veränderung des Leistungsumfangs entweder durch eine Leistungsänderung oder durch eine Störung der Leistungserbringung“

Dieser Begriff beschreibt abermals, dass Bauablaufstörungen aus der Sphäre des AG stammen. Für die gegenständliche Arbeit wird jedoch zwischen der Sphäre des AN und der Sphäre des AGs differenziert. Um den Begriff der Bauablaufstörungen verständlicher zu machen, wird nachfolgend eine Möglichkeit für eine Bauablaufstörung näher beschrieben.

Ein Beispiel für eine Bauablaufstörung wäre die Abweichung des Aufwandswertes bei Schalungsarbeiten. Wurde bei einer vorhergehenden

⁶² WÜRFELE, F.; GRALLA, M.; SUNDERMEIER, M.: Nachtragsmanagement. S. 102.

Baustelle aus der Nachkalkulation ein Aufwandswert für die Wandschalung von 0,5 Std/m² berechnet und beim aktuellen Projekt jedoch nur ein Aufwandswert von 1,5 Std/m² errechnet, trat eine Störung während der Durchführung dieser Leistung ein. Dies gilt jedoch nur, wenn der SOLL-Aufwandswert baubetrieblich realistisch angenommen wurde und die beiden Projekte von der Ausführungsweise eine vergleichbare Komplexität und ähnliche Merkmale aufweisen. Wichtig ist hierbei auch den üblichen Einarbeitungseffekt in der Anlaufphase nicht als Bauablaufstörungen zu identifizieren.⁶³ Um den Begriff der Bauablaufstörungen noch genauer einzugrenzen wird des Weiteren auch zwischen Bauablaufstörungen und Bauablaufschwankungen unterschieden.

4.2 Unterschied Ablaufstörung und Ablaufschwankung

Durch die verschiedensten Einflüsse während der Bauausführung kommt es zu Schwankungen und Abweichungen in der Arbeitsgeschwindigkeit der einzelnen Gewerke. Unter Ablaufschwankungen versteht man hierbei Abweichungen während der Ausführung, welche innerhalb eines üblichen Streubereiches liegen.⁶⁴ Zu den Bauablaufschwankungen zählen unter anderem folgende Einflüsse:⁶⁵

- normale Witterungsbedingungen
- allgemeine Risiken der Bauproduktion
- Personalausfälle (Urlaub, Krankenstand)
- Einarbeitungseffekte
- bekannte Standortbedingungen
- kurzfristige Maschinenausfälle

Diese Unregelmäßigkeiten lassen sich nicht gänzlich vermeiden und sind als normal anzunehmen. Ein Regentag auf der Baustelle ist deshalb nicht als Bauablaufstörung anzusehen, da diese Störung bereits im Vorhinein zu vermuten war. Wenn es jedoch während eines unüblichen Zeitraums zu anhaltenden Regenfällen von mehreren Wochen kommt, so ist dies als Störung des Bauablaufs zu betrachten, da dieser Effekt nicht im Einklang mit der normalen Witterung steht.

⁶³ Vgl. HOFSTADLER C.: Produktivität im Baubetrieb. S 5.

⁶⁴ Vgl. GRALL, M.: Was wird in Deutschland unter dem Begriff Einzelnachweis verstanden und wie wird in der Praxis damit umgegangen?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkostenforderungen – Wo liegen die Grenzen?. S. 96.

⁶⁵ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S.4.

Bauer unterscheidet zwischen Ablaufschwankungen und Ablaufstörungen, indem letztere erst dann eintreffen, wenn die mittlere Arbeitsgeschwindigkeit nicht mehr beibehalten werden kann, ohne dass zusätzliche Ressourcen eingesetzt werden müssen.⁶⁶

4.3 Störungsarten

Es gibt verschiedene Möglichkeiten wie Störungen eingeteilt werden können. Eine Variante ist die einzelnen Störungen in verschiedene Störungstypen einzuteilen. Laut *Roquette/Viering/Leupertz* können die Störungen in insgesamt fünf verschiedene Typen unterschieden werden, welche nachfolgend näher beschrieben werden:⁶⁷

- **Verzögerung:** Eine Verzögerung tritt auf, wenn die vereinbarte Ausführungsdauer eines nicht kritischen Vorgangs überschritten wird. Obwohl der betreffende Vorgang nicht auf dem kritischen Weg liegt, kann eine Verzögerung dennoch dazu führen, dass sich der Endtermin des Projekts verschiebt.
- **Behinderung:** Liegt ein Vorgang direkt am kritischen Weg und verzögert sich durch Störeinflüsse kann dies zu einer Verlängerung der Ausführung kommen. Dieses Ereignis nennt man Behinderung.
- **Unterbrechung:** Eine Unterbrechung der Arbeiten bezieht sich auf einen vorübergehenden Stillstand auf der Baustelle. Dies kann aufgrund verschiedener Faktoren auftreten, wie beispielsweise fehlender Materialien oder einer Verzögerung bei der behördlichen Genehmigung. Eine spezielle Form der Unterbrechung sind die sogenannten Beginnverschiebungen. Dabei handelt es sich um Arbeiten, die nicht zum geplanten Zeitpunkt beginnen können, da beispielsweise Pläne verspätet übergeben wurden oder Vorunternehmerleistungen noch nicht fertiggestellt sind.
- **Verschiebung:** Bei der Verschiebung kommt es zum Stillstand von Arbeiten unmittelbar nach Baubeginn. Durch die Verschiebung und den daraus entstehenden Stillstand kann sich der Fertigstellungstermin eines Gewerks oder des Gesamtprojektes nach hinten verschieben.
- **Beschleunigung:** Eine Beschleunigung kann auftreten, wenn der tatsächliche Fortschritt der Arbeiten größer ist als ursprünglich geplant. Eine Störung, die behoben werden muss und zusätzliche Überstunden oder die Einführung von Nacharbeit erfordert, kann beispielsweise zu einer Beschleunigung führen.

⁶⁶ Vgl. BAUER, H.: Baubetrieb. S. 753.

⁶⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 53.

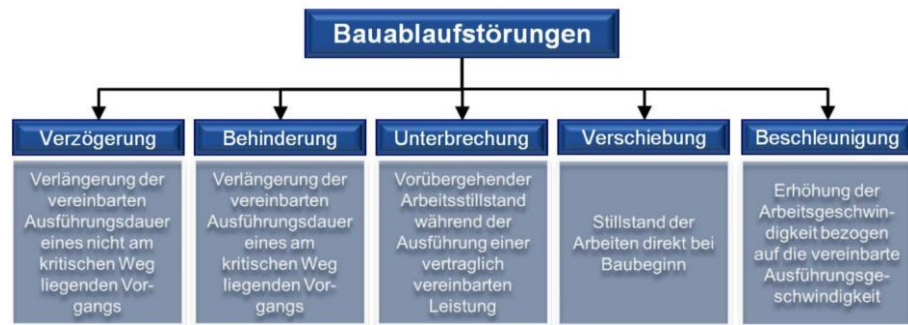


Abbildung 4.1 Arten von Bauablaufstörungen⁶⁸

Die in der Abbildung 4.1 genannten Bauablaufstörungen können je nach Intensität und betroffener Gewerke einen signifikanten Einfluss auf den weiteren Bauablauf haben. Die Folgen daraus sind in den häufigsten Fällen eine verlängerte Bauzeit und erhöhte Kosten. Gerade aus diesem Grund ist es essenziell Bauablaufstörungen frühzeitig zu erkennen, um Gegenmaßnahmen einzuleiten und den weiteren Projekterfolg nicht zu gefährden.

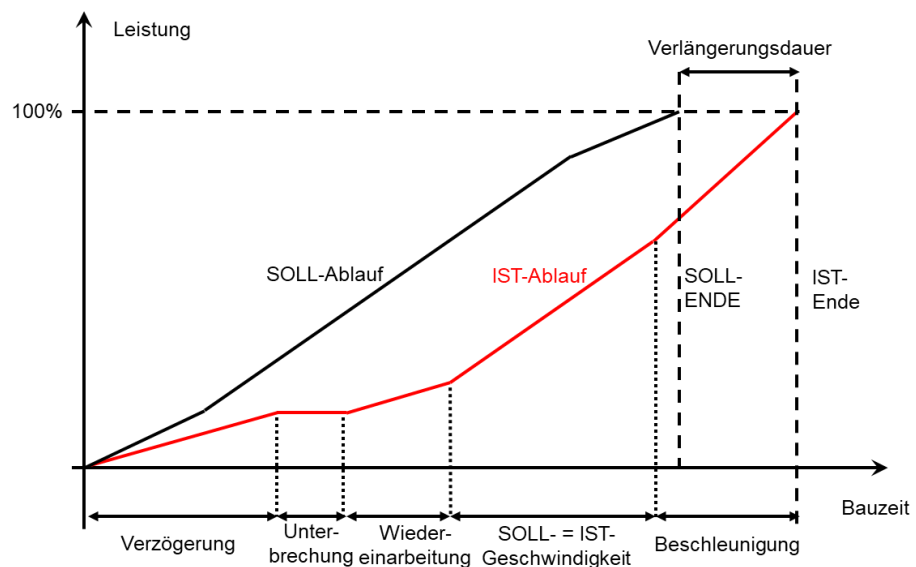


Abbildung 4.2 Auswirkungen von Bauablaufstörungen auf die Bauzeit⁶⁹

Die oben angeführte Abbildung zeigt auf wie sich die einzelnen Arten von Bauablaufstörungen auf die IST-Bauzeit niederschlagen. Die dabei aufsummierten Verzögerungen führen zu einer Verlängerung der Bauzeit. Durch diesen Verzug in der Fertigstellung des Bauwerks kommt es zu erhöhten Kosten und Produktivitätsverlusten während der Ausführung.

⁶⁸ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 53.

⁶⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an: DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 6.

Eine weitere Möglichkeit ist die Störungen in Primärstörungen und Sekundärstörungen zu klassifizieren. Unter Primärstörungen versteht man hierbei Störungen welche direkte Auswirkung auf einen oder mehrere Vorgänge haben. Die verschiedenen Arten von Primärstörungen sind die bereits vorher genannten Störungstypen. Sekundärstörungen sind hingegen Folgewirkungen von Primärstörungen, wobei bei dieser Störungsart nachfolgende Leistungen aufgrund der Störung verschoben werden und dadurch für den AN ungünstiger werden. Ein Beispiel für eine Sekundärstörung wäre eine witterungsbedingte Unterbrechung, die aufgrund einer Primärverzögerung entstand.⁷⁰

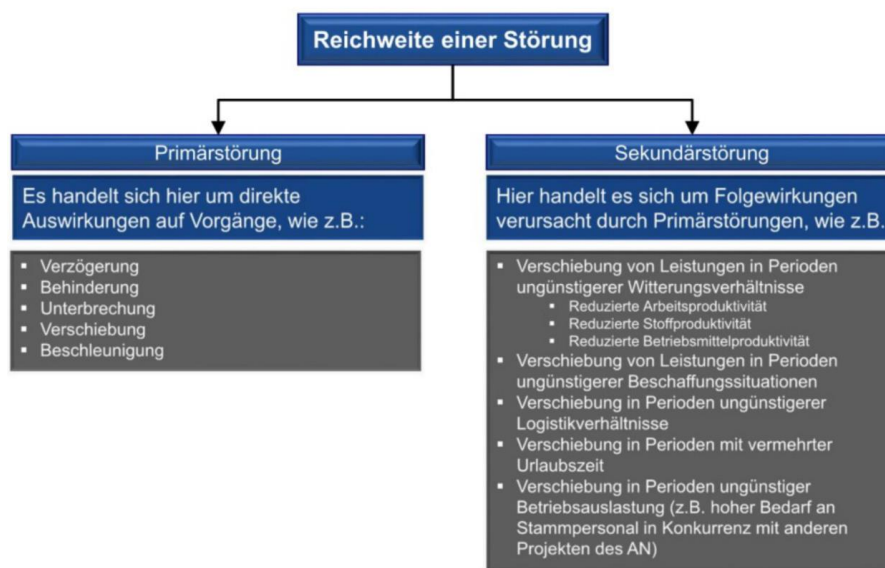


Abbildung 4.3 Primär- und Sekundärstörungen⁷¹

In der Literatur wird zusätzlich noch der Begriff Tertiärstörung teilweise verwendet. Diese Störungen sind wiederum Folgewirkungen von Sekundärstörungen.⁷²

Zusätzlich können Bauablaufstörungen auch hinsichtlich der Umgebungswirkung eingeteilt werden. Es wird zwischen folgenden Arten unterschieden:

- *Singuläre Störungen: haben nur Auswirkungen auf einen Vorgang (z.B. Einschalen eines Wandabschnitts)*
- *Lokale Störungen: haben Auswirkungen auf einen gesamten Fertigungsabschnitt*

⁷⁰ Vgl. GALLISTEL, U.: RAAB, J.: Primär- und Sekundärstörungen aus rechtlicher Sicht mit Fokussierung auf Einzelvergaben und GU-Aufträgen. In: Tagungsband zum 17. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Reduktion von Bauablaufstörungen und systematischer Umgang mit Mehrkostenforderungen. S. 250.

⁷¹ HOFSTADLER, C.: Sachgerechte Ermittlung von Mehrkosten für die gestörte Leistungserbringung. Präsentation. S. 33.

⁷² Vgl. GALLISTEL, U.: RAAB, J.: Primär- und Sekundärstörungen aus rechtlicher Sicht mit Fokussierung auf Einzelvergaben und GU-Aufträgen. In: Tagungsband zum 17. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Reduktion von Bauablaufstörungen und systematischer Umgang mit Mehrkostenforderungen. S. 250.

- *Partielle Störungen: haben Auswirkungen auf vorangehende, nachfolgende oder parallel ablaufende Tätigkeiten*
- *Interdisziplinäre Störungen: haben Auswirkungen auf andere Gewerke*
- *Globale Störungen: haben Auswirkungen auf die gesamte Bauwerksphase (z.B. Phase Bauwerk-Technik)*
- *Universale Störungen: haben Auswirkungen auf das gesamte Projekt (z.B. Phasen Rohbau, Ausbau und Technik)*
- *Multiple Störungen: haben auch Auswirkungen auf andere Projekte⁷³*

4.4 Ursachen für Bauablaufstörungen

Im vorhergehenden Kapitel wurden die einzelnen Störungstypen näher beschrieben. Doch was sind die Ursachen, dass es zu Bauablaufstörungen kommt? *Vygen et al* grenzen die Ursachen für Störungen in vier verschiedene Teilbereiche ein, wobei neben der Ursache auch die Verantwortlichkeiten in diesen Teilbereichen definiert werden. Es ist wichtig die Verantwortlichkeiten bei den Bauablaufstörungen zu kennen, um spätere Mehrkostenforderungen erstellen zu können. Die vier Gruppen lauten wie folgt:⁷⁴

- Verzögerungen aufgrund von Leistungsänderungen, Mengenänderungen oder Zusatzleistungen. Diese fallen in die Sphäre des Auftraggebers, da der Umfang der Leistungen und die berechneten Mengen in der Ausschreibung unzureichend ermittelt wurden.
- Verzögerungen aus der Sphäre des Auftraggebers aufgrund einer unzureichenden Koordination zwischen den einzelnen Gewerken. Hierbei handelt es sich z.B. um Verzögerungen aufgrund von Vorunternehmern, welche ihre Leistungen noch nicht gänzlich erfüllt haben.
- Verzögerungen aus der Sphäre des Auftragnehmers aufgrund unzureichender Organisation und einem zu geringen Einsatz der Produktionsfaktoren. Hierbei hat der Auftraggeber den Aufwand der Leistungen nicht ausreichend genug ermittelt. Dadurch kann die erforderliche Leistung durch den zu geringen Ressourceneinsatz nicht erreicht werden.
- Verzögerungen in Folge von äußeren Einflüssen, welche keiner der beiden Sphären zuordenbar ist. Ein Beispiel hierfür wären Einwirkungen aufgrund „höherer Gewalt“.

⁷³ HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 53.

⁷⁴ Vgl. VYGEN, K. et al: Bauverzögerung und Leistungsänderung. S.45. ff.

Die ÖNORM B 2110:2023 definiert zwei verschiedene Ursachengruppen für Leistungsabweichungen, nämlich die Sphäre des AN und die Sphäre des AG. Im Unterschied zu den Gruppen nach *Vygen et al* gibt es hier keine neutrale Sphäre und die höhere Gewalt fällt komplett in die Sphäre des AG. Die Sphärenzuteilung des § 1168 ABGB hat leichte Abweichungen gegenüber der ÖNORM B 2110. In der nachfolgenden Abbildung werden die häufigsten Leistungsstörungen auf Baustellen zusammengefasst und zusätzlich der jeweiligen Sphäre je nach Art des Vertrages zugeordnet.

häufige Störungsursachen	Sphärenzuordnung
<ul style="list-style-type: none"> - unzureichende Arbeitsvorbereitung und Ablaufplanung - unzureichende und ungeeignete Geräte- und Personaldisposition - Logistikprobleme - falsche Beurteilung des Bauvorhabens und des Bauvertrages - fehlerhafte Baustelleneinrichtung - mangelhafte Führung der Baustelle - Lieferschwierigkeiten bei Baustoffen - verspätete Beauftragung von Subunternehmern - Probleme im Bereich der eingesetzten Subunternehmer - mangelhafte Bauausführung 	<p>Sphäre AN (inkl. Subunternehmer, Materiallieferanten, usw...)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - unzureichende planerische Vorbereitung des Bauvorhabens - Terminverzug bei der Freigabe der Baustelle - fehlerhafte Ausführungsunterlagen - fehlerhafte/unvollständige Leistungsbeschreibungen - verspätete Baugenehmigung und Planbeistellung - Mengenänderungen - Planungsänderungen - Zusatzleistungen - fehlende Entscheidungen - verspätete Fertigstellung von Vorleistungen durch Vorunternehmer - Erhöhung von Ausführungsqualitäten - Eingriffe in den Bauablauf bzw. das Ablaufkonzept - vom Bau-Soll abweichende Baugrundverhältnisse - Störungen durch Dritte 	<p>Sphäre AG (inkl. seiner Erfüllungsgehilfen)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - außergewöhnliche Witterungsverhältnisse - außergewöhnliche Naturereignisse - Streik und Aussperrung - sämtliche Einwirkungen aus „höherer Gewalt“ 	<p>Sphäre AG oder AN (je nach Vertragsgrundlage) bei ÖNORM > AG bei ABGB > AN</p>

Abbildung 4.4 Häufige Störungsursachen und Sphärenzuteilung⁷⁵

In der Abbildung kann man erkennen, dass die ÖNORM B 2110:2023 teilweise Störungsursachen der Sphäre des AG zuordnet welche hingegen im §1168 des ABGB dem AN zugeordnet wird. Deshalb ist darauf zu achten welche Vertragsart vorliegt, um die Zuständigkeiten für die Störungen des Bauablaufes zu ermitteln.

⁷⁵ Abbildung entwickelt in Anlehnung an FREIBOTH, A.: Ermittlung der Entschädigung bei Bauablaufstörungen - Schriftenreihe Heft 43. S. 8. und DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 6ff.

4.5 Auswirkungen durch Bauablaufstörungen

Durch die in dem vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Ursachen von Bauablaufstörungen entstehen in der weiteren Folge Auswirkungen auf die verschiedensten Bereiche der Ausführung, welche vor allem terminliche und wirtschaftliche Auswirkungen erzeugen. Hinsichtlich der Auswirkung können Bauablaufstörungen nach *Würfele/Gralla/Sundermeier* in vier verschiedene Teilbereiche differenziert werden.

4.5.1 Auswirkungen auf die Bauzeit

Die Bauzeit wird i. d. R. vom AG bereits in den Ausschreibungsunterlagen festgelegt.⁷⁶ Der AN legt dann anhand dieses Rahmenterminplans seinen Bauablauf fest und ermittelt die benötigten Produktionsfaktoren für die Durchführung der Arbeiten. Durch Störeinflüsse während den Ausführungsarbeiten werden einzelne Prozesse im Bauablauf beeinträchtigt, wodurch der AN sein Terminziel nur durch den Einsatz von Gegenmaßnahmen erreichen kann. Bei z.B. starken Lieferproblemen kann es sogar dazu kommen, dass die Arbeiten eines Gewerks stillgelegt werden müssen und dadurch ein erneuter Einarbeitungseffekt bei den Arbeitskräften eintritt. Durch die eingetretene Störung ist der Aufwandswert noch während der Einarbeitungsphase erhöht, was wiederum zu Produktivitätsverlusten führt und zusätzliche Bauzeitverzögerungen verursacht. Erst nach Ende der Einarbeitungsphase kann der angestrebte Aufwandswert wieder erreicht werden.

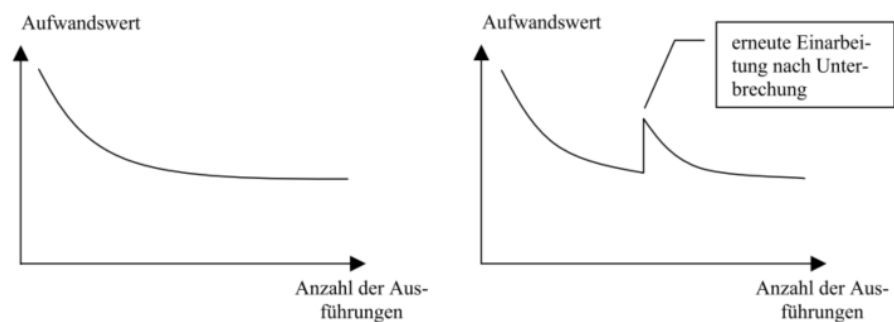


Abbildung 4.5 Einarbeitungseffekt nach Unterbrechung⁷⁷

Verzögerungen der Bauzeit zählen zu den häufigsten Auswirkungen bei gestörten Bauabläufen. Diese können wie bereits im Abschnitt 4.4 beschrieben sowohl aus der Sphäre des Auftragnehmers als auch aus der Sphäre des Auftraggebers stammen.

⁷⁶ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 13.

⁷⁷ DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 13.

4.5.2 Auswirkungen auf die Baukosten

Die zusätzlich entstehenden Kosten aufgrund von Bauablaufstörungen sind meistens Sekundärwirkungen aufgrund der verlängerten Bauzeit. Durch die Störungen müssen Maßnahmen gesetzt werden, um die verlorene Zeit wieder einzuholen, wobei eine Möglichkeit hierbei Forcierungsmaßnahmen sind, da durch Erhöhung der AK, der täglichen Arbeitszeit oder der Betriebsmittel die verlorene Zeit bis zu einem gewissen Maße wieder aufgeholt werden kann. Durch den Einsatz dieser zusätzlichen Ressourcen kommt es zu einer Erhöhung bei den Baukosten. Sollte die Störung so groß sein, dass die dadurch entstandene Verzögerung nicht mehr aufgeholt werden kann, kommt es zu einer Verlängerung der Bauzeit. Da auf jeder Baustelle kontinuierliche Kosten entstehen wie z.B. Mietkosten und Vorhaltekosten für Geräte führt dies zu zusätzlichen Mehrkosten. Außerdem kann eine Bauzeitverlängerung bewirken, dass die Witterungsverhältnisse sich während der Baumaßnahme drastisch verschlechtern. Ein Beispiel hierfür wären verspätete Aushubarbeiten aufgrund von Verzögerungen während des Bauablaufes. Durch diese Verzögerungen kann es passieren, dass Erdarbeiten in eine Phase verschoben werden, wo die oberste Schicht des Bodens bereits gefroren ist. Dadurch ist es deutlich schwieriger den Erdaushub durchzuführen.

Weitere häufige Gründe für Mehrkostenforderungen sind⁷⁸:

- Einsatz zusätzlicher Betriebsmittel aufgrund von Beschleunigungsmaßnahmen (z.B. Schalungsteile)
- zusätzliche Lohnkosten aufgrund von Sonn- und Feiertagsarbeit und Überstunden
- Mehrschichtbetrieb
- längere Vorhaltung der Baustelleneinrichtung

4.5.3 Auswirkungen auf den Bauablauf

Durch die Beeinträchtigung eines Gewerkes infolge von Störfaktoren wie Lieferverzögerungen ist es nicht möglich, den geplanten Arbeitsumfang innerhalb der vorgesehenen Zeitspanne abzuschließen. Um die Ausbreitung der Störung auf andere Gewerke zu minimieren, empfiehlt es sich, den Bauablauf anzupassen. Eine mögliche Lösung besteht darin, zeitlich unabhängige Tätigkeiten zu verschieben, um Prozesse vorzuziehen, die ursprünglich zu einem späteren Zeitpunkt geplant waren. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Anpassung des Bauablaufs den vorherigen SOLL-Ablauf verändert und zusätzlichen Mehraufwand erzeugt.

⁷⁸ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 17.

4.5.4 Auswirkungen auf die eingesetzten Bauverfahren

Durch Leistungsänderungen während der Baudurchführung kann es dazu kommen, dass einzelne Bauverfahren angepasst werden müssen. Ein Beispiel hierbei wäre die Änderung der Planung durch den AG. Durch die neun Planungsunterlagen muss das Bauverfahren adaptiert werden. Dies kann die Bauzeit erhöhen oder auch verringern. Beispiele für ein verändertes Bauverfahren wäre die Umstellung des Schalungssystems von einer Großflächenschalung auf Kleinflächenschalung.⁷⁹

4.6 Erkennbarkeit der Störung

Die Erkennbarkeit einer Störung hängt stark mit dem Eintritt der Wirkung zusammen. Hierbei kann zwischen unmittelbar, schleichend oder erst verspäteten Störungsauswirkungen unterschieden werden.⁸⁰ Ein Beispiel für eine unmittelbare Störungseinwirkung wäre ein Stromausfall auf der Baustelle. Durch dieses Ereignis ist es nicht mehr möglich elektrische Maschinen, welche vom Stromnetz abhängig sind zu nutzen. Eine schleichende Störung auf Baustellen kann zum Beispiel eine unzureichende Planung sein. Wenn die Planung unvollständig oder fehlerhaft ist, kann dies zu zusätzlichen Herausforderungen bei der Beschaffung von Materialien, bei der Koordination der Arbeitskräfte und bei der Umsetzung des Bauprojekts führen. Diese Probleme können sich im Laufe der Zeit aufbauen und zu Verzögerungen im Bauprozess und zu höheren Kosten führen.

Für die Verringerung von Bauablaufstörungen und daraus folgenden Produktivitätsverlusten ist es essenziell Abweichungen durch regelmäßige SOLL-SOLLTE-IST-Vergleiche frühzeitig zu erkennen. Hierbei hilft eine umfassende Dokumentation der Baustellengeschehnisse, um rasch Gegenmaßnahmen einleiten zu können und auf die entstandene Störung schnell zu reagieren. Um dies zu erreichen, muss die Dokumentation in Zukunft noch effizienter gestaltet werden, um die Kosten und den Aufwand dieser zu verringern.

4.7 Gegensteuerungsmaßnahmen

Beim Auftreten von Bauablaufstörungen ist nach *Karasek* wie folgt vorzugehen:⁸¹

- Frühzeitige Identifizierung von potenziellen Abweichungen
- Rasche Reaktion auf eingetretene Leistungsabweichung

⁷⁹ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 16.

⁸⁰ Vgl. GIRMSCHIED, G.: Angebots- und Ausführungsmanagement prozessorientiert S. 401.

⁸¹ Vgl. STEMPOKOWSKI, R.: Bauwirtschaftliche Nachweisführung. In: Festschrift. S. 800.

- Rasche Nachweisführung und Behandlung der Mehrkosten
- Rasche Bekanntgabe der Auswirkungen durch die Leistungsabweichung
- Gemeinsame offene Dokumentation zwischen AG & AN

Karasek appelliert mit dieser Vorgehensweise an die Projektbeteiligten Leistungsabweichungen so schnell wie möglich zu behandeln, um die Auswirkung dieser zu minimieren. Um Gegenmaßnahmen schnell einleiten zu können muss die Dokumentation und Analyse des Baufortschritts in regelmäßigen Abschnitten erfolgen. Umso kleiner die Remanenz zwischen dem Auftreten der Störung und der Setzung von Gegenmaßnahmen ist, desto geringfügiger sind die dadurch verursachten Folgen.

Eine mögliche Gegenmaßnahme für Störungen während des Bauablaufes sind Forcierungsmaßnahmen. Forcierungsmaßnahmen auf der Baustelle sind Maßnahmen, die ergriffen werden, um den Bauablauf zu beschleunigen und die durch die Störung verlorene Zeit wieder aufzuholen. Es gibt hierbei verschiedene Möglichkeiten, um die Forcierungsmaßnahmen einzuleiten. Eine Möglichkeit ist die Erhöhung der Arbeitskräfte.⁸² Außerdem kann die Anzahl der eingesetzten Geräte gesteigert werden. Es sollte jedoch immer dabei bedacht werden, dass Maßnahmen zur Intensivierung zusätzliche Kosten verursachen können, die sich unter anderem aus Produktivitätsverlusten, Sonn- und Feiertagsarbeit sowie Überstunden ergeben. Deshalb sollten diese nur getätigt werden, wenn sie zwingend erforderlich sind. Um die Forcierungsmaßnahmen zu minimieren ist es darum wichtig, aktuelle Daten über den derzeitigen IST-Zustand der Baustelle zur Verfügung zu haben und diese regelmäßig auf Abweichungen mit dem Bau-SOLL bzw. Bau-SOLLTE zu kontrollieren. Das SOLLTE setzt sich aus den SOLL-Ansätzen (AW, Leistungswerte, Ressourcen etc.) und den IST-Mengen zusammen.

Eine weitere Möglichkeit, um Bauablaufstörungen auszugleichen besteht in der Veränderung von Bauverfahren. Durch eine erhöhte Produktionsgeschwindigkeit des neuen Bauverfahrens kann die zeitliche Auswirkung von Störeinflüssen verringert werden. Die Umstellung des Bauverfahrens ist jedoch mit Bedacht durchzuführen, da sie andere Gewerke und weitere Prozessketten beeinflussen kann. Bevor die Umstellung durchgeführt wird, sollte deshalb der übrige Bauablauf noch einmal überdacht werden.⁸³

Außerdem ist es möglich durch die Umstellung des Bauablaufes Störeinflüssen entgegenzuwirken.⁸⁴ Eine Möglichkeit hierbei ist gewisse Arbeiten vorzuziehen und damit die vorhandenen Kapazitäten auch im Falle

⁸² Vgl. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 219.

⁸³ Vgl. ZIMMERMANN, J.: Prozessorientierter Nachweis der Kausalität zwischen Ursache und Wirkung bei Bauablaufstörungen. S. 68.

⁸⁴ Vgl. ZIMMERMANN, J.: Prozessorientierter Nachweis der Kausalität zwischen Ursache und Wirkung bei Bauablaufstörungen. S. 69.

eines stillgelegten Gewerks effektiv zu nutzen. Dies ist jedoch nur für Vorgänge möglich die nicht direkt abhängig vom gestörten Bereich sind. Es ist z.B. nicht möglich den Betonierprozess an einem Bauteil vorzuziehen, wenn es zu einer Störung bei den Bewehrungsarbeiten gekommen ist und diese deshalb nicht termingerecht fertiggestellt wurden.

4.8 Anforderungen an die Nachweisführung

Seit geraumer Zeit wird in der Fachliteratur intensiv über die Nachweisführung von Bauablaufstörungen diskutiert. Dabei gibt es unterschiedliche Auffassungen unter den Autor*innen, wie ein solcher Nachweis zu erbringen ist. Zudem gibt es einige Gerichtsurteile, die die Erfordernisse an die Nachweisführung spezifizieren. Die nachfolgend angeführten Kapitel haben zum Ziel, die Anforderungen an die Nachweisführung von Bauablaufstörungen zu untersuchen und dabei Probleme und Schwachstellen in der aktuellen Dokumentation zu identifizieren.

Im Zuge der Fortschritte im Bauablauf treten regelmäßig Störungen auf, die oft zu Konflikten zwischen AG und AN führen. Zu diesem Zeitpunkt erkennen die Projektbeteiligten spätestens die Bedeutung der Dokumentation des Baufortschritts. Für die Geltendmachung von Mehrkostenforderungen ist es wichtig die auftretende Störung und die dadurch verursachten Auswirkungen genauestens zu dokumentieren. Hierbei spielt der Begriff Kausalität eine entscheidende Rolle.

Kausalität beschreibt den Zusammenhang zwischen einer Ursache und der dadurch erzeugten Auswirkung.⁸⁵ Um Mehrkosten infolge von Bauablaufstörungen geltend zu machen muss dieser Zusammenhang in der Nachweisführung ersichtlich sein, da es ohne diesen Kausalitätsnachweis nicht möglich ist eindeutig den Grund für die Störung und den dadurch verursachten Schaden miteinander zu verknüpfen. Durch diesen Zusammenhang kann außerdem genau ermittelt werden aus welcher Sphäre die Störung und die dadurch verursachten Auswirkungen stammen. Die einzelnen Sphären wurden bereits im Abschnitt 4.4 näher erläutert.

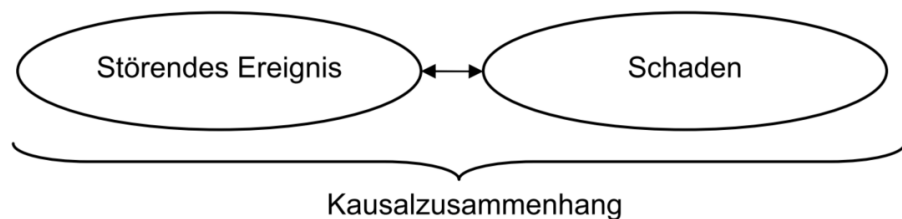


Abbildung 4.6 Kausalität⁸⁶

⁸⁵ Vgl. ZANNER, C; SAALBACH, B; VIERING, M.: Rechte aus gestörten Bauablauf nach Ansprüchen. S. 65.

⁸⁶ ZANNER, C; SAALBACH, B; VIERING, M.: Rechte aus gestörten Bauablauf nach Ansprüchen. S. 66.

Frühwirth/Seebacher sehen hierbei starke Defizite in den derzeitigen Nachweisen. Häufig ist der kausale Zusammenhang zwischen der Störung und der dadurch verursachten Auswirkung unzureichend oder fehlt gänzlich.⁸⁷ Der Grund liegt hierbei nicht in den Nachweisen selbst sondern bereits in der Dokumentation der Baustellengeschehnisse. Durch eine mangelhafte Dokumentation ist es im Nachhinein fast unmöglich Bauabläufe detailliert zu rekonstruieren und Abweichungen gegenüber des geplanten Bauablaufes einer bestimmten Störung zuzuordnen. Häufig kommt es durch diese Unklarheiten zu Konflikten zwischen dem AG und dem AN welche teilweise auch vor Gericht landen.

Zu diesen Gerichtsurteilen gibt es in Österreich nur sehr wenige Rechtsprechungen. Jedoch gibt es in Deutschland einige Urteile des BGH. Diese beschreiben, welche Anforderungen es an die Nachweisführung gibt, um seine Forderungen vor Gericht durchzusetzen. Nachfolgend werden zwei dieser Urteile dargestellt und analysiert.

„Ist ein Auftragnehmer mangels einer ausreichenden Dokumentation der Behinderungstatbestände und der sich daraus ergebenden Verzögerungen zu einer den Anforderungen entsprechenden Darstellung nicht in der Lage, geht das grundsätzlich nicht zu Lasten des Auftraggebers.“⁸⁸

„Zur Darstellung eines Verzögerungsschadens nach § 6 Nr. 6 VOB/B und § 642 BGB genügt die Darlegung der Verzögerung allein nicht. Vielmehr ist unumgänglich eine konkrete bauablaufbezogene Darstellung der Behinderungen und der Schadensauswirkungen auf den bauausführenden Betrieb.“⁸⁹

Aus den oben angeführten Urteilen ist zu erkennen, dass die Ansprüche des Gerichts an die Dokumentation sehr hoch sind. Eine ausführliche Dokumentation und Darstellung des Bauablaufs ist deshalb essenziell, um eine ausreichende Beweislast vor Gericht zur Verfügung zu haben. Falls die präsentierten Beweismittel nicht hinreichend sind weist das Gericht die Forderung zurück. Im BGH-Urteil vom 24.02.2005 (VII ZR 141/03) verlangte die Rechtsprechung eine adäquat kausale Nachweisführung. Der Begriff adäquat bedeutet hierbei, dass die Nachweisführung nach den baubetrieblichen Möglichkeiten angemessen durchzuführen ist.

Wanninger leitet aus den gerichtlichen Urteilen und der Fachliteratur folgende Anforderungen an die Nachweisführung ab:

- möglichst konkrete Darlegung;
- Darstellung der IST- und SOLL-Abläufe notwendig;
- graphische Darstellung als Balken- oder Netzpläne;

⁸⁷ Vgl. FRÜHWIRTH, M; SEEBACHER, G.: Die erforderliche Anspruchskonkretisierung von Mehrkostenforderungen aus baubetriebswirtschaftlicher und rechtlicher Sicht. In: bauaktuell 2017, S. 190.

⁸⁸ BGH-Urteil (BGH VII ZR 225/03) vom 24.02.2005

⁸⁹ Urteil 17 U 56/00 des OLG Hamm vom 12.02.2004

- Balken- oder Netzpläne sind ggf. zu erläutern;
- einzelne Unklarheiten oder Fehler führen nicht zur Unschlüssigkeit;
- eine nachvollziehbare Darstellung ist geeignete Grundlage für eine Schätzung
- jede einzelne Behinderung ist gesondert zu prüfen und eigenständig zu beurteilen;
- behinderungsmindernde oder eliminierende Einflüsse sind zu berücksichtigen;
- mögliche Umstellungen des Bauablaufs sind zu berücksichtigen.⁹⁰

Es ist wichtig, dass die Anforderungen an die Nachweisführung dem Ersteller der Dokumentation bereits vor Anfertigung der Dokumentationsunterlagen bewusst sind, um die Protokollierung der Baustellengeschehnisse an diese Anforderungen anzupassen. Ist die Protokollierung nicht ausreichend kann dies dazu führen, dass berechnete Mehrkostenforderungen nicht geltend gemacht werden können.

4.9 Vorgehensweise bei der Nachweisführung

In der Fachliteratur herrscht Uneinigkeit darüber, welcher Ansatz zur Führung eines Nachweises hinsichtlich von Bauablaufstörungen angemessen ist. Hierbei geht es vor allem um die Genauigkeit der Nachweisführung. *Karasek/Heck/Heilfort* sind der Meinung, dass die zeitlichen und monetären Auswirkungen bei größeren Bauvorhaben nicht den einzelnen Störungen genau zugeordnet werden können. Hingegen sehen *Kodek/Schubert* einen Einzelnachweis bzw. eine detaillierte Betrachtung von Bauablaufstörungen als zwingend erforderlich um Mehrkostenforderungen vor Gericht geltend zu machen. Um einen Überblick über die einzelnen Schritte der Nachweisführung zu erhalten, werden diese nachfolgend näher erläutert. Hierbei wurde die Vorgehensweise nach *Kumplehn* herangezogen.

4.9.1 Analyse der Vertragsbestimmungen

Als ersten Schritt bei der Nachweisführung von Bauablaufstörungen werden die Vertragsbedingungen zwischen AG und AN analysiert. In diesem Zusammenhang erfolgt eine Analyse der individuellen Vertragskomponenten hinsichtlich der im Vertrag festgelegten Fristen und Preise.⁹¹ Zusätzlich wird betrachtet, ob es sich um einen Vertrag nach ABGB oder nach ÖNORM B 2110 bzw. B 2118 handelt. Dies ist wichtig, um später die

⁹⁰ Vgl. WANNINGER, R.: Die Frage der Methode - Anspruch versus Realität. In: Die "bauablaufbezogene Untersuchung" als Maß der Dinge. S. 148.

⁹¹ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 2.

einzelnen Störungsursachen den richtigen Sphären zuzuordnen. Die Analyse der Vertragsbestimmungen bildet die Grundlage für die weitere Bearbeitung der Mehrkosten aufgrund der eingetretenen Störung.

Häufig ist bei der Untersuchung der Vertragsbedingungen jedoch zu erkennen, dass wichtige Punkte für die Nachweisführung nicht eindeutig im Bauvertrag geregelt sind.⁹² Diese Tatsache erschwert dem Nachweisführenden in besonderem Maße die Ermittlung der genauen Sphärenzuordnung.

4.9.2 Identifikation der Störung und dessen Ursache

Ein wichtiges Dokumentationsmittel, um Bauablaufstörungen zu identifizieren ist der Terminplan. Hierbei gibt es verschiedene Vorgehensweisen zur Erstellung des Terminplans. Das SOLL wird meist vom AG in Form eines Rahmenterminplans vorgegeben. Anhand dieser Vorgabe erstellt dann der AN einen Detailterminplan, in dem die Dauern der Tätigkeiten auf der Baustelle mit sinnvollen baupraktischen Werten ermittelt und miteinander verknüpft werden.⁹³ Um die Dauern ermitteln zu können ist es erforderlich die Menge, die Anzahl der Arbeitskräfte und den Aufwandswert der Tätigkeit zu kennen. Um in weiterer Folge einen Vergleich zwischen dem SOLL-Terminplan und den tatsächlichen Ausführungsgeschehen zu erreichen wird während der Ausführung in kontinuierlichen Abständen ein IST-Terminplan erstellt. Dieser wird auf Basis der Dokumentation während der Baudurchführung erstellt. Häufig werden hierfür die Bautagesberichte herangezogen, aber auch andere der in Kapitel 5 beschriebenen Dokumentationsmittel können für die Rekonstruktion der Baustellen geschehnisse herangezogen werden. Eine Möglichkeit hierbei wären Besprechungsprotokolle. Diese Protokolle bieten eine gute Möglichkeit, um den IST-Zustand der Baustelle zu protokollieren und die dadurch erhobenen Daten in den IST-Terminplan zu implementieren. Durch Gegenüberstellung des SOLL- und IST-Terminplans werden die zeitlichen Auswirkungen durch die Störungen sichtbar. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass die Terminpläne korrekt erstellt wurden.

Wichtig ist hierbei auch, dass die einzelnen Tätigkeiten im Terminplan nicht zu unpräzise dargestellt werden. So ist es z.B. nicht ratsam die Tätigkeiten schalen, bewehren und betonieren zu der Tätigkeit Stahlbetonarbeiten zusammenzufassen, da es möglich ist, dass Störungseinflüsse nur einen dieser Vorgänge betreffen. Dadurch wird es in weiterer Folge schwieriger die Störung der genauen Leistung zuzuordnen.

Die Ursache der Störung wird häufig durch ein konkretes Ereignis ausgelöst. Verspäte Planlieferungen oder der Ausfall des Krans sind Ereignisse,

⁹² Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 12.

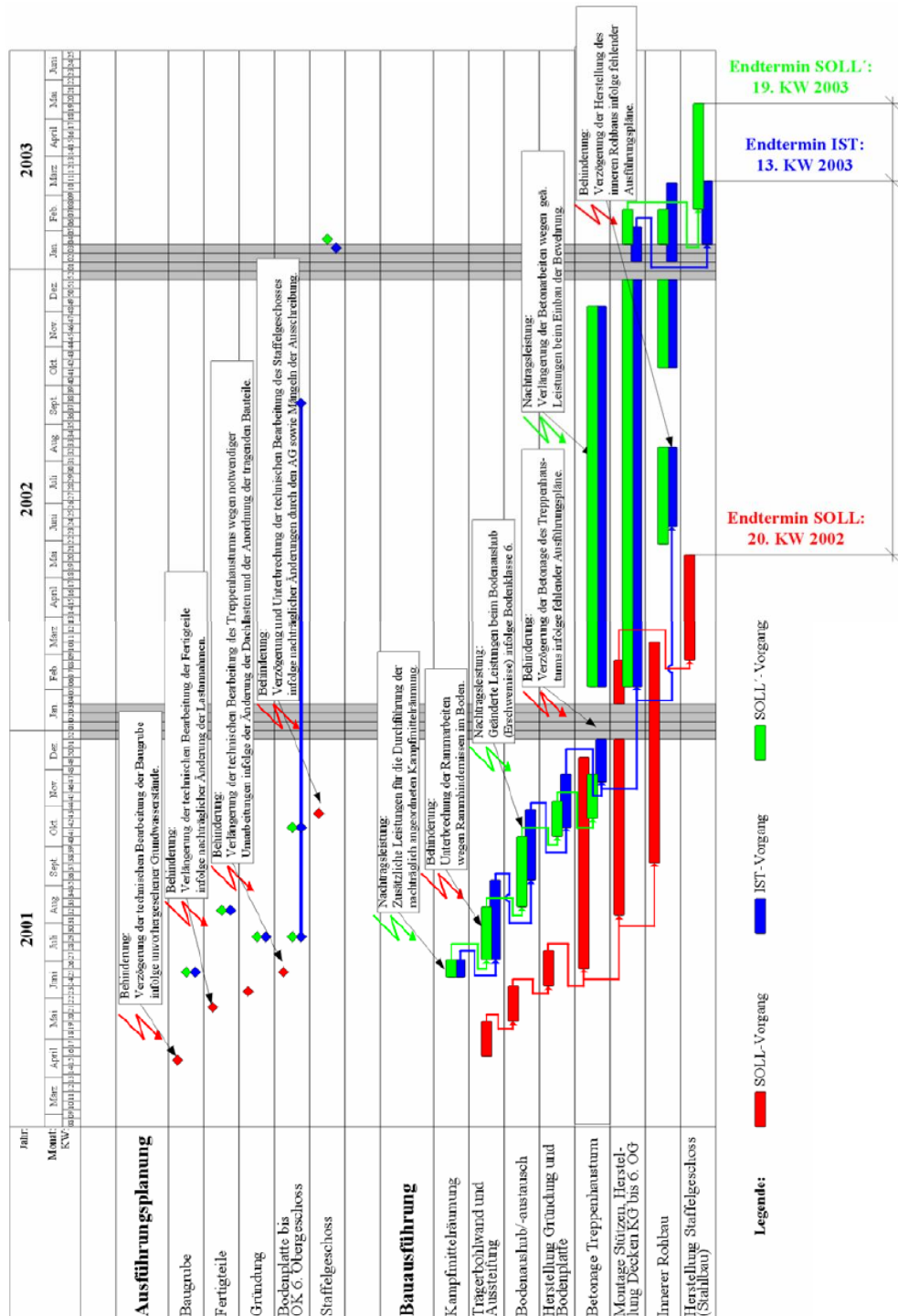
⁹³ Vgl. GARY, J.: Nachweisführung von Ursachen, Folgen und Auswirkungen von Bauablaufstörungen am Beispiel des Hochbaus. S. 20.

die relativ leicht nachgewiesen werden können. Schwieriger wird es, wenn mehrere Störungen gleichzeitig auf der Baustelle eintreten. Hierbei ist es oft schwer die Auswirkungen der Störungen der richtigen Störungsursache zuzuordnen.

4.9.3 Ermittlung der zeitlichen Auswirkungen und Zuordnung der Störung zur jeweiligen Sphäre

Um die zeitliche Auswirkung der spezifischen Störung zu ermitteln, wird in weiterer Folge aus dem SOLL-Terminplan ein SOLL'-Terminplan angefertigt. Darunter wird ein störungsmodifizierter Ablaufplan verstanden, der alle Störungen, die bereits aufgetreten sind, mitberücksichtigt. Durch die Gegenüberstellung des SOLL'-Terminplans mit dem IST-Terminplan können die zeitlichen Auswirkungen der Störungen veranschaulicht werden. Häufig werden in der Praxis hierbei SOLL, SOLL' und IST Terminplan gegenübergestellt, um alle Störungen und auch die spezifische Störung darzustellen.⁹⁴

⁹⁴ Vgl. AHTING, S.: Nachtragsmanagement bei gestörten Bauabläufen. S. 35.


 Abbildung 4.7 SOLL-, SOLL', IST-Vergleich⁹⁵
⁹⁵ KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S.9.

Durch diese Gegenüberstellung der verschiedenen Terminpläne kann außerdem bewiesen werden, dass es zu keinem Verschulden des AN aufgrund von unzureichender Disposition der elementaren Produktionsfaktoren gekommen ist. Es kann unter anderem bewiesen werden, dass es dem AN nicht möglich war andere Tätigkeiten im Bauablauf vorzuziehen oder, dass Personal und Geräte in anderen Tätigkeitsbereichen sinnvoll einzusetzen.

Die jeweilige Sphärenzuordnung des AG und des AN wurde im Abschnitt 4.4 schon näher beschrieben. Wichtig ist es hierbei den Bauvertrag genau zu analysieren. Um die Zuordnung der Sphären in der Praxis umzusetzen, bietet sich das Erstellen einer Tabelle an. In dieser Tabelle wird die Art der Störung, der Vorgang, der dadurch gestört wurde, die durch die Störung verursachte Auswirkung und die Zuständigkeit bzw. Sphäre der Störung festgehalten.

Nr.	Art der Störung	betroffener Vorgang	Auswirkung	Verantwortungsbereich
1	Behinderung des AN wegen fehlender Baugenehmigung (BEH 001)	Alle Rohbauarbeiten	Verschiebung um 2 AT vom 10.0. auf 12.01.	AG
2	Verzug des AN wegen verspätetem Baubeginn	Aushub Baugrube	Verschiebung des Vorgangs um 3 AT vom 10.01. auf 13.01.	AN
3	Zusätzliche Leistung für Beseitigung von kontaminierten Boden (NA 001)	Aushub Baugrube	Verlängerung des Vorgangs um 4 AT vom 16.01. auf 22.01.	AG
4	Unterbrechung wegen historischen Funden im Baufeld (BEH 002)	Aushub Baugrube	Unterbrechung des Vorgangs um 10 AT vom 04.02. bis 18.02.	AG
5	Verzug des AN wegen fehlender Planunterlagen	Alle Stahlbetonarbeiten (Insb. Fundamente)	Verschiebung der Vorgänge um 5 AT vom 15.02. auf den 22.02.	AN
6	Geänderte Leistung wegen Änderung der Gründungabmessung (NA 002)	Herstellung Fundamente	Verlängerung des Vorgangs um 2 AT	AG

Tabelle 4.1 Zuordnung der Auswirkung und Sphäre der Störung⁹⁶

4.9.4 Berechnung der monetären Auswirkungen

Nachdem die zeitlichen Auswirkungen durch den Terminplan genau nachgewiesen wurden, müssen als nächsten Schritt die Kosten der Störung ermittelt werden. Dazu wird eine Differenz zwischen den geplanten Kosten

⁹⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an: KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 5.

und den tatsächlichen Kosten gebildet. Mehrkosten durch Bauablaufstörungen können laut *Kumlehn* in folgenden Bereichen entstehen:

- zusätzliche Lohnstunden beim Personal
- längere Vorhaltung der Baustelleneinrichtung
- Produktivitätsminderungen durch Verschiebung der Bauleistung in eine ungünstigere Jahreszeit
- erhöhte Kosten durch das Zwischenlagern von Material
- Zusätzliche Arbeitsvorbereitung
- Mehrkosten aufgrund von Beschleunigungsmaßnahmen
- längere Vorhaltung von Baugeräten⁹⁷

Für die Geltendmachung der Mehrkosten ist es wichtig zu beweisen welche Geräte und welches Personal durch die Störung beeinflusst wurde. Darin besteht jedoch eine große Herausforderung, weil der Bautagesbericht auf gegenwärtigen Baustellen (siehe Abschnitt 5.1) das Personal und die Geräte nicht ihren genauen Tätigkeitsbereichen zuordnet.

4.10 Nachweisarten

Hinsichtlich der Nachweisarten wird in der Fachliteratur zwischen zwei Varianten unterschieden. Einerseits die Globalbetrachtung, wo Nachweise anhand von globalen Kennwerten geführt werden und andererseits der Einzelnachweis, bei dem die einzelnen Störungen isoliert voneinander betrachtet werden.

Hierbei gibt es keine Einigung, welche dieser Nachweise am besten geführt werden soll. Es gibt einerseits den Blickwinkel aus Sicht der Bauwirtschaft dem der baujuristische Blickwinkel gegenübersteht. Die Expert*innen der Bauwirtschaft sehen einen Einzelnachweis in der Praxis als nicht immer gänzlich durchführbar und betonen hierbei den enormen Aufwand einer solchen Nachweisführung. Hingegen sehen die Baujuristen es als zwingend erforderlich einen detaillierten Nachweis der einzelnen Störungen durchzuführen, um so den gerichtlich geforderten adäquat kausalen Nachweis zu erzielen.⁹⁸

In den nachfolgenden Abschnitten werden die zwei verschiedenen Nachweisverfahren näher beschrieben und ihre Vor- und Nachteile erörtert. Es ist anzumerken, dass sowohl der Einzelnachweis als auch der Globalnachweis nicht gesetzlich geregelt sind. Dies ist vermutlich auch der

⁹⁷ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 10.

⁹⁸ Vgl. HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global? S. 10.

Grund, wieso es so viele Synonyme zu diesen Begriffen gibt.⁹⁹ Sie stellen beide ein Verfahren dar, um Störungen auf der Baustelle nachzuweisen und in weiterer Folge Forderungen gegenüber der gegenüberliegenden Vertragspartei geltend zu machen. Es erfolgt keine rechtliche Beurteilung durch den Autor.

4.11 Einzelnachweis

Als Erstes wird der Einzelnachweis näher beschrieben. Um eine Ausgangslage für die weitere Beschreibung zu haben, wird die Definition nach *Stempkowski/Wallner-Kleindienst/Wiesner* herangezogen. Sie definieren den Einzelnachweis bzw. Detailnachweis wie folgt:

„Beim Detailnachweis wird das Ausmaß jeder Störung im Detail auf Basis der vorhandenen Dokumentation hergeleitet.“¹⁰⁰

Wie aus der Definition hervorgeht, werden beim Einzelnachweis die einzelnen Störungen separat voneinander betrachtet. Die Bewertung des Ausmaßes der Störung erfolgt hierbei isoliert. Als mögliche Abgrenzung können einzelne Gewerke oder Fertigungsabschnitte dienen. Dies ist jedoch je nach der Größe und Komplexität des Bauvorhabens festzulegen.

Die Auswirkungen der Störungen können in weiterer Folge in Terminplänen untersucht werden.¹⁰¹ Die Basis einer solchen Nachweisführung liefert eine detaillierte Dokumentation. Ohne die detaillierte Protokollierung der Baustellengeschehnisse sind Einzelnachweise nicht umsetzbar, da eine detaillierte Rekonstruktion des Ausmaßes der Störung nicht möglich ist ohne genaue Informationen über den Bauablauf bereits während der Baudurchführung zu erheben.

Bei der Durchführung des Einzelnachweises werden zuerst die einzelnen Störungen in den SOLL-Terminplan eingetragen (siehe Abschnitt 4.9) und darauffolgend werden für die einzelnen Störungen die genauen Kosten ermittelt. Hierbei ist es wichtig zu wissen, welche Produktionsfaktoren von der Störung betroffen waren. Durch die Methodik des Einzelnachweises sind jeder Störung genau ihre zeitlichen und monetären Auswirkungen zuzuordnen und infolgedessen kann der gerichtlich geforderte adäquat kausale Nachweis mit dieser Methodik erreicht werden, jedoch gibt es auch Probleme bei der Nachweisführung mittels Einzelnachweises.

⁹⁹ In der Literatur gibt es verschiedenste Begriffe für den Einzelnachweis und den Globalnachweis. Die Begriffe Detailbetrachtung, Einzelbehinderungsnachweis, Detailnachweis, Einzelstörungsbetrachtung, globale Nachweisführung sind hierbei als Synonyme zu den in der Arbeit erläuterten Begriffen anzusehen.

¹⁰⁰ Vgl. POCHMARSKI, K.: Ist in Österreich ein Einzelnachweis erforderlich?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkostenforderungen – Wo liegen die Grenzen?. S. 102.

¹⁰¹ Vgl. HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global? S. 19.

4.12 Probleme Einzelnachweis

Einer der größten Kritikpunkte an der Führung von Einzelnachweisen ist der hohe Bearbeitungsaufwand in der Dokumentation.¹⁰² Durch die in Kapitel 5 beschriebenen aktuellen Dokumentationsmittel ist eine solch detailreiche Dokumentation nur mit sehr hohem Aufwand durchführbar. Außerdem ist es oft schwierig die Auswirkungen einzelner Störungen voneinander zu entzerren.

Karasek stellt folgende Forderung an die Dokumentation für den Einzelnachweis auf:

„Es ist notwendig festzuhalten, welcher Arbeiter an welchem Tag in welchem Bauteil behindert war, wohin er umgesetzt wurde und an welchem Tag er wieder am betroffenen Bauteil arbeiten konnte.“¹⁰³ Diese Forderung müsste für alle elementaren Produktionsfaktoren erfüllt werden, um eine genaue Rekonstruktion des Ressourceneinsatzes zu erreichen.

Hofstadler/Kummer sehen im ununterbrochenen Monitoring eine Möglichkeit für eine lückenlose Dokumentation während der Baudurchführung, um die Anforderungen *Karaseks* zu erfüllen. Diese Variante ist jedoch bei sozio-technischen und sozialen Systemen aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht uneingeschränkt erlaubt.¹⁰⁴

Des Weiteren können Störungseignisse wie im Abschnitt 4.3 beschrieben auch sekundäre Bauablaufstörungen herbeirufen. Wie genau mit Sekundärfolgen umgegangen werden kann ist in der Fachliteratur nicht eindeutig geklärt.¹⁰⁵ Mögliche Sekundärfolgen können hierbei die Verschiebung des Bauablaufes in eine ungünstigere Jahreszeit oder verursachte Mehraufwände in der Bearbeitung der Störung durch Besprechungen und Umdispositionen sein.

Ein weiteres Problem, was sich aus der Erstellung von Einzelnachweisen ergibt sind Kumulierungs- bzw. Aggregationswirkungen durch gleichzeitig auftretende Bauablaufstörungen. Durch das Zusammenwirken mehrerer Bauablaufstörungen zum selben Zeitpunkt ist es schwierig die einzelnen Auswirkungen der verschiedenen Störungen zuzuordnen.¹⁰⁶

Greune hat durch seine Forschung herausgefunden, dass Bauablaufstörungen i.d.R nicht durch einen einzelnen Auslöser verursacht werden, sondern oft durch eine Vielzahl von gleichzeitig auftretenden Störungen,

¹⁰² Vgl. HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global? S. 10.

¹⁰³ KARASEK, G.: Beweispflichten und Dokumentation bei Behinderung. In: Tagungsband zum 8. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Das Anordnungsrecht des Auftraggebers. S. 114.

¹⁰⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: KUMMER, M.: Einsatz und Wirksamkeit von SOLL-SOLLTE-IST Vergleichen. In: Tagungsband zum 20. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Arten von Leistungsabweichungen und Methoden der Nachweisführung. S. 41.

¹⁰⁵ Vgl. SPANG, K.: Fristverlängerungen infolge von Bauablaufstörungen. S. 57.

¹⁰⁶ Vgl. HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global? S. 21.

die er als multiple Bauablaufstörungen bezeichnet.¹⁰⁷ Bei multiplen Bauablaufstörungen wirken zwei oder mehrere Störungen gleichzeitig auf den Bauablauf ein. Diese können sich sowohl zeitlich als auch örtlich überlappen. Dadurch können Störungen ineinander verwoben sein und sich gegenseitig verstärken oder abschwächen. Die dadurch erzeugten Kumulierungswirkungen machen es schwer bis gar unmöglich die Auswirkungen genau den Störungsursachen zuzuordnen.

Ein Beispiel für das gleichzeitige Auftreten von zwei Bauablaufstörungen und die Schwierigkeit, ihre jeweiligen Auswirkungen zuzuordnen, ist der Fall von starkem Regen und einem Materialmangel verschuldet durch eine verspätete Bestellung des AN. Durch den Regen kann es zu Produktivitätsverlusten oder einer Unterbrechung in einzelnen Gewerken kommen. Zusätzlich kann durch den Materialmangel das Gewerk nicht vollständig ausgeführt werden. Wie hoch die Einflüsse auf die Verzögerung durch die beiden Störeinflüsse sind, ist hier sehr schwierig zu ermitteln. Aufgrund der Sphärenverteilung im Bauvertrag ist es jedoch zwingend notwendig die Auswirkungen den einzelnen Sphären zuzuordnen. Ein Zusammenfassen der Störungen ist in dem beschriebenen Fall nicht möglich, weil die Störfaktoren aus unterschiedlichen Sphären stammen. Noch schwieriger wird es, wenn mehr als zwei Störungen zeitlich und örtlich überlappend auftreten.

Die Abbildung 4.8 soll hierbei den Effekt noch einmal bildlich darstellen, um ein besseres Verständnis für die Komplexität von ineinander verwobenen Bauablaufstörungen zu erlangen.

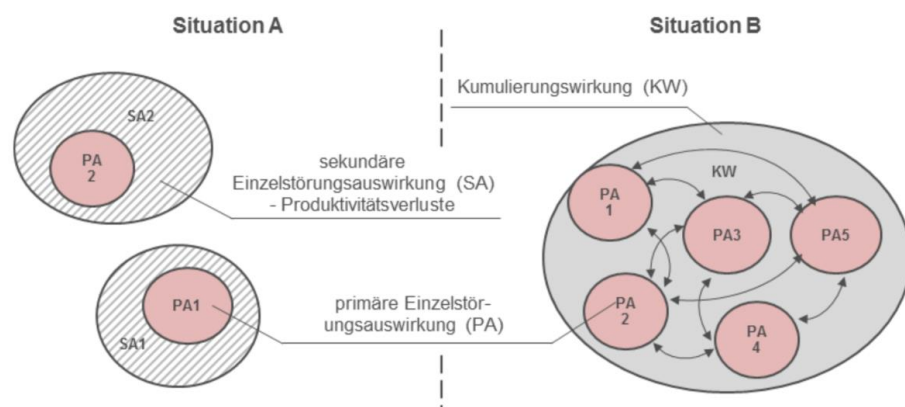


Abbildung 4.8 Kumulierungswirkung von Bauablaufstörungen¹⁰⁸

Zusammenfassend liegen die maßgeblichen Probleme des Einzelnachweises im hohen Dokumentationsaufwand und in der Schwierigkeit der

¹⁰⁷ Vgl. GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von Produktivitätsminderungen bei multiplen Bauablaufstörungen. Schriftreihe Heft 55. S. 157.

¹⁰⁸ HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global? S. 22.

Zuordnung der zeitlichen und monetären Auswirkungen zu den Störungsauslösern im Falle von Kumulierungswirkungen. Deshalb sehen *Karasek/Heck/Heilfort* die Einzelnachweise kritisch und in der Praxis als nicht gänzlich umsetzbar an. *Karasek* ist der Meinung, dass der Nachweis von Störungen und deren Auswirkungen mit dem Globalnachweis eine bessere Option ist.

4.13 Globalnachweis

Der Globalnachweis erfolgt durch den Vergleich von globalen Kennzahlen. Im Vergleich zum Einzelnachweis wird hierbei nicht auf die einzelnen Störungseignisse näher eingegangen und nur der geplante Zustand mit dem tatsächlich vorliegenden Zustand verglichen umso die Störungseinflüsse und Produktivitätsverluste ganzheitlich zu ermitteln.¹⁰⁹

Folgende globalen Kennzahlen können für den Globalnachweis herangezogen werden:¹¹⁰

- Auftragssumme
- Mittlere Anzahl an Arbeitskräften über die Bauzeit
- Summe Lohnstunden
- Summe Gerätekosten
- Summe Materialkosten

Die erwähnten Kennzahlen können sowohl für die gesamte Bauzeit als für einen Betrachtungszeitraum (z.B ein Monat oder ein Quartal) angewendet werden. Um das Ausmaß der Störungen in weiterer Folge zu ermitteln werden SOLLTE-IST Vergleiche über einen zuvor festgelegten Zeitraum durchgeführt.

Globalbetrachtungen haben gegenüber dem Einzelnachweis den Vorteil, dass diese rascher durchführbar sind. Außerdem können auf Basis der erhobenen Kennzahlen die zusätzlich entstandenen Kosten durch Störungen schneller abgeschätzt werden.¹¹¹ Somit stellen Globalnachweise vor allem bei komplexen Störungsverhältnissen eine Alternative zu den sehr zeitintensiven Einzelnachweisen dar.

Durch den geringeren Bearbeitungsaufwand des Nachweises ist es möglich schnell ein Gefühl für das Störungsausmaß zu entwickeln. Zusätzlich

¹⁰⁹ Vgl. MÜLLER, K.; STEMPKOWSKI, R.: Handbuch Claim-Management. S. 426f.; Vgl. KARASEK, G.; HECK, D.: Der gestörte Bauablauf - eine rechtliche und wirtschaftliche Betrachtung. In: Tagungsband zum 6. Grazer Baubetriebs- und Baurechtssseminar: Mehrkostenforderungen am Bau - Kraut und Rüben?!. S. 26.

¹¹⁰ Vgl. Stempkowski/Wallner-Kleindienst/Wiesner in MÜLLER, K.; STEMPKOWSKI, R.: Handbuch Claim-Management. S. 443.

¹¹¹ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Bauwirtschaftliche Nachweisführung. In: Festschrift. S. 800.

bietet es die Möglichkeit die Plausibilität des Einzelnachweises einer Störung zusätzlich zu untermauern.¹¹² Jedoch ist in dieser Betrachtungsweise immer eine große Unschärfe vorhanden die bei der Geltendmachung von Mehrkostenforderungen zu Problemen führen kann.

4.14 Probleme Globalnachweis

Die Probleme des Globalnachweises liegen vor allem in der gerichtlichen Beweisbarkeit, da diese Art des Nachweises die Störungsursache nicht im Detail mit der Störungsauswirkung verknüpft und dadurch die gerichtlich geforderte kausale Nachweisführung nicht hinreichende erfüllt.

Durch die globale Betrachtung können des Weiteren die Störungsauswirkungen nicht den Sphären des Auftraggebers bzw. Auftragnehmers zugeordnet werden, da nicht ermittelt wurde welche Störung welche Auswirkung erzeugt hat. Darum wird diese Art der Nachweisführung aufgrund mangelnder Zuverlässigkeit und Genauigkeit kritisiert.¹¹³

Globalbetrachtungen können nur dann zu korrekten Aussagen führen, wenn die Bedingungen für die Abweichungen in der Leistungserbringung während des gesamten Betrachtungszeitraums oder über alle Bauteile hinweg annähernd ähnlich sind.¹¹⁴ Dieser spezielle Sachverhalt ist häufig nicht anzutreffen und unterliegt zudem einer schwierigen Nachweisbarkeit, falls er tatsächlich eintritt.

Aufgrund dieser Unschärfe des Nachweisverfahrens wird in Baurechtsdiskussionen die Globalbetrachtung mittlerweile als obsolet angesehen.¹¹⁵

4.15 Zusammenfassung

Aus den Erkenntnissen der oberen Abschnitte stellt sich nun die Frage, was die richtige Herangehensweise für die Nachweisführung von Bauablaufstörungen ist. Sowohl der Einzelnachweis als auch der Globalnachweis führen zu Problemen in der Nachweisführung von Bauablaufstörungen. Die Schwierigkeiten des Einzelnachweises liegen vor allem im hohen Dokumentationsaufwand. Hingegen liegt das Problem des Globalnachweises in der Zuordnung der Störungsauswirkung und der gerichtlichen Beweisbarkeit. Deshalb liegt die Bauwirtschaft in diesem Thema derzeit in einem Dilemma, für welches es noch keine zufriedenstellende Lösung gibt.

¹¹² Vgl. MÜLLER, K.; STEMPKOWSKI, R.: Handbuch Claim-Management. S. 427.

¹¹³ Vgl. OBERNDORFER, W.: Claimmanagement Teil 1. S. 122.

¹¹⁴ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Bauwirtschaftliche Nachweisführung. In: Festschrift. S. 801.

¹¹⁵ Vgl. HOFSTADLER, H.: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 456.

Stempkowski betont hierbei die Wichtigkeit nicht in „Schubladen“ zu denken. Er sieht in der Kombination aus Einzelnachweis und Globalbetrachtung eine Möglichkeit, um fundierte Bewertungen bei Bauablaufstörungen durchzuführen.¹¹⁶ Die Methode, bei der die beiden Nachweise kombiniert werden, wird in der Fachliteratur unter dem Begriff repräsentativer Einzelnachweis geführt. Im ersten Schritt erfolgt hierbei die Ermittlung repräsentativer Einzelnachweise für bestimmte Störungen. Im darauffolgenden Schritt können die für einen begrenzten Bereich aufgezeigten spezifischen Behinderungen auf den gesamten betroffenen Bereich hochgerechnet werden. Voraussetzung ist für diese Methode jedoch, dass die Einzelnachweise für die angewendete Periode und den angewendeten Bereich repräsentativ sind.¹¹⁷ Diese Vorgehensweise verlangt jedoch trotzdem das detaillierte Führen von Einzelnachweisen, was wiederum einen hohen Dokumentationsaufwand verlangt.

Zusätzlich steigen die Anforderungen an die Nachweisführung seitens der Baujuristen immer weiter. Diese Entwicklung wird von den Baubetrieblern immer kritischer hinterfragt, da die Anforderungen mit den derzeitigen baubetrieblichen Dokumentationsmöglichkeiten nur schwer umsetzbar sind.¹¹⁸ Die Ursachen dieser Probleme werden von *Dreier* wie folgt zusammengefasst:

- *„hohe Anzahl von Störungseinflüssen,*
- *häufige Parallelwirkung von Störungseinflüssen,*
- *komplexe Bauabläufe, insbesondere in den Ausbaugewerken,*
- *die Abgrenzung von Vergütungs- und Schadensersatzansprüchen ist häufig nicht möglich,*
- *tiefgreifend geänderter Bauablauf, der dazu führt, dass der eingetretene Ist-Ablauf mit dem geplanten Soll-Ablauf nicht mehr vergleichbar ist,*
- *Überschneidung von auftraggeber- und auftragnehmerseitigen Einflüssen,*
- *teilweise fehlende Abgrenzung hinsichtlich der konkreten Folgen auf den Bauablauf,*
- *der detaillierte (vorgangs- und abschnittsbezogene) Nachweis von Soll- und Ist-Werten ist nur bedingt möglich*

¹¹⁶ Vgl. STEMPKOWSKI, R.: Bauwirtschaftliche Nachweisführung. In: Festschrift. S. 801.

¹¹⁷ Vgl. KODEK, G.: Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag- Anspruchsvoraussetzungen und Nachweisführung In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global?. S. 82.

¹¹⁸ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 109.

- *baubegleitende Veränderung von Bauinhalten und Baumständen mit der Folge, dass zwischen Soll- und Ist-Zustand zunehmend Differenzen entstehen“¹¹⁹*

Der Autor ist deshalb der Meinung, dass die Dokumentation des Bauablaufes in Zukunft ausführlicher und zeitnaher erfasst werden muss, um eine bessere Beweisbarkeit und Nachvollziehbarkeit zu erreichen. Dies muss jedoch unter der Bedingung erfolgen, dass die Kosten für die Dokumentation nicht ins Unermessliche steigen. Es ist deshalb nicht zielführend die manuelle Dokumentation noch stärker zu intensivieren und dadurch die bereits ohnehin unter Zeitdruck stehenden Arbeitskräfte noch stärker zu belasten. Deshalb müssen Wege gefunden werden, die es ermöglichen, die Dokumentation zu verbessern, ohne den Arbeitsaufwand bei der Erstellung dieser zu erhöhen. Der Autor sieht hierbei ein enormes Potenzial in der Digitalisierung der Baustellendokumentation. Durch die Digitalisierung und Automatisierung der Dokumentation kann sowohl die Genauigkeit der Protokollierung erhöht werden als auch das Baustellenpersonal durch den Wegfall von manuellen Eingaben entlastet werden. Zur Untermauerung dieser Behauptung werden im nachfolgenden Kapitel die Stärken und Schwächen der derzeit auf Baustellen gängigen Dokumentationsmittel detailliert erläutert und im darauffolgenden Kapitel die Chancen durch neue Technologien im Bereich der Dokumentation analysiert, um das ungenutzte Potenzial in der Baustellendokumentation durch neue Technologien und Innovationen darzulegen.

¹¹⁹ DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 109.

5 Aktuelle Dokumentationsmittel

Die Verwendung von Dokumentationsmitteln auf Baustellen ist unerlässlich, um den Fortschritt und die Qualität von Bauprojekten zu überwachen und aufzuzeichnen. Es gibt hierbei die unterschiedlichsten Arten von Dokumentationsmitteln, wobei i. d. R. auf Baustellen eine Summe dieser angewendet werden. Nachfolgend werden die derzeit auf Baustellen verwendeten Dokumentationstools genauer beschrieben und dabei sowohl die Stärken als auch Schwächen der einzelnen Dokumentationsmittel näher erläutert. Durch die Analyse der verschiedenen Dokumentationswerkzeuge werden die Probleme bei der derzeitigen Protokollierung der Baustellenereignisse untersucht, um für das weiterführende Kapitel 6 Verbesserungsmöglichkeiten durch neue Innovationen im Bereich der Baustellendokumentation zu identifizieren.

5.1 Bautagesberichte

Bautagesberichte zählen zu den gängigsten Dokumentationsmitteln während der Ausführungsphase und dokumentieren die Geschehnisse und Tatsachen während des Bauablaufs. Der Bautagesbericht wird vom ausführenden Unternehmen geführt und in regelmäßigen Abständen dem Auftraggeber übermittelt. Im Bericht werden die Einflüsse auf die Leistungserstellung dokumentiert. Hierzu zählen unter anderem die Witterungsverhältnisse, Arbeiter- und Gerätestand, Materiallieferungen, Beschreibung der getätigten Leistungen, sowie etwaige Regieleistungen. Die Ausarbeitung des Bautagesberichts erfolgt für jeden Tag an dem auf der Baustelle gearbeitet wurde. Sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer unterschreiben den Bericht, um die Richtigkeit der Informationen zu garantieren.

Der Bericht sollte so verfasst werden, dass auch nach mehreren Monaten oder sogar Jahren das tatsächliche Baugeschehen noch rekonstruiert werden kann. Dies ist aufgrund von möglichen späteren gerichtlichen Auseinandersetzungen erforderlich, um eine ausreichende Beweiskraft durch die niedergeschriebenen Tatsachen zu erreichen.¹²⁰

Folgende Inhalte werden im Bautagesbericht dokumentiert:¹²¹

- Angabe des Berichterstatters
- Tagesberichtsnummer und Datum
- Witterungsverhältnisse
- Anzahl der Belegschaft

¹²⁰ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 129.

¹²¹ Vgl. KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Management. S. 387.

- Angabe der Nachunternehmer
- eingesetzte Großgeräte
- ausgeführte Arbeiten
- Stundenlohnarbeiten
- Behinderungen, Baustellenstillstände
- Anordnungen des Auftraggebers
- eingetroffene Planungsunterlagen
- Unterschrift des Berichterstatters (AN)
- Unterschrift des Vertragspartners (AG)

Bautagesberichte können entweder mittels eines Musterformulars auf Papier oder mithilfe digitaler Softwarelösungen geführt werden. In den nachfolgenden Abbildungen ist ein Musterformular für einen Bautagesbericht dargestellt.

Bautagesbericht

FIRMA:						BAUVORHABEN							
Sonnig	Bewölkt	SCHLECHT-WETTER		TEMPERATUR MIN. MAX.		KOSTENSTELLE				NR.:			
Regen	Schnee	Ja	NEIN							DATUM:			
ARBEITERSTAND		-	GERÄTESTAND		-								
ARBEITSZEIT:		VORMITTAG		NACHMITTAG		NACHT		GESAMTSTUNDEN					
		VON:	BIS:	VON:	BIS:	VON:	BIS:						
ARBEITSLEISTUNGEN REGIELEISTUNGEN SIND AUSSCHLIESSLICH IM REGIEBERICHT ZU VERMERKEN													
BESONDERE VORKOMMNISSE (ERSCHWERNISSE)													
PRÜFUNGEN													
REGIELEISTUNGEN		ANGEORDNET			DURCH GEFAHR IN VERZUG			REGIEBERICHT Nr.					
BAUBESUCH VON		AUFTRAGGEBER			SONSTIGE BESUCHER (STATIKER, etc.)								
		BEVOLLMÄCHT. VERTRETER											
AUFTRAGNEHMER:					ÖBA: BAUTAGESBERICHT ÜBERNOMMEN (allfällige Einsprüche ergehen binnen 14 Tagen)								
UNTERSCHRIFT DATUM					UNTERSCHRIFT DATUM								

Abbildung 5.1 Bautagesbericht Musterformular Seite 1

[illegible]

Abbildung 5.2 Bautagesbericht Musterformular Seite 2

Bei den Softwareprodukten für Bautagesberichte gibt es eine große Anzahl unterschiedlicher Anbieter auf dem Markt. Digitale Bautagesberichte haben den Vorteil, dass über mobile Endgeräte bereits während der Baustellenbegehung Eintragungen getätigt werden können. Außerdem erleichtern sie den Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten, da die Berichte von der gegenüberliegenden Vertragspartei jederzeit im Programm abrufbar sind. Eine Software, die hierbei häufig genutzt wird, ist die Bautagesbericht und Bautagebuch App von iTwo.

Abbildung 5.3 Digitales Bautagebuch iTWO¹²²

Diese Software bietet sich vor allem an, wenn auch die Kalkulation über iTWO vorgenommen wird. Dadurch können die verschiedensten Tätigkeiten in einer Softwarelösung abgewickelt werden und Schnittstellen zwischen den einzelnen Softwareprodukten werden so vermieden. Nachfolgend werden weitere Softwareprodukte aufgezählt, die für die Erstellung eines digitalen Bautagesberichtes genutzt werden können:

- 123erfasst
- planradar
- BMD
- Thinkproject

5.1.1 Stärken Bautagesberichte

Der Bautagesbericht bietet durch seine strukturierte Form mittels Musterformularen eine gute Möglichkeit einen schnellen Überblick über die Baustellensituation zu erhalten.¹²³ Die Berichte haben den Vorteil, dass sie leicht verständlich sind und die Informationen immer nach der gleichen Reihenfolge auflisten, was sie auch für Personen, die nicht stark in das Projekt involviert sind nachvollziehbarer macht.

Des Weiteren ist das Führen des Bautagesberichts meist im Bauvertrag durch die ÖNORM B 2110 vertraglich geregelt, welche hierbei klare „Spielregeln“ zwischen den beiden Vertragsparteien definiert. Es ist genau geregelt bis wann die Bautagesberichte spätestens dem AG zu übermitteln sind und bis zu welchem Zeitpunkt dieser Einspruch gegenüber den festgehaltenen Tatsachen einlegen darf. Durch diese Regelungen erhält der

¹²² <https://www.rib-software.com/loesungen/mobiles-baumanagement/bautagebuch>. Datum des Zugriffs: 02.04.2023.

¹²³ Vgl. DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. S. 129.

AG in regelmäßigen Abständen eine Beschreibung der Baustellengeschehnisse und kann sich ein persönliches Bild des aktuellen Bauzustandes machen.

Wie bereits erwähnt wird der Bautagesbericht sowohl vom AG als auch AN unterzeichnet, um die Richtigkeit der angeführten Informationen zu bestätigen. Dadurch hat der Bericht eine hohe Beweiskraft in nachträglichen Streitfällen.

Digitale Softwarelösungen für Bautagesberichte und Baustellendokumentation bieten außerdem die Möglichkeit, Fotos, Baupläne, Lieferscheine etc. direkt mit dem Bautagesbericht zu verknüpfen, was viel Zeit bei der Verwaltung der Informationen spart. Außerdem gibt es bereits Softwarelösungen die bestimmten Daten des Bautagesberichtes automatisch erzeugen. So generiert zum Beispiel die App *123erfasst* die Wetterdaten für den Bautagesbericht vollkommen automatisch.

5.1.2 Schwächen Bautagesberichte

In der Baupraxis kommt es leider immer wieder vor, dass in den erstellten Bautagesberichten Übertragungsfehler vorhanden sind oder diese Unvollständigkeiten aufweisen. Dies liegt nach *Würfele/Gralla* vor allem daran, dass den Erstellern der Bautagesberichte häufig nicht die Bedeutung dieser Berichte bewusst ist. Durch unvollständige und widersprüchliche Berichte sind diese für spätere Analysen und Auswertungen unbrauchbar oder nur mit einem hohen Mehraufwand sinnvoll nutzbar. Deshalb ist es wichtig, dass die Bautagesberichte von Personen verfasst werden, die über die täglichen Baugeschehnisse gut informiert sind und die wesentlichen Vertragsinhalte des Bauvertrages kennen, um vertragsrelevante Ereignisse zu erkennen und dokumentieren zu können. Darum ist es ratsam, dass die Bautagesberichte von der Bauleitung geführt werden.¹²⁴ Hierbei ist zusätzlich anzumerken, dass durch die manuelle Verfassung der Bautagesberichte diese nicht gänzlich objektiv durchgeführt werden können, da der Verfasser teilweise unbewusst seine subjektive Wahrnehmung in den Bautagesbericht mit einfließen lässt.

Die Ungenauigkeiten in den Bautagesberichten liegen nach Meinung des Autors unter anderem im hohen Zeitaufwand und der manuellen Eintragung der einzelnen Daten. Durch den hohen Bearbeitungsaufwand bei der Erstellung des Berichts werden diese in der Praxis teilweise an Arbeitskräfte weitergegeben, welche nicht das ausreichende Wissen und die notwendige Erfahrung haben, um die Berichte aussagekräftig und detailliert auszuarbeiten. Des Weiteren passieren bei der Erstellung der Berichte häufig Übertragungsfehler, da die Berichte häufig beim Erstellen nur weiterkopiert werden, um den Zeitaufwand zu reduzieren. Allerdings kommt

¹²⁴ Vgl. WÜRFELE, F.; GRALLA, M.: Nachtragsmanagement: Leistungsbeschreibung – Leistungsabweichung – Bauzeitverzögerung. S. 110.

es dabei teilweise vor, dass Einträge im Bautagesbericht vergessen wurden anzupassen, was dazu führen kann, dass in einem Bautagesbericht für den 1. Juli eine Tageshöchsttemperatur von -3°C angegeben ist, obwohl die tatsächliche Höchsttemperatur bei 30°C lag. Solche Übertragungsfehler können bei der manuellen Bearbeitung von Bautagesberichten nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Kumlehn sieht außerdem ein Problem bei der Durchführung von Bauablaufanalysen mittels Bautagesberichten und SOLL-Terminplänen. Häufig werden diese zwei Dokumentationsmittel in der Praxis nicht von denselben Personen erstellt. Dadurch kommt es immer wieder dazu, dass unterschiedliche Bezeichnungen für die Tätigkeiten gewählt werden, was es schwierig macht, aussagekräftige SOLL-IST-Vergleiche durchzuführen. Des Weiteren kann es passieren, dass bestimmte Tätigkeiten in den Bautagesberichten nicht dokumentiert wurden, was wiederum zu Lücken in der Baustellendokumentation führt und die Rekonstruktion des IST-Bauablaufes erschwert.¹²⁵

Ein weiteres Problem bei den derzeit geführten Bautagesberichten ist, dass die räumliche Zuordnung der Leistungen meist gänzlich fehlt.¹²⁶ Wie bereits im Abschnitt 4.8 beschrieben ist es für die adäquat kausale Nachweisführung jedoch erforderlich, die eingesetzten Ressourcen den ausgeführten Tätigkeiten bzw. den zuvor definierten Bauabschnitten zuordnen zu können. Das Problem hieran ist, dass der auf Baustellen übliche verwendete Bautagesbericht die verwendeten Geräte und das eingesetzte Personal nicht den einzelnen Tätigkeiten bzw. Bauabschnitten zuteilt.

[illegible]

Abbildung 5.4 Ausschnitt Bautagesbericht

¹²⁵ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 16.

¹²⁶ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen, S. 16.

Wie der Ausschnitt aus einem Bautagesbericht in Abbildung 5.4 zeigt, wird für den Personaleinsatz nur in die verschiedenen Lohngruppen nach Kollektivvertrag unterschieden und in weiterer Folge werden diese Lohnstunden dann aufsummiert. Beim Geräteeinsatz werden die einzelnen Baugeräte je nach Art eingeteilt und ihre Vorhaltedauern festgehalten. Diese Stunden werden dann wiederum, wie beim Personaleinsatz aufsummiert, jedoch erfolgt keine Zuordnung zu den einzelnen Gewerken oder Fertigungsabschnitten, was die Nachweisführung mittels Einzelnachweisen enorm erschwert.

In der nachfolgenden Tabelle werden die Stärken und Schwächen des Bautagesberichtes noch einmal tabellarisch zusammengefasst.

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Strukturierte Darstellung aller Geschehnisse • Hohe Beweiskraft • Genaue Vorgehensweise durch die ÖNORM B 2110 geregelt • Nachvollziehbarkeit durch Musterformular 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitaufwendig • Fehleranfälligkeit • Keine räumliche Zuordnung • Unvollständigkeit • Subjektivität • Ungenaue Beschreibungen können zu Missverständnissen führen

Tabelle 5.1 Stärken/Schwächen Bautagesbericht

5.2 Baubuch

Im Gegensatz zum Bautagesbericht wird das Baubuch vom AG oder seiner Vertreter*innen geführt und kann als Gegenstück des Bautagesberichtes angesehen werden. Darin werden wie im BTB wichtige Ereignisse und Vorkommnisse auf der Baustelle eingetragen. Wie auch der Bautagesbericht ist das Baubuch in der ÖNORM B 2110 geregelt. Sobald die ÖNORM B 2110 im Bauvertrag Anwendung finden ist das Baubuch wie folgt zu führen:

„Führt der AG ein Baubuch zur Eintragung aller für die Vertragsabwicklung wichtigen Vorkommnisse, ist dem AN die Einsicht in dasselbe auf der Baustelle in der Regel an jedem Arbeitstag, zumindest jedoch einmal wöchentlich, zu ermöglichen. Der AN ist berechtigt, auch seinerseits Eintragungen über wichtige Vorkommnisse in das Bauchbuch vorzunehmen.“

Die eingetragenen Vorkommnisse gelten als vom Vertragspartner bestätigt, wenn er nicht innerhalb von 14 Tagen ab dem Tag, an dem er von der Eintragung Kenntnis erlangen konnte, schriftlich Einspruch erhoben hat. Im Falle eines Einspruches ist umgehend eine einvernehmliche Klarstellung der beeinspruchten Eintragung anzustreben.“

Wie in der ÖNORM B 2110:2023 beschrieben kann auch der AN teilweise Eintragungen in das Baubuch vornehmen und dabei unter anderem folgende Inhalte vermerken:¹²⁷

- Anordnungen durch Auftraggeber
- Informationen zum Leistungsfortschritt
- Angaben zu Begehungen vor Ort
- Planübergaben
- Angaben zur Objektüberwachung

Des Weiteren können Kopien aller Überweisungen an die ausführenden Unternehmen im Baubuch abgelegt werden.

5.2.1 Stärken Baubuch

Nachdem die in diesem Kapitel beschriebenen Dokumentationsmittel hauptsächlich von der Auftragnehmerseite angewendet werden, bietet das Baubuch für den Auftraggeber die Möglichkeit wichtige Eintragungen und Tatsachen während der Baudurchführung festzuhalten.

Wie auch beim Bautagesbericht ist das Führen des Baubuches vertraglich geregelt, wenn die ÖNORM B 2110 im Bauvertrag angewendet wird. Wie bereits im Abschnitt 5.2 beschrieben gibt es klare Regelungen wie das Baubuch zu führen ist und wie oft der AG dem AN Einsicht in dieses gewähren muss. Wenn 14 Tage nachdem der AN von der Eintragung Kenntnis erlangen konnte kein Einspruch vorliegt gilt dieser Vermerk laut ÖNORM B 2110 als bestätigt. Dies erhöht die Beweiskraft des Baubuches bei späteren Streitigkeiten zwischen den Vertragsparteien.

5.2.2 Schwächen Baubuch

Ein Problem bei der Führung von Baubüchern ist, dass der AG und der AN oft unterschiedliche Begriffe in ihren Dokumentationen verwenden, obwohl sie beide die gleichen Baustellengeschehnisse dokumentieren. Dies führt häufig zu späteren Missverständnissen zwischen den Vertragsparteien bei der Analyse der Dokumentationsunterlagen. Des Weiteren fehlt wie auch bei den Bautagesberichten oft eine genaue räumliche und zeitliche Zuordnung zu den einzelnen Eintragungen. Dies ist jedoch für spätere Streitigkeiten von wichtiger Bedeutung, da eine ungenaue Beschreibung die Nachvollziehbarkeit und damit auch die Beweiskraft verringert.

Nach Meinung des Autors fehlt dem Auftraggeber teilweise auch das notwendige Wissen für eine ausführliche und strukturierte Dokumentation der Baustellengeschehnisse. Dies ist vor allem bei kleineren Bauprojekten der

¹²⁷Vgl. <https://www.planradar.com/at/oenorm-b-2110-dokumentation-auf-der-baustelle>. Datum des Zugriffs: 02.04.2023.

Fall, wo der Bauherr seine im Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Aufgaben zur Gänze selbst übernimmt. Dies führt häufig zu einer unzureichenden und missverständlichen Dokumentation.

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen von Besprechungsprotokollen tabellarisch zusammengefasst:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Bietet dem AG die Möglichkeit wichtige Vorkommnisse einzutragen • Hohe Beweiskraft • Genaue Vorgehensweise durch die ÖNROM B 2110 geregelt 	<ul style="list-style-type: none"> • Unvollständigkeiten • Keine räumliche Zuordnung • Subjektivität • Ungenaue Beschreibungen können zu Missverständnissen führen • AG fehlt teilweise das nötige Wissen für eine aussagekräftige Dokumentation

Tabelle 5.2 Stärken/Schwächen Baubuch

5.3 Besprechungsprotokolle

Besprechungsprotokolle werden i.d.R. bei Baubesprechungen, Projektbesprechungen und sonstigen Besprechungsterminen angefertigt. Sie dienen als Ergebnisprotokoll und fassen die besprochenen Themen zusammen, wobei vor allem vertragsrelevante Sachverhalte in die Besprechungsprotokolle aufgenommen werden. Bei der Verfassung der Protokolle ist auf eine klare und eindeutige Formulierung zu achten, damit es zu keinen Missverständnissen bei der nachträglichen Betrachtung der Berichte kommen kann. Des Weiteren ist es wichtig, nicht erledigte Sachverhalte in das nächste Besprechungsformular zu übernehmen. Dies hat so lange zu erfolgen, bis der betroffene Sachverhalt abgeschlossen ist.¹²⁸

Nachstehend werden die wichtigsten Bestandteile eines Besprechungsprotokolls angeführt:

- Projektbezeichnung
- Fortlaufende Protokollnummer
- Datum des Besprechungstermins
- Datum der Protokollerstellung
- Auflistung der an der Besprechung Beteiligten
- Besprochene Themen
- Zuständigkeiten der einzelnen Besprechungsinhalte
- Unterzeichnung durch Besprechungsbeteiligte

¹²⁸ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 17.

Angesichts der bereits im Abschnitt 2.2 beschriebenen umfangreichen Anzahl beteiligter Parteien ist es anzuraten in regelmäßigen Abständen Baubesprechungen abzuhalten, um eine zeitnahe Diskussion von Problemen und Abweichungen im Bauprozess zu ermöglichen. Hierbei ist es empfehlenswert regelmäßige Besprechungen bereits im Bauvertrag festzulegen, um Missverständnisse und Konflikte zwischen den Vertragsparteien zeitnah besprechen zu können.¹²⁹

Besprechungsprotokoll 19. Baubesprechung

Projekt:	Neubau Hauptverwaltung Stadtwerke	Besprechungsort:	Baubüro Stadtwerke
Bauherr:	Stadtwerke GmbH	Besprechungstermin:	13.08.2015 14:00 Uhr
		Erstellt am:	14.08.2015
Teilnehmer:	Zusätzliche Verteiler:		
Herr C. Maier Stadtwerke	Herr T. Herbst Stadtwerke		
Herr U. Fischer Stadtwerke			
Frau C. Schmitt Projektsteuerung			
Herr L. Maurer Bau AG			
Herr S. Sommer Bau AG			
Anlage: Geländerdetail Fluchttreppenhaus Varianten (3-AR-D-XX-001, Index 1)			
TOP 1	Protokollbestätigung		
TOP 2	Protokollkontrolle In der 19. Bauherrenbesprechung wurden folgende einvernehmliche Festlegungen getroffen: Gegenüber dem 18. Bauherrenbesprechungsprotokoll vom 5.8.2015 bestehen seitens der anwesenden Personen inhaltlich keinerlei Widersprüche. Aus der letzten Besprechung noch zu klärende Punkte verbleiben im Protokoll. Ergänzungen und neue Punkte werden in Fettdruck hervorgehoben.		
TOP 3	Neue Punkte	Zu erledigen durch	Termin
	18/01 Arbeitssicherheit Rundgang Bau BG vom 31.07.2015	Bau AG	13.08.2015
	19/01 Optimierung Ausbau/Kosteneinsparungen Detail Geländer Treppenhaus Entscheidung über Ausführung der Varianten	Stadtwerke	15.09.2015

Abbildung 5.5 Beispiel Besprechungsprotokoll¹³⁰

5.3.1 Stärken Besprechungsprotokolle

Die Besprechungsprotokolle dienen als gute Ergänzung zum Bautagesbericht um den aktuellen Stand der Bauausführung darzulegen und zusätzlich kann durch die Protokolle die Korrektheit der Bautagesberichte überprüft werden. Sollte es Abweichungen zwischen den beiden Dokumentationsmitteln geben, sind diese so rasch wie möglich zu beseitigen. Je länger diese Abweichungen nicht überprüft werden, desto schwieriger wird es die Berichte nachträglich richtig zu stellen.¹³¹

¹²⁹ Vgl. AHTING, S.: Nachtragsmanagement bei gestörten Bauabläufen. S. 37.

¹³⁰ BERNER, F.; KOCHENDÖRFER, B.; SCHACH, R.: Grundlagen der Baubetriebslehre 3. S. 47.

¹³¹ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 17.

Während der Besprechungen werden häufig vertragsrelevante Themen angesprochen. Durch das Niederschreiben dieser Besprechungspunkte werden wichtige Entscheidungen zwischen den Projektbeteiligten festgehalten. Im Gegensatz zu den Besprechungsprotokollen haben rein mündlich geschlossene Einigungen eine sehr geringe Beweiskraft und können zu nachträglichen Konflikten zwischen den Vertragsparteien führen. Zusätzlich werden in den Protokollen wie in Abbildung 5.5 dargestellt die genauen Verantwortlichkeiten bei Abweichungen gegenüber dem Bau-SOLL geregelt. Durch die nachträgliche Unterzeichnung des Besprechungsprotokolls bestätigt die betroffene Vertragspartei dies. Außerdem kann durch das Fortschreiben von nicht erledigten Themengebieten zu einem späteren Zeitpunkt genau nachvollzogen werden, wie lange eine Störung oder eine Abweichung existent war, was wiederum hilfreich für die Erstellung von Mehrkostenforderungen sein kann.

5.3.2 Schwächen Besprechungsprotokolle

Der schlimmste Fall bei Besprechungen ist, wenn überhaupt kein Besprechungsprotokoll verfasst wurde. Dies geschieht laut *Kumlehn* häufig bei Vertragsparteien, die ein sehr freundschaftliches Verhältnis miteinander pflegen. Das Problem bei dieser Vorgehensweise liegt jedoch darin, dass diese partnerschaftliche Beziehung nicht zwingend während des gesamten Zeitraums der Ausführungsphase aufrechterhalten bleiben muss.¹³² Durch das Auftreten von Kostenüberschreitungen oder Verzögerungen in der Bauzeit kommt es häufig dazu, dass dieses Verhältnis während des fortlaufenden Bauprozesses sich zum negativen entwickelt. Das Problem hierbei ist, dass die nicht verfassten Protokolle im Nachhinein nicht ausreichend detailliert rekonstruiert werden können, was die Menge der Beweismittel beider Vertragsparteien stark reduziert.

Ein weiteres Problem bei Besprechungsprotokollen ist, dass den Vertragsparteien häufig die Bedeutung von Besprechungsprotokollen nicht ausreichend bewusst ist.¹³³ Dies hat zur Folge, dass die Erstellung der Berichte ungenau erfolgt und die Nachvollziehbarkeit darunter leidet. Eine nachlässige Ausarbeitung der Berichte kann dazu führen, dass bestimmte Teile des Protokolls unkorrekt sind oder dass ein beträchtlicher Spielraum für Interpretationen bei der Analyse des Protokolls besteht. Diese mangelnde Genauigkeit in der Verfassung der Protokolle wird meistens erst deutlich später im Projekt tragend und lässt sich dann nicht mehr korrigieren.

Außerdem ist es wichtig das Besprechungsprotokoll zeitnah anzufertigen und nicht erst Wochen nach der eigentlichen Besprechung. Am besten sollte das Protokoll bereits während der Besprechung verfasst werden, um Informationsverluste zu minimieren. Zusätzlich ist es wichtig das Protokoll

¹³² Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 17.

¹³³ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 17.

den Vertragsparteien umgehend zuzusenden, um ihnen die Möglichkeit zu geben zeitnah Einwände zu erheben, falls Unstimmigkeiten im Protokoll auftreten.

Wie auch bei den anderen schriftlichen Dokumentationsmitteln ist es auch bei den Besprechungsprotokollen so, dass diese teilweise subjektiv aus Sicht des Verfassers erstellt werden. Dies kann dazu führen, dass das Protokoll zugunsten einer Vertragspartei verfasst wird, um sich für zukünftige Konflikte einen Vorteil zu verschaffen. Deshalb ist es umso wichtiger, dass das Protokoll von den anderen Besprechungsmitgliedern genau analysiert wird.

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen von Besprechungsprotokollen tabellarisch zusammengefasst:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Dokumentation wichtiger Entscheidungen • Guter Überblick über den Baustellenstand • Beweismittel bei Konflikten • Sorgt für Klarheit zwischen den Projektbeteiligten • Informationsweitergabe zwischen den Projektbeteiligten 	<ul style="list-style-type: none"> • Unvollständigkeiten • Bedeutsamkeit nicht allen Projektbeteiligten bewusst • Subjektivität • Ungenaue Beschreibungen können zu Missverständnissen führen

Tabelle 5.3 Stärken/Schwächen Besprechungsprotokolle

5.4 Foto- und Videodokumentationen

Die Aufzeichnung von Baustellenvorgängen mittels Foto- und Videokameras zählt mittlerweile zum Bestandteil einer Standarddokumentation und wird auf gegenwärtigen Baustellen immer häufiger eingesetzt.¹³⁴ Es sind unterschiedliche Detaillierungsgrade bei der Dokumentation mittels Fotos und Videos möglich. Hierbei kann grob zwischen der Ansicht der Gesamtbaumaßnahme als Makrobereich und der Überprüfung einzelner Bauteile im Mikrobereich unterschieden werden.¹³⁵

Es gibt verschiedenste Möglichkeiten wie Foto- und Videodokumentationen genutzt werden können. Eine Möglichkeit die häufig angewendet wird ist die Erfassung der umliegenden Bestandsgebäude vor Baubeginn, um eine Beweissicherung für spätere Schadensfälle durchzuführen. Dadurch kann nachträglich eindeutig ermittelt werden, ob die Schäden durch die Baustelle verursacht wurden oder bereits vor der Bauausführung vorhanden waren. Außerdem kann durch eine wiederkehrende Dokumentation

¹³⁴ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A.: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 138.

¹³⁵ Vgl. HEIM, M.: Die zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen- unter besonderer Berücksichtigung von Bildinformationssystemen. S. 111.

der Baustelle der Baufortschritt eines Bauteils oder der gesamten Baustelle erfasst werden. Um die generierten Daten später den einzelnen Bereichen der Baustelle zuzuordnen empfiehlt sich folgende zusätzliche Informationen den Aufnahmen anzuhängen:¹³⁶

- Datum und Uhrzeit
- Lokalisierung (Ort, Geschoss, Gewerk, Fertigungsabschnitt etc.)
- Ersteller der Aufnahme
- Anmerkungen zur Aufnahme

Diese Zuordnung hilft dabei, die Aufnahmen später leichter wiederzufinden und den einzelnen Baustellentätigkeiten zuzuordnen. Zusätzlich sollte bereits vor der Ausführungsphase festgelegt werden, welche Bauteile bzw. Abschnitte aufgenommen werden sollen und in welchen zeitlichen Abständen dies zu erfolgen hat.

5.4.1 Stärken Foto- und Videodokumentationen

Ein großer Vorteil gegenüber schriftlichen Dokumenten ist, dass Bilder und Videos häufig leichter von anderen Personen verstanden werden als reiner Fließtext. Die Aussage „*Ein Bild sagt oft mehr als 1000 Worte*“ gilt hierbei auch bei der Baustellendokumentation. Außerdem enthalten Bilder gegenüber von schriftlich verfassten Dokumenten keine Subjektivität durch die erstellende Person. Wie bereits bei den vorhergehenden Dokumentationsmitteln beschrieben, wird bei der Verfassung von Texten unbewusst oder auch bewusst teilweise die eigene Sicht des Verfassers wiedergegeben. Dies führt zu einer Dokumentation, welche nicht als gänzlich objektiv betrachtet werden kann.

Auch später nicht mehr erkennbare Zwischenstände und Fertigungsabschnitte können mittels diesem Dokumentationsmittel aufgenommen werden.¹³⁷ Ein Beispiel hierfür ist der Vorgang Bewehren von Betonbauwerken. Nachdem der Beton in die Schalung gegossen wurde, ist es nicht mehr möglich die genaue Durchführung der Bewehrungsarbeiten nachträglich zu dokumentieren. Jedoch ist es durch die vorhergehende Aufnahme der Bewehrungsarbeiten mittels Foto- oder Videokameras möglich eine detaillierte nachträgliche Rekonstruktion der Leistung durchzuführen. Außerdem erzeugen Foto- und Videoaufnahmen einen deutlich geringeren Bearbeitungsaufwand bei der Erfassung der Daten gegenüber von schriftlichen Dokumenten.

¹³⁶ Vgl.: ELSEBACH, J.: Bauwerksinformationsmodelle mit vollsphärischen Fotografien - Ein Konzept zur visuellen Langzeitarchivierung von Bauwerksinformationen Dissertation. S. 88.

¹³⁷ Vgl. MITSCHKEIN, A.: Die baubetriebliche Bewertung gestörter Bauabläufe aus Sicht des Auftragsnehmers, S. 65.

Videos haben den Vorteil, dass mit ihnen der kontinuierliche Prozess der Herstellung über eine längere Zeitperiode aufgenommen werden kann, jedoch ist es auch mittels der Erstellung von Fotos in regelmäßigen Zeitintervallen möglich den Herstellungsprozess zu dokumentieren. Außerdem können Videos zur Baustellenüberwachung genutzt werden, was eine Beobachtung des Bauprozesses ermöglicht, obwohl die Person selbst gar nicht auf der Baustelle vor Ort ist, sondern im Büro oder zu Hause im Homeoffice sitzt. Videos können zusätzlich auch zur Beweissicherung und für Nachtragsforderungen genutzt werden, da durch eine passende Positionierung der Kamera auf den Videos zu erkennen ist, ob und wieso es zu einer Störung des Bauablaufes gekommen ist.

Für die Ablage der Fotos können verschiedenste Softwarelösungen unterstützend eingesetzt werden. Bei diesen Apps können die Fotos in der Lage genau definiert und mit den Ausführungsplänen verknüpft werden. Dadurch ist es später deutlich einfacher Fotos von bestimmten Leistungspositionen wiederzufinden.

5.4.2 Schwächen Foto- und Videodokumentation

Das große Problem bei der Dokumentation mittels Fotos und Videos ist vor allem die Datenverwaltung. Bei einer Großbaustelle kann es innerhalb von kürzester Zeit dazu kommen das tausende Fotos und Videos über den Baustellenfortschritt generiert werden. Diese Datenflut erzeugt einen hohen Aufwand bei der späteren Analyse. Deshalb ist es erforderlich die generierten Bilder und Videos bereits von erstellenden Person den einzelnen Bauteilen oder Abschnitten zuzuordnen, um den nachträglichen Verwaltungsaufwand zu verringern.

Häufig sind auch die zusätzlichen Informationen solcher Fotos unzureichend, da die Bilddateien nur nach Datum und Zeit zugeordnet werden. Jedoch ist es vor allem bei größeren Baustellen notwendig auch die Lage, wo das Foto aufgenommen wurde zu vermerken, da erst dadurch das Foto eindeutig mit dem Bauteil verknüpft ist. Wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben gibt es für dieses Problem bereits Softwarelösungen von den verschiedensten Anbietern, jedoch sind diese auf Baustellen noch nicht weit verbreitet oder werden nur geringfügig eingesetzt.

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen von Foto- und Videodokumentationen tabellarisch zusammengefasst:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Leicht verständlich und nachvollziehbar • Kann zur Rekonstruktion der Baustellengeschehnisse genutzt werden • Kontinuierliche Dokumentation der Baustellengeschehnisse möglich • Beweismittel bei Konflikten 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufig zusammenhanglos und nicht chronologisch abgelegt • Häufig Aufnahmen nicht lokalisiert • Niedrige Beweiskraft

Tabelle 5.4 Stärken/Schwächen Foto- und Videodokumentation

5.5 Schriftverkehr

Unter die Bezeichnung Schriftverkehr fallen sämtliche Schreiben (E-Mails, Briefe etc.) zwischen den Projektbeteiligten. Diese dabei generierten Schriftstücke liefern eine ausführliche Dokumentation über den Informationsaustausch zwischen den Projektbeteiligten. Eine detaillierte Dokumentation des Baugeschehens liefern hierbei vor allem Bedenkanmeldungen, Behinderungsanzeigen, Nachtragsforderungen und Mängelanzeigen. Bei der Verfassung dieser Dokumente ist vor allem auf die klare Darlegung des Sachverhalts und eine ausreichende Nachvollziehbarkeit zu achten damit es zu keinen Missverständnissen zwischen den Vertragsparteien kommen kann.

5.5.1 Stärken Schriftverkehr

Die Analyse des Schriftverkehrs bietet eine zusätzliche Möglichkeit, um Baustellengeschehnisse und Vereinbarungen zwischen den Vertragsparteien nachträglich zu untersuchen. Ein Beispiel hierfür wäre die Behinderungsanzeige. In einer gut verfassten Behinderungsanzeige ist die Begründung, wieso es zu einer Behinderung gekommen ist und die dadurch verursachten Auswirkungen genau dokumentiert. Zusätzlich ist das betroffene Bauteil bzw. der betroffene Fertigungsabschnitt welche durch die Behinderung gestört wurde in der Anzeige festgehalten, was wiederum bei einer nachträglichen Rekonstruktion der Baustellengeschehnisse sehr hilfreich sein kann. Durch die Kombination aus Schriftverkehr und weiteren Dokumentationsmitteln kann so ein aussagekräftiger IST-Bauablauf dargestellt werden.

Außerdem ist durch die Analyse des Schriftverkehrs nachweisbar, wann welche Informationen an welche Vertragspartei weitergeleitet wurden, da jedes Dokument mit einem Datum versehen ist. Damit kann genau festge-

stellt werden, welches Projektteam welche Änderungen oder Anpassungen zu welchem Zeitpunkt getroffen oder bekommen hat. Wichtig ist hierbei auch, dass der gesamte Schriftverkehr nachvollziehbar archiviert wird, damit die erforderlichen Dokumente bei späteren Konflikten wiedergefunden werden und als Beweismittel genutzt werden können.

5.5.2 Schwächen Schriftverkehr

Das Hauptproblem bei der Analyse des Schriftverkehrs ist häufig, dass dieser nicht chronologisch abgelegt wird. Durch die Unmengen an verfassten Schreiben während der Baudurchführung ist es im Nachhinein nur unter großem Zeitaufwand möglich eine fundierte Analyse durchzuführen.

Im speziellen ist bei Behinderungs- und Nachtragsforderungen die genaue Begründung und die Beschreibung der Auswirkungen durch die Störung meist unzureichend. Häufig wird als Begründung nur genannt, dass diese Leistung im Vertrag so nicht vorhanden ist und deshalb Anspruch auf Mehrkosten besteht. Auch die Auswirkungen werden meist unzureichend beschrieben. Dadurch ist es nicht möglich den zusätzlichen Bauzeitbedarf durch die Störung genau zu ermitteln, wobei es für die Nachweisführung essenziell ist, dass der Kausalitätszusammenhang zwischen Ursache und Auswirkung ausführlich beschrieben wird, um Mehrkostenforderungen geltend zu machen.¹³⁸

Des Weiteren ist in den störungsbezogenen Dokumenten nicht beschrieben, wie der tatsächliche Bauablauf ohne die eingetretene Störung aussehen hätte sollen. Dies macht es schwierig einen nachvollziehbaren Vergleich zwischen SOLL- und IST-Bauablauf zu erstellen.

Zusätzlich wird in den störungsbezogenen Dokumenten nicht angegeben, wie der tatsächliche Bauablauf aussehen sollte, wenn die Störung nicht aufgetreten wäre, was es schwierig macht, einen nachvollziehbaren Vergleich zwischen dem geplanten SOLL- und dem tatsächlichen IST-Bauablauf zu erstellen.

Ein weiteres Problem bei der Analyse des Schriftverkehrs ist, dass in den unterschiedlichen Dokumenten meist die verschiedensten Bezeichnungen für ein und denselben Vorgang verwendet werden. Dies passiert vor allem aus dem Grund, dass die einzelnen Dokumente von unterschiedlichen Personen angefertigt werden. Zusätzlich wird durch die manuelle Anfertigung der Berichte kein gänzlich objektives Bild erzeugt.

¹³⁸ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 21.

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen des Schriftverkehrs tabellarisch zusammengefasst:

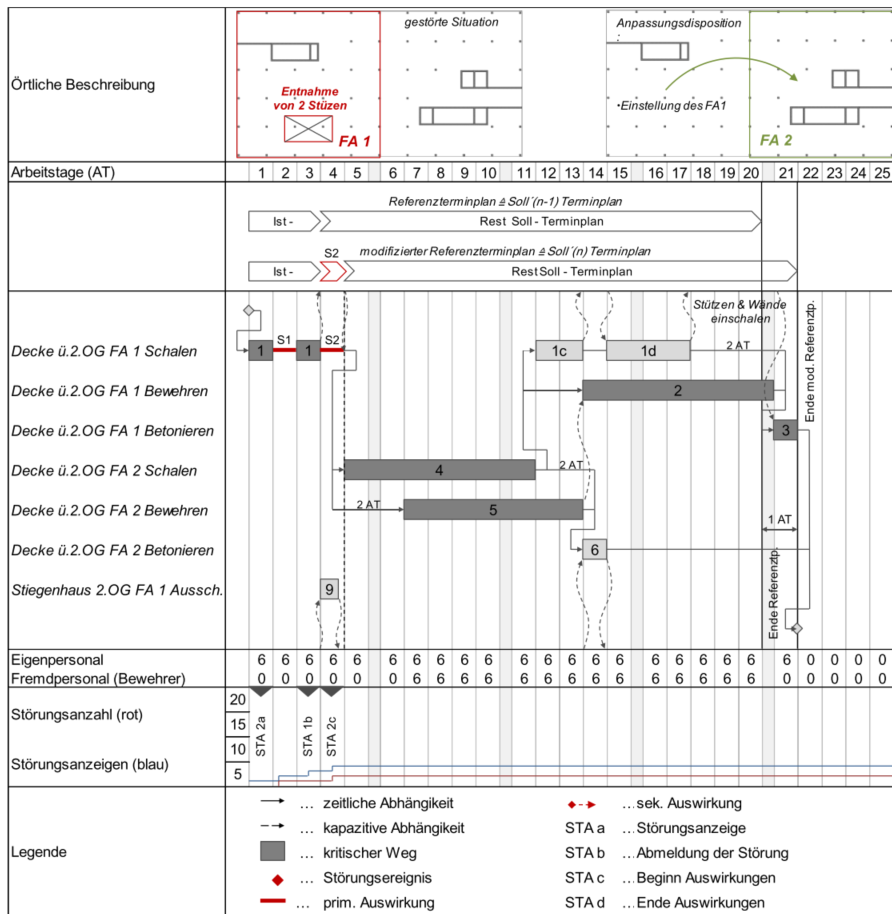
STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Kann zur Rekonstruktion der Baustellengeschehnisse genutzt werden • Dokumentiert Vereinbarungen zwischen den Vertragsparteien • Beweismittel bei Konflikten 	<ul style="list-style-type: none"> • Häufig zusammenhanglos und nicht chronologisch abgelegt • Hoher Aufwand bei der Analyse der Daten • Subjektivität • Ungenaue Beschreibungen können zu Missverständnissen führen

Tabelle 5.5 Stärken/Schwächen Schriftverkehr

5.6 IST-Terminplan

Der IST-Terminplan stellt den tatsächlichen Bauablauf mittels Balken-, Linien- oder Netzplänen dar. Hierbei werden die Dauern der einzelnen Tätigkeiten auf der Baustelle in ihrer zeitlichen Abfolge dargestellt und die Abhängigkeiten zwischen den Arbeitsvorgängen veranschaulicht. Um die Kapazitätsverläufe während der Baudurchführung darzustellen ist es zusätzlich erforderlich die Produktionsmenge und den Ressourceneinsatz den einzelnen Tätigkeiten zu hinterlegen.

Als Grundlage für die Erstellung des IST-Terminplans dient der SOLL-Terminplan, welcher vor Baubeginn zur Planung des Bauablaufs und der Ermittlung der benötigten Ressourcen erstellt wird. Die Daten für die Anfertigung des IST-Terminplans werden aus den in diesem Kapitel beschriebenen Dokumentationsmitteln herangezogen.

Abbildung 5.6 Beispiel Terminplan¹³⁹

5.6.1 Stärken IST-Terminplan

Im Gegensatz zu rein schriftlichen Dokumentationsmitteln ermöglichen Terminpläne durch ihre bildliche Darstellung den Baustellenhergang in einer anderen Perspektive darzustellen. Dies erhöht die Nachvollziehbarkeit und Verständlichkeit des Sachverhaltes.

Durch den Vergleich von SOLL-, SOLLTE- und IST-Terminplan ist es möglich Bauablaufstörungen sichtbar zu machen, wobei die genaue Vorgehensweise hierzu bereits im Abschnitt 4.9 beschrieben wurde. Durch die Gegenüberstellung der einzelnen Terminpläne können Gegensteuerungsmaßnahmen frühzeitig eingeleitet werden und die durch die Abweichung erzeugte Bauzeitverlängerung minimiert werden.¹⁴⁰ Darüber hinaus

¹³⁹ HAUER, C.: Nachweisführung bei gestörten Bauabläufen – Anforderungen, Anwendung und Problemfelder der Einzelstörungsbetrachtung. S. 92.

¹⁴⁰ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A.: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 140.

stellt der Vergleich der Terminpläne eine effektive Methode dar, um Bauablaufstörungen veranschaulichend zu präsentieren und die Fakten der Vertragsparteien bei Streitgesprächen nachvollziehbar darzulegen.

5.6.2 Schwächen IST-Terminplan

Ein häufiges Problem bei den IST-Terminplänen liegt darin, dass die Inhalte durch die anderen Dokumentationsmittel nicht eindeutig bestätigt werden. Es kommt oft zu unterschiedlichen Bezeichnungen in den einzelnen Dokumentationsmitteln. Außerdem ist die Detaillierung in den Dokumentationsmitteln meist unterschiedlich, was es schwierig macht sie genau den Tätigkeiten im Terminplan zuzuordnen. Ein Beispiel hierfür wären Betonarbeiten. Im Bautagesbericht wurden die Arbeiten für das Bauteil nicht in die Teilvorgänge Schalen, Bewehren, Betonieren, Ausschalen aufgeteilt. Jedoch gibt es im Terminplan eine genaue Aufteilung in die einzelnen Teilvorgänge. Ist diese Aufteilung auch in anderen Dokumentationsmitteln nicht vorhanden kann die Dauer und der Ressourceneinsatz den einzelnen Tätigkeiten nicht eindeutig zugeordnet werden.

Ein weiterer Punkt, der oft bei der Erstellung von IST-Terminplänen nicht berücksichtigt wird, ist die Zuteilung der Produktionsmenge und des Ressourceneinsatzes zu den einzelnen Arbeitsvorgängen. Nur durch diese Zuweisung kann nachweislich festgestellt werden, welche Ressourcen von einem Störsereignis betroffen waren. Beim Vergleich zwischen SOLL-, SOLLTE- und IST-Terminplänen ist außerdem zu beachten, dass der Ressourceneinsatz zwischen diesen Plänen variieren kann. Ein konkretes Beispiel hierfür wäre die Möglichkeit, dass im SOLL-Terminplan für die Berechnung der Vorgangsdauer von Schalarbeiten eine höhere Anzahl von Arbeitskräften vorgesehen ist als im IST-Terminplan. Durch diese Änderung erhöht sich die Dauer des Vorganges, obwohl keine Störung auftrat. Darum ist es wichtig zu beachten, dass ein reiner Vergleich der SOLL- und IST-Zeiten allein nicht ausreichend aussagekräftig ist. Eine fundierte Bewertung von Störungen im Bauablauf kann erst erfolgen, wenn die Zeiten mit den tatsächlich eingesetzten Ressourcen verknüpft werden.

Kommt es häufig zu Bauablaufstörungen während der Ausführungsphase muss der IST-Terminplan in regelmäßigen Zeitintervallen angepasst werden. Erfolgt diese zeitnahe Anpassung nicht, wird es im Laufe der Zeit immer schwieriger den tatsächlichen Bauablauf zu rekonstruieren, da dadurch sehr viele Anpassungen auf einmal in den Terminplan implementiert werden müssen. Das macht es schwierig die einzelnen Störungen genau abzugrenzen. Außerdem sind die Anpassungen sehr zeitintensiv und erzeugen einen hohen Bearbeitungsaufwand für das ausführende Unternehmen.

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen von IST-Terminplänen tabellarisch dargestellt:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Bauablaufstörungen können sichtbar gemacht werden • Dient bei Streitigkeiten zur Veranschaulichung des Sachverhalts 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Bearbeitungsaufwand • Oft keine Zuordnung der Produktionsmenge und des Ressourceneinsatzes • Häufig keine Anpassung in regelmäßigen Abständen

Tabelle 5.6 Stärken/Schwächen IST-Terminplan

5.7 Planlieferlisten

Pläne enthalten sehr viel Informationen in sich, jedoch dokumentieren sie den tatsächlichen Bauablauf nicht. Die fristgerechte Lieferung der Ausführungspläne spielt jedoch eine entscheidende Rolle für einen reibungslosen Bauprozess. Durch Verzögerungen in den Planlieferungen kann es zu Störungen und Verzögerungen im Bauablauf kommen, da erst durch die Freigabe des Plans mit der Ausführung des auf dem Plan dargestellten Bauabschnittes begonnen werden kann. Darum werden auf Baustellen mit planungsbegleitender Bauausführung häufig Planlieferlisten verwendet. Diese Listen dienen zur Dokumentation, ob die erforderlichen Pläne zum im vorhinein festgelegten Liefertermin eingelangt sind.

Folgende Informationen sollten in Planlieferlisten erfasst werden: ¹⁴¹

- Plannummer
- Index
- Planinhalt oder Bezeichnung der dargestellten Bauteile
- Vermerk über Planstatus und das Freigabedatum
- SOLL-Liefertermin
- IST-Liefertermin
- Planverfasser
- Planempfänger
- Änderungsumfang gegenüber dem vorangegangenen Index

¹⁴¹ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 137.

Planlieferliste								Projekt Datum
Plan-Nr.	Index	Bezeichnung	Status	Soll- Liefertermin	Ist- Liefertermin	Plan- verfasser	Plan- empfänger	Anmerkungen

Tabelle 5.7 Planlieferliste¹⁴²

Bevor die Pläne in der Planlieferliste freigegeben werden können müssen diese zuerst geprüft werden. Hierbei werden die Pläne unter anderem auf ihre Realisierbarkeit und auf Abweichungen gegenüber den Ausschreibungs- und Angebotsplänen geprüft. Die diesbezüglichen Prüffristen sollten vertraglich geregelt sein. Erst nach erfolgreicher Prüfung werden die Pläne für die Bauausführung freigegeben.¹⁴³

5.7.1 Stärken Planlieferlisten

Mithilfe der Planlieferlisten ist es möglich nachzuweisen, ob die Freigabe der Pläne zum ordnungsgemäßen Zeitpunkt stattgefunden hat. Nur durch die Freigabe des Plans kann das ausführende Unternehmen mit den Ausführungsarbeiten zu diesem Tätigkeitsbereich beginnen und den Bauzeitplan einhalten. Des Weiteren kann durch den Vergleich der Pläne erkannt werden, welche Abweichungen es gegenüber den Angebots- und Ausführungsplänen gibt.¹⁴⁴ Durch die Protokollierung in der Planlieferliste können die dabei erzeugten Informationen als Beweismittel für spätere Mehrkostenforderungen genutzt werden.

Des Weiteren können durch die Verwendung von Planlieferlisten Konflikte frühzeitig vermieden werden. Durch einen im Vorhinein klar definierten IST-Liefertermin können Zuständigkeiten bei Versäumnissen rasch geklärt werden. Außerdem ermöglicht die Planlieferliste den ausführenden Gewerken eine bessere Koordination in der Bauablaufplanung, da durch die genau definierten Termine die Baufirma ihre Tätigkeiten nach den Lieferterminen der Pläne abstimmen kann, was wiederum die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten verbessert.

5.7.2 Schwächen Planlieferlisten

Die Analyse von Planlieferlisten erzeugt jedoch häufig Widersprüche, da die Listen nicht mit der erforderlichen Sorgfalt geführt werden. Häufig kommt es in der Praxis vor, dass Pläne nicht in der Planlieferliste erfasst werden oder einzelne Planstände fehlen. Dies führt zu einer fehlerhaften

¹⁴² ELWERT, U.; FLASSAK, A: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 137.

¹⁴³ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 137.

¹⁴⁴ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 137.

Dokumentation und die Planlieferliste verliert an Glaubwürdigkeit für spätere Mehrkostenforderungen oder Streitgespräche. Des Weiteren kommt es in der Praxis regelmäßig vor, dass Planlieferlisten nicht zeitnah aktualisiert werden. *Kumlehn* sieht den Grund hierfür darin, dass den Beteiligten der Stellenwert dieser Listen nicht bewusst ist und diese deshalb nicht konsequent auf den aktuellen Stand gebracht werden.¹⁴⁵

Wie bei den Bautagesberichten gibt es auch bei den Planlieferlisten Zuordnungsprobleme. Durch die vielen verschiedenen Projektbeteiligten kommt es des Öfteren vor, dass es für ein und dieselbe Tätigkeit verschiedene Bezeichnungen gibt. Dadurch können die Pläne nicht immer zweifelsfrei den einzelnen Tätigkeiten zugeordnet werden. Es ist ein hoher zusätzlicher Aufwand damit verbunden, die Pläne nachträglich zuzuordnen. Deshalb empfiehlt *Kumlehn* die Pläne den Tätigkeiten im SOLL-Terminplan zuzuordnen, um so die Pläne eindeutig mit der Tätigkeit zu verknüpfen.¹⁴⁶

Zusammenfassend werden die Stärken und Schwächen von Planeingangslisten tabellarisch dargestellt:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Übersichtliche Darstellung aller Planlieferungen • Ermöglicht eine bessere Koordination der Ressourcen • Störungen aufgrund verspäteter Planlieferung nachweisbar • Beweismittel bei Konflikten 	<ul style="list-style-type: none"> • Unvollständigkeiten • Häufig keine zeitnahe Aktualisierung • Bedeutsamkeit nicht allen Projektbeteiligten bewusst • Pläne sind häufig nicht den Tätigkeiten zugeordnet

Tabelle 5.8 Stärken/Schwächen Planlieferlisten

5.8 Aufmaßprotokolle

Während der Bauausführung ist es häufig nicht möglich alle Leistungen genau nach den Planungsunterlagen abzurechnen, da es immer wieder zu Abweichungen und Änderungen während der Bauarbeiten kommen kann. Deshalb ist es des Öfteren notwendig einzelne Leistungen direkt auf der Baustelle aufzumessen. Mittels der Aufmaßprotokolle werden die einzelnen Mengen den Positionen des Leistungsverzeichnisses zugeordnet, um in weiterer Folge die Leistungen abrechnen zu können.¹⁴⁷ Zu den Protokollen können für das leichtere Verständnis zusätzlich Skizzen als Bei-

¹⁴⁵ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 18.

¹⁴⁶ Vgl. KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. S. 19.

¹⁴⁷ Vgl. ELWERT, U.; FLASSAK, A: Nachtragsmanagement in der Baupraxis. S. 140.

lage hinzugefügt werden. Somit dokumentieren die Protokolle die Leistungen auf der Baustelle sowohl in schriftlicher als auch in zeichnerischer Form.

Nachfolgend ist ein Beispiel für ein Aufmaßprotokoll einer HLZ Wand dargestellt.

BAUGESELLSCHAFT				AUFMASS				
				Blatt Nr.: <u>1</u> Datum <u>30. 6.</u>				
Auftraggeber <u>Bauinvestor GmbH</u>				Art der Arbeit <u>Mauerarbeiten</u>				
Baustelle/-teil <u>Schillerstr. 15</u>								
Pos. Nr.	Bezeichnung	Stück + -	Abmessungen			Meißgehalt	Abzug	reiner Meißgehalt
			Länge	Breite	Höhe			
1	m² Mauerwerk							
	aus HLZ im EG							
	Dicke = 36,5 cm							
	Wand A	1	10,63		2,80	29,76		
	Wand B	1	7,99		2,80	22,37		
	Abzug Fenster	1	2,01		1,26		2,53	
	Abzug Unterzug	1	2,51		0,60		1,51	
	Summe							<u>48,93</u>
Aufgestellt Müller		Anerkannt Meyer			Summe/ Übertrag			

Tabelle 5.9 Beispiel Aufmaßprotokoll¹⁴⁸

5.8.1 Stärken Aufmaßprotokolle

Die Protokolle dokumentieren den Umfang der erbrachten Leistungen und zusätzlich ist durch das Datum überprüfbar, zu welchen Zeitpunkt diese bereits vollbracht wurden. Dies kann als Beweismittel bei nachträglichen Streitigkeiten genutzt werden.

Bei den Aufmaßen ist i. d. R. sowohl ein Verantwortlicher des ausführenden Unternehmens als auch der Auftraggeberseite vor Ort, um die Richtigkeit der Messungen zu überprüfen. Durch die gemeinsame Erstellung der Protokolle kommt es später zu weniger Missverständnissen und Unstimmigkeiten zwischen den Projektbeteiligten. Darüber hinaus werden die Protokolle von beiden Vertragsparteien unterzeichnet, um die Richtigkeit der Daten sicherzustellen, was die Beweiskraft der Dokumente bei später auftretenden Konflikten erhöht.

¹⁴⁸ <https://www.bauprofessor.de/aufmassaufstellung>. Datum des Zugriffs: 02.06.2023

Mengenermittlungen anhand von Aufmaßprotokollen haben den Vorteil gegenüber von Plänen, dass sie die tatsächlichen Leistungen auf der Baustelle dokumentieren. Auf Baustellen gibt es immer wieder Abänderungen oder Abweichungen gegenüber der Planung. Je nach Baustellentyp können diese Abweichungen unterschiedlich stark ausfallen. Aufmaßprotokolle helfen hierbei, die tatsächlichen Leistungen zu erfassen und Abweichungen zu dokumentieren

5.8.2 Schwächen Aufmaßprotokolle

Ein Nachteil bei der Führung von Aufmaßprotokollen ist der hohe Zeitaufwand, der durch das Messen der einzelnen Leistungen erzeugt wird. Diese Zeit muss sowohl auf Auftraggeberseite als auch auf Auftragnehmerseite aufgebracht werden, um ein gemeinsames Aufmaß durchzuführen. Außerdem ist es häufig schwierig zeitnah einen Termin zu finden bei dem beide Vertragsparteien zusammen die Aufmaße auf der Baustelle durchführen können. Dadurch verschieben sich Aufmaße zeitlich nach hinten, was wiederum zu Informationsverlusten führen kann. Ein Beispiel hierfür wäre das Verlegen von Infrastrukturleitungen in Künetten. Ein verspäteter Termin für ein gemeinsames Aufmaß kann dazu führen, dass die Künette bereits wieder hinterfüllt ist und es dadurch nicht mehr möglich ist die Anzahl und Mengen der einzelnen Teilleistungen zu erfassen.

Durch das manuelle Aufmessen der einzelnen Leistungen kann es zu Fehlern im Aufmaß kommen. Diese Fehler können sowohl durch das vergessene Aufmessen von Leistungen erzeugt werden als auch durch die Messung und den dadurch entstehenden Messfehler an sich. Je nach Messwerkzeug kann dieser Fehler stärker oder geringer sein.

Zusammenfassend werden die Stärken und Schwächen von Aufmaßprotokollen tabellarisch dargestellt:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Beidseitige Unterzeichnung der Vertragsparteien erhöht die Beweiskraft • Dokumentieren die tatsächlich erbrachten Leistungen auf der Baustelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Zeitaufwand • Unvollständigkeiten • Unleserlichkeiten • Messfehler bei der Datenerfassung

Tabelle 5.10 Stärken/Schwächen Aufmaßprotokolle

5.9 Lieferscheine

Der Lieferschein ist ein Warenbegleitschein und gibt Auskunft über das angelieferte Produkt. Während der Bauausführung wird eine große Anzahl an verschiedenen Materialien auf die Baustelle geliefert und bei jeder dieser Lieferungen bekommt das ausführende Unternehmen einen Lieferschein, welcher hierbei zwei Hauptfunktionen erfüllt. Zum einen fungiert er als Nachweis für eine korrekte und ordnungsgemäße Zustellung von Waren an den Kunden und zum anderen liefert er detaillierte Informationen über den Umfang und die Art der bestellten Ware. Durch den Vergleich des Lieferscheins mit der Bestellung kann überprüft werden, ob die gelieferte Ware in Bezug auf Menge, Qualität und Art tatsächlich mit der bestellten Leistung übereinstimmt.¹⁴⁹ Außerdem dient der Lieferschein zur Rechnungsprüfung und wird in weiterer Folge für die Rechnungslegung verwendet. Nachfolgend ist ein Beispiel für einen Lieferschein von einem Transportbetonunternehmen dargestellt.

[illegible]Abbildung 5.7 Beispiel Lieferschein¹⁵⁰

5.9.1 Stärken Lieferscheine

Die Lieferscheine dienen unter anderem dazu, um die Korrektheit der Lieferung zu überprüfen. Durch sie ist es möglich die Lieferung auf Menge, Art und Qualität zu kontrollieren. Nach der Prüfung der Lieferung wird der Lieferschein i. d. R. vom Kunden, der die Ware empfangen hat unterzeichnet. Dies erhöht die Beweiskraft des Lieferscheines in nachträglichen Streitfällen.

Durch die vorliegenden Informationen auf den Lieferscheinen kann nachvollzogen werden, ob die Warenlieferung entsprechend des vereinbarten Zeitplans auf der Baustelle angekommen ist oder ob es zu Verzögerungen

¹⁴⁹ Vgl. <https://www.sage.com/de-de/blog/lexikon/lieferscheine/>. Datum des Zugriffs: 02.06.2023.

¹⁵⁰ BERNER, F.; KOCHENDÖRFER, B.; SCHACH, R.: Grundlagen der Baubetriebslehre 3. S.115

kam. Diese Verzögerungen können wiederum zu Störungen im Bauablauf führen, da das fehlende Material bereits eingebaut hätte sein müssen, obwohl es noch nicht einmal auf der Baustelle eingelangt ist. Durch den Begleitschein kann der AN dem AG nachträglich beweisen, dass diese Bauablaufstörung nicht aus seiner Sphäre stammt, sondern der Lieferant den Liefertermin nicht eingehalten hat. Außerdem kann durch die Verwaltung der einzelnen Lieferscheine der derzeitige Materialstand auf der Baustelle dokumentiert werden.

Mittlerweile gibt es auch die Möglichkeit die Lieferscheine digital zu führen. Der elektronische Lieferschein ist hierbei die digitale Variante des traditionellen Lieferscheins. Das Dokument wird entweder von einem System automatisch erstellt oder manuell von einem Mitarbeiter oder einer Mitarbeiterin. Anschließend wird es elektronisch dem Kunden überliefert. Der Kunde kann dann durch eine digitale Unterschrift (elektronische Signatur) den Empfang der Ware bestätigen. Durch diese Technologie können die Lieferscheine deutlich effizienter bearbeitet und verwaltet werden.¹⁵¹

5.9.2 Schwächen Lieferscheine

Die im Vorhinein beschriebenen digitalen Lieferscheinen kommen jedoch noch immer sehr selten zum Einsatz. Am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft an der TU Graz ist derzeit zu diesem Thema auch eine Masterarbeit ausgeschrieben, die untersuchen soll, wieso digitale Lieferscheine in der Bauwirtschaft noch immer nur sehr geringfügig zum Einsatz kommen.¹⁵² Aktuell werden digitale Lieferscheine vor allem von Transportbetonunternehmen eingesetzt.¹⁵³

Die Realität auf den gegenwärtigen Baustellen sieht häufig so aus, dass eine sehr unstrukturierte „Zettelwirtschaft“ bei der Verwaltung der Lieferscheine herrscht. Es kommt häufig vor, dass Lieferscheine zu lange auf der Baustelle herumliegen und nicht an die Buchhaltung weitergegeben werden. Dadurch wird eine Verzögerung erzeugt zwischen der eigentlichen Lieferung und der Rechnungsprüfung. Dies führt in weiterer Folge zu einer verspäteten Rechnungslegung gegenüber dem Auftraggeber.

Der schlimmste Fall bei der Verwaltung von Lieferscheinen ist, wenn diese verloren gehen. Der Verlust eines oder mehrerer Lieferscheine erzeugt einen internen Mehraufwand der laut *Walker* Kosten bis zu 100 Euro pro Lieferschein erzeugen kann.¹⁵⁴

¹⁵¹ Vgl. [https://www.opheo.com/experten-blog/elektronischer-lieferschein-was-ist-das/#:~:text=Ein%20elektronischer%20Lieferschein%20wird%20entweder,digitale%20Unterschrift%20\(elektronische%20Signatur\).](https://www.opheo.com/experten-blog/elektronischer-lieferschein-was-ist-das/#:~:text=Ein%20elektronischer%20Lieferschein%20wird%20entweder,digitale%20Unterschrift%20(elektronische%20Signatur).) Datum des Zugriffs: 02.06.2023.

¹⁵² Vgl. https://lampz.tugraz.at/~bbw/MA_Tool/topics.html. Datum des Zugriffs: 02.06.2023

¹⁵³ Vgl. LOIK, R.: Potential und tatsächliche Nutzung digitaler Werkzeuge in kleinen und mittleren ausführenden Bauunternehmen in Kärnten. S. 34.

¹⁵⁴ Vgl. WALKER, H.: Die optimierte Baustellenabwicklung. Geldwerte Praxistipps für Vorbereitung und Durchführung. S. 52f.

Des Weiteren kann es durch die manuelle Ausarbeitung von Lieferscheinen zu Ungenauigkeiten und Fehlern in den Dokumenten kommen. Auch Unleserlichkeiten bei händisch ausgefüllten Dokumenten können zu Missverständnissen in der weiteren Bearbeitung führen.

Zusammenfassend werden die Stärken und Schwächen von Lieferscheinen tabellarisch dargestellt:

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Korrektheit der Lieferung kann überprüft werden • Dokumentation über den aktuellen Materialstand möglich • Digitale Lieferscheine erleichtern den Bearbeitungsprozess • Beweismittel bei Konflikten 	<ul style="list-style-type: none"> • Unleserlichkeiten • Unvollständigkeiten • Geringe Anwendung von digitalen Lieferscheinen in der Bauwirtschaft • Lieferscheine werden stark verspätet bei der Buchhaltung abgegeben • Lieferscheine gehen teilweise verloren

Tabelle 5.11 Stärken/Schwächen Lieferscheine

5.10 Zusammenfassung IST-Dokumentationsmittel

Die Ausarbeitung der Stärken und Schwächen der derzeitigen Dokumentationsmittel lässt feststellen, dass vor allem Ungenauigkeiten und Unvollständigkeiten ein Problem in der derzeit weitgehendst manuellen Datenerfassung sind. Dies liegt einerseits am hohen Bearbeitungsaufwand bei der Erfassung des Baustellengeschehens und andererseits am geringen Bewusstsein des Baustellenpersonals wie wichtig die genaue Protokollierung der Tätigkeiten ist. Außerdem erzeugen die oben angeführten Dokumentationstools eine Remanenz zwischen dem tatsächlichen Baugeschehen und der späteren Datenerfassung, was in weiterer Folge zu Informationsverlusten führen kann. Zusätzlich ist auch die Zuordnung der elementaren Produktionsfaktoren zu den einzelnen Baustellentätigkeiten mittels der aktuellen Dokumentationsmittel meist sehr ungenau oder aufgrund des unzureichenden Detailierungsgrades nicht möglich.

Ungenau und fehlerhafte Protokollierungen führen häufig zu Missverständnissen zwischen den Vertragsparteien. Um die Möglichkeiten zur Verbesserung der derzeitigen Dokumentation zu untersuchen, werden im nachfolgenden Kapitel verschiedene Digitalisierungspotenziale analysiert, die die Datenerfassung auf Baustellen erleichtern. Hierbei wird auch untersucht, inwieweit eine automatisierte Datenerfassung auf der Baustelle mittels neuer Technologien möglich ist. Eine automatisierte Datenerfassung würde den Arbeitsaufwand des Baustellenpersonals und die Fehleranfälligkeit in der Dokumentation deutlich reduzieren und zusätzlich auch die Remanenz zwischen dem Baustellengeschehen und der Datenerfassung verringern.

6 Chancen und Risiken durch den Einsatz neuer Technologien im Bereich der Baustellendokumentation

In diesem Kapitel werden die Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken neuer Technologien im Bereich der Datenerfassung näher analysiert und untersucht welchen Nutzen sie für die Baustellendokumentation erzeugen können.

Die Baubranche zählt zu einen der am geringsten digitalisierten Branchen und hat daher einen Aufholbedarf in der Zukunft. Durch den geringen Digitalisierungsgrad wird eine Ineffizienz in der Arbeitsweise erzeugt, welche vor allem auf eine projektorientierte anstatt einer prozessorientierten Denkweise in der Baubranche zurückzuführen ist. Durch fehlende Akzeptanz und der Scheu vor hohen Investitionskosten schreitet die Industrie 4.0 in der Baubranche nur sehr langsam voran, obwohl durch die neuen Technologien enorme Optimierungspotenziale möglich sind.¹⁵⁵

Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel vier Technologien näher analysiert die durch die Nutzung auf Baustellen einen technologischen Fortschritt für die Baubranche erzeugen. Die vier Technologien lauten wie folgt:

- Künstliche Intelligenz
- Internet of Things (IoT)
- Photogrammetrie und Laserscanning
- Drohnen und Robotik

Diese Technologien sind derzeit im Trend bei der Datenerfassung im Bereich der Baustellendokumentation und wurden deshalb in diesem Kapitel mittels SWOT-Analyse näher beleuchtet, um in weiterer Folge die Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien für den Anwendungsfall auf der Baustelle. Die beiden Technologien Photogrammetrie und Laserscanning sowie Drohnen und Robotik wurden hierbei im Verbund bewertet, wobei die Photogrammetrie und das Laserscanning vor allem zum Aufnehmen von Bauwerksdaten dient und Drohnen und Robotik Trägergeräte sind, die mit den verschiedensten Sensoren ausgestattet werden können. Es ist hierbei anzumerken, dass diese Technologien nicht vollkommen unabhängig voneinander gesehen werden dürfen, da sie häufig im Verbund eingesetzt werden und durch die Kombination der einzelnen Innovationen erst ihr volles Nutzungspotenzial ausschöpfen. Jedoch ist für die Bewertung der Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien in diesem Kapitel eine strikte Trennung notwendig.

Die ausgearbeiteten SWOT-Analysen sollen den Unternehmen der Baubranche dabei helfen je nach Anwendungsfall die geeigneten Technolo-

¹⁵⁵ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 9.

gien zu ermitteln und zusätzlich die Nutzungspotenziale solcher Innovationen aufzeigen. Nur durch das Verständnis der Potenziale der einzelnen Digitalisierungstrends können die Vorteile für die Baustellendokumentation voll ausgeschöpft werden. Außerdem werden die derzeitigen Schwächen und der Forschungsbedarf im Bereich der einzelnen Innovationen aufgezeigt.

Des Weiteren ist anzumerken, dass in diesem Kapitel nur die einzelnen Technologien und der Einsatz dieser im Bereich der Datenerfassung auf Baustellen untersucht wird. Die genaue weitere Datenverwaltung und detaillierte Beschreibung von Cloud Lösungen, Bauwerksmodellen und Erstellung von Dashboards ist nicht Gegenstand dieser SWOT-Analyse. Bei den Analysen werden die einzelnen Technologien zuerst allgemein beschrieben und die Funktionsweise näher erläutert. Danach werden die bereits derzeitigen Anwendungsfälle im Bereich der Baustellendokumentation geschildert, um ein Gefühl für die Nutzungspotenziale dieser Anwendungen zu erhalten. Zum Abschluss jedes Abschnittes werden die Stärken und Schwächen der einzelnen Technologien näher beschrieben und zusätzlich die Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation analysiert. Die Ergebnisse werden dann noch einmal in einer SWOT-Analyse zusammenfassend dargestellt.

6.1 Künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Bereich der Informatik, der sich mit der Entwicklung von intelligenten Maschinen und Systemen befasst, die menschenähnliches Denken, Lernen und Entscheiden ermöglichen. Im Kern geht es darum, Computer und Programme zu entwickeln, die in der Lage sind, Aufgaben auszuführen, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordert. Die Grundlage der künstlichen Intelligenz liegt in der Verarbeitung großer Datenmengen und der Identifizierung von Mustern und Zusammenhängen. Durch den Einsatz von Techniken wie maschinellem Lernen, neuronalen Netzwerken und Datenanalysen können Computer Fähigkeiten entwickeln, die traditionell als menschlich angesehen werden. Dazu gehören Sprachverarbeitung, Bilderkennung, Spracherkennung, Entscheidungsfindung und das Lernen aus Erfahrungen.¹⁵⁶



Abbildung 6.1 Symbolfoto Künstliche Intelligenz¹⁵⁷

Künstliche Intelligenz wird bereits seit dem Jahre 1956 erforscht und gilt als Sammelbegriff für die verschiedensten Technologien, welche sich im Laufe der Zeit in diesem Bereich entwickelt haben.¹⁵⁸

Eine der KI-Technologien ist das statistische Machine Learning. Bei dieser Methode gewinnen Algorithmen aus Daten Erkenntnisse und treffen Vorhersagen, ohne dass sie explizit programmiert werden müssen. Neuronale Netzwerke stellen eine weiterentwickelte Form des maschinellen Lernens dar. In einem solchen Netzwerk erlernt ein Algorithmus Muster und Zusammenhänge aus Beobachtungsdaten und verarbeitet diese Informationen auf eine Weise, die der Funktion des menschlichen Gehirns nachempfunden ist. Eine Weiterentwicklung der neuronalen Netze ist das Deep Learning, wobei diese Technologie ein vielschichtiges neuronales Netz beinhaltet, welches die Daten in mehreren Teilprozessen verarbeitet. Dabei nutzt die zweite Schicht den Output der ersten Schicht als Input und

¹⁵⁶ Vgl. KAUFMANN, T.; SERVATIUS, H.-G.: Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer. S. 129 ff.

¹⁵⁷ <https://www.dgq.de/fachbeitraege/was-ist-kuenstliche-intelligenz>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023.

¹⁵⁸ Vgl. KAUFMANN, T.; SERVATIUS, H.-G.: Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer. S. 4.

die Daten fließen zwischen den einzelnen Schichten hin und her. Eine weitere Technologie, die derzeit in den Medien sehr präsent ist, ist das Natural Language Processing. Viele Unternehmen arbeiten gerade an dieser Technologie und entwickeln Chatbots und Textgenerierungsprogramme, die es ermöglichen menschliche Sprache zu verstehen und diese auch zu generieren.¹⁵⁹ Zusätzlich kann die KI auch im Zusammenspiel mit anderen Innovationen genutzt werden, was im weiterführenden Kapitel näher erläutert wird.

Nachfolgend sind die verschiedenen Technologien im Bereich der künstlichen Intelligenz tabellarisch dargestellt:

KI-Technologien	Erläuterung	Beispiele
Statistical Machine Learning	Algorithmen lernen aus Daten und machen Vorhersagen	Marketinganalyse
Neural Networks	Beobachtungsdaten werden ähnlich wie bei einem biologischen Nervensystem verarbeitet	Wettervorhersagen
Deep Learning	Training eines vielschichtigen neuronalen Netzwerks	Bilderkennung
Rule-based Expert Systems	Ableitung von logischen Regeln aus der Erfahrung von Experten	Kreditprüfungen
Natural Language Processing (NLP)	Statistisches NLP basierend auf Maschine Learning oder Semantisches NLP	Spracherkennung, Chatbots, intelligente Agenten
Physical Robots	Automatisierung physischer Aktivität	Produktion, Lagerhäuser
Robotic Process Automation	Automatisierung strukturierter Abläufe und Aufgaben	Ersatz von Kreditkarten

Tabelle 6.1 KI-Technologien¹⁶⁰

Die Nutzung von neuronalen Netzwerken auf Baustellen bietet ein hohes Potenzial, und infolgedessen werden die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie bereits intensiv erforscht.¹⁶¹ Aber wie sind diese neuronalen Netzwerke aufgebaut und wie funktionieren sie?

Ein neuronales Netzwerk besteht aus einer Sammlung von miteinander verbundenen künstlichen Neuronen, auch als „Knoten“ oder „Units“ bezeichnet. Jedes Neuron empfängt Eingangssignale, multipliziert sie mit Gewichten und wendet Funktionen an, um eine Ausgabe zu generieren. Damit das Neuron den gegebenen Input in einen Output umwandeln kann, sind i. d. R. drei hintereinanderliegende Funktionen auszuführen. Die Funktionen werden als Propagierungs-, Aktivierungs- und Outputfunktion bezeichnet. Die Gewichte dienen dazu, die Stärke der Verbindungen zwischen den einzelnen Neuronen während des Lernprozesses anzupassen. Die Neuronen werden hierbei in verschiedenen Schichten angeordnet,

¹⁵⁹ Vgl. KAUFMANN, T.; SERVATIUS, H.-G.: Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer. S. 5.

¹⁶⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an: KAUFMANN, T.; SERVATIUS, H.-G.: Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer. S. 4.

¹⁶¹ Vgl. MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 147.

welche auch als „Layer“ bezeichnet werden. Ein Layer ist hierbei eine Gruppe von Neuronen, die eine bestimmte Funktion erfüllt. In einem neuronalen Netzwerk wird grundlegend zwischen der Eingangsschicht, den verborgenen Schichten und der Ausgangsschicht unterschieden. Die Eingangsschicht nimmt hierbei die Eingabedaten auf, wobei jedes Neuron in dieser Schicht einen Wert oder ein Merkmal der Eingabe repräsentiert. Zwischen der Eingangsschicht und der Ausgangsschicht liegen die verborgenen Schichten. Die Anzahl und Größe der verborgenen Schichten kann je nach Netzwerkarchitektur variieren. Jedes Neuron in den verborgenen Schichten empfängt Eingangssignale von den Neuronen in den vorherigen Schichten und gibt Ausgangssignale an die Neuronen in der nächsten Schicht weiter. Die letzte Schicht des neuronalen Netzwerks wird als Ausgangsschicht bezeichnet. Diese Schicht generiert je nach Aufgabenstellung die endgültigen Ausgaben oder Vorhersagen. Die Anzahl der Neuronen in der Ausgangsschicht hängt von der Art der Aufgabe ab. Bei einer Klassifikationsaufgabe mit beispielsweise zwei Kategorien gibt es normalerweise zwei Ausgangsneuronen, wobei jedes Neuron die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dass die Eingabe zu einer bestimmten Kategorie gehört. Die Verwendung von mehreren verborgenen Schichten ermöglicht es dem neuronalen Netzwerk, komplexe Muster und Abhängigkeiten in den Daten zu erfassen und zu lernen.¹⁶²

In der nachfolgenden Abbildung ist schematisch ein neuronales Netz zur Bildererkennung eines Schalungselementes grafisch dargestellt. Man kann hierbei die einzelnen Neuronen mit ihren gewichteten Verbindungen erkennen und zusätzlich die einzelnen Schichten bzw. Layer des neuronalen Netzes.

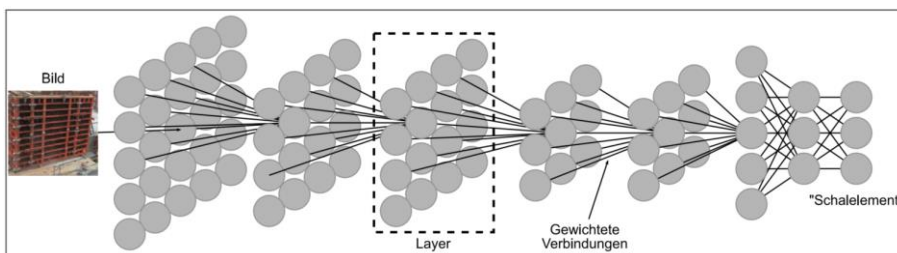


Abbildung 6.2 Schematische Darstellung eines neuronalen Netzes¹⁶³

Der Lernprozess eines neuronalen Netzwerks besteht darin, die Gewichte basierend auf Beispielen oder Trainingsdaten anzupassen. Dies geschieht durch eine Rückkopplungsschleife, bei der die Ausgaben des Netzwerks mit den erwarteten Ergebnissen verglichen werden und ein

¹⁶² Vgl. STÖCKL, R.: Einsatzmöglichkeiten von neuronalen Netzen im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. S.7ff.

¹⁶³ MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 144.

Fehler berechnet wird. Dieser Fehler wird dann verwendet, um die Gewichte entsprechend anzupassen und die Leistung des Netzwerks zu verbessern.

Die neuronalen Netze können mittels folgender drei Varianten trainiert werden:¹⁶⁴

- **Reinforcement Learning:** Die erste Variante ist das Reinforcement Learning. Bei dieser Lernmethode wird die Belohnung für eine Handlung aus der Umgebung des Systems abgeleitet. Ein Beispiel hierfür ist ein Avatar in einer virtuellen Umgebung, der einen Punktabzug erhält, wenn er gegen eine Wand läuft.
- **Supervised Learning:** Bei der Lernmethode Supervised Learning werden der KI-Kategorisierungsaufgaben gestellt. Die Berechnung der Belohnung für eine Ausgabe erfolgt auf Grundlage der Trefferquote des Systems, wobei die Definition der Treffer von Seiten des Nutzers oder der Nutzerin festgelegt wird. Ein anschauliches Beispiel hierfür ist, wenn ein System in einem Bild einen Bauhelm erkennt und dies vom Anwender oder der Anwenderin bestätigt wird. In diesem Fall wird dem System ein Punkt gutgeschrieben, weshalb diese Methode auch als Lernen-aus-Beispielen bezeichnet wird.
- **Unsupervised Learning:** Die dritte Lernmethode ist das Unsupervised Learning. Hierbei versucht das System die Daten einer bestimmten Kategorie zuzuordnen. Ein Beispiel wäre das automatische Kategorisieren von Bildern und Dokumenten in der Baustellendokumentation.

Mithilfe dieser Lernmethoden kann die KI für die verschiedensten Bereiche während des Bauprojektes eingesetzt werden, welche nachfolgend beschrieben werden. Es wird vor allem auf die Möglichkeiten eingegangen, wie die KI bei der Dokumentation der Baustellenprozesse unterstützend eingesetzt werden kann und diese dadurch effizienter gestaltet.

6.1.1 Anwendungsgebiete der künstlichen Intelligenz in der Baubranche

Künstliche Intelligenz wird auf gegenwärtigen Baustellen derzeit noch sehr selten genutzt. Dies ergab auch eine Onlineumfrage im Jahre 2022 des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) bei der 139 Unternehmen aus der Baubranche teilnahmen. Lediglich 8 % der Befragten Personen gaben an, dass KI-

¹⁶⁴ Vgl. MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 144.

gestützte Prozesse schon regelmäßig im Unternehmen eingesetzt werden.¹⁶⁵

Trotz dieser geringen Nutzung der Technologie gibt es schon zahlreiche Untersuchungen und Pilotprojekte zum Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Bauindustrie. Schon im Jahre 1989 beschäftigte sich *Hojjat Adeli* mit der Anwendung von künstlicher Intelligenz im Bauwesen. Hierbei untersuchte er den Einsatz von Neuronen für Tragfähigkeitsberechnungen von Stahlträgern. Häufig wird die künstliche Intelligenz zu Fragestellungen betreffend Kosten, Risikomanagement, Produktivität, Sicherheit auf Baustellen, Aufwandswerte und Leistungswerte eingesetzt. Hierbei dient die Technologie vor allem dazu Prognosen zu erstellen. Dafür wird die KI zuvor mit einem Datensatz trainiert, um Prognostizierungen über Baustellenkennwerte zu erzeugen. Je größer und besser die Qualität des verwendeten Datensatzes ist, desto besser ist die generierte Vorhersage der KI. Ein Beispiel für solch eine Prognose ist die Ermittlung der Dauer von Bewehrungs- und Betonierarbeiten mittels neuronaler Netze. Hierfür modellierten *Golizadeh et al.* ein neuronales Netz, welches mit einem Datensatz von 156 Trägern sowie 100 Stützen für die Bewehrungsverlegung und 146 Trägern und 7 Stützen für das Betonieren trainiert wurde. Durch dieses Modell wurde die Prognosegenauigkeit der Dauern für die einzelnen Vorgänge deutlich erhöht.¹⁶⁶

Die gegenständliche Arbeit bezieht sich jedoch vor allem auf die Anwendungsgebiete von künstlicher Intelligenz im Bereich der Baustellendokumentation. Deshalb wird nachfolgend ein Anwendungsversuch näher beschrieben der eine kontinuierliche Dokumentation der Baustellengeschehnisse ermöglicht.

In diesem Experiment wurde versucht mittels künstlicher Intelligenz Personen auf Bildaufnahmen zu erkennen. Es kam eine Software zum Einsatz, die ein Convolutional Neural Network mit der NN-Architektur „ZFNet“ verwendet.¹⁶⁷ Das neuronale Netz verwendet hierbei die vorher beschriebene Lernmethode des Supervised Learning. Zum Trainieren des Netzes wurde der VOC2007 Datensatz verwendet, welcher hauptsächlich Objekte aus dem häuslichen Bereich unterscheidet. Dieser wurde in weiterer Folge mit spezifischen Baustellendaten ergänzt. Für das Experiment wurden drei versetzt angeordnete Kameras installiert, um so eine weitwinklige Videoaufnahme zu erzeugen. Die Videoaufnahmen werden danach in ein System eingespielt, welches die gesuchten Objekte im Einzelbild markiert. Bei der Durchführung des Experiments hat die KI mit einer äußerst hohen

¹⁶⁵ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: *Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche*. S. 32.

¹⁶⁶ Vgl. STÖCKL, R.; HOFSTADLER, C.: *Neuronale Netze im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft*. In: *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*. S. 132.

¹⁶⁷ Vgl. ZEILER, M.; FERGUS, R.: *Visualizing and Understanding Convolutional Networks*. S. 110.

Trefferquote bei einer gleichzeitig sehr geringen Anzahl an Falschmeldungen die im Bild vorkommenden Personen markiert.¹⁶⁸

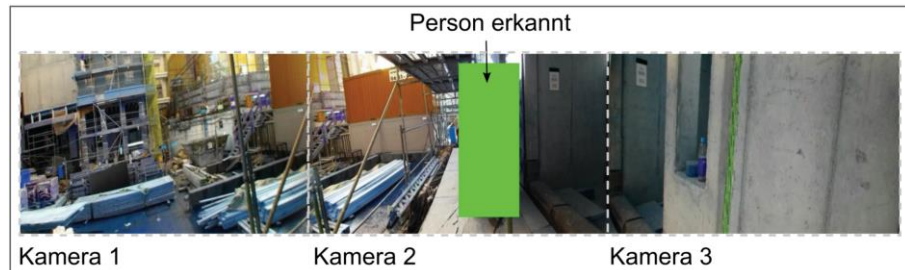


Abbildung 6.3 Personenerkennung auf Baustellenaufnahmen¹⁶⁹

Das beschriebene Projekt diene vor allem dazu Personen auf der Baustelle aufgrund von Datenschutzbestimmungen auf Fotos und Videoaufnahmen unkenntlich zu machen. Jedoch können durch die beschriebene Technologie jegliche Objekte auf Baustellenaufnahmen erkannt werden wie z.B. Materialien, Maschinen und auch Schutz- und Sicherheitsausrüstungen. Die Voraussetzung hierfür ist, dass es ein neuronales Netz gibt, was bereits auf diesen Anwendungsfall trainiert wurde.

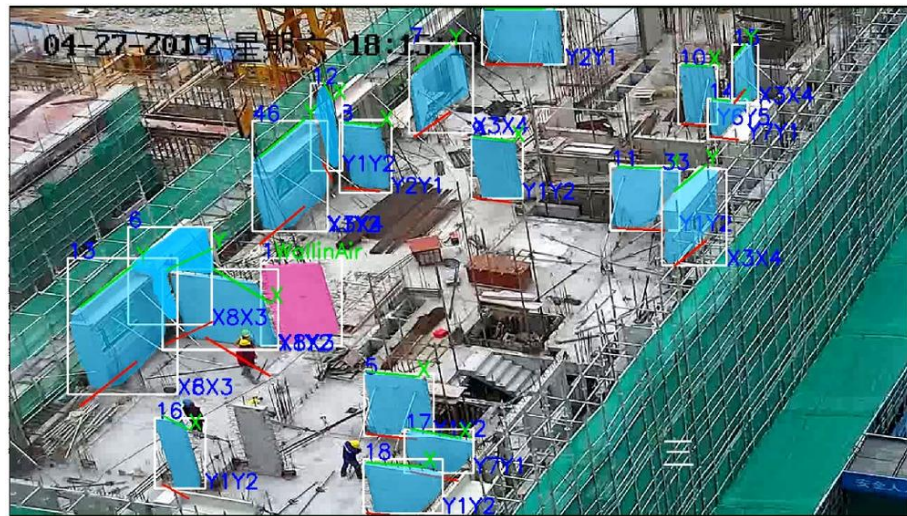


Abbildung 6.4 Erkennung von Baumaterialien¹⁷⁰

Das Unternehmen *Umdasch Group Ventures AG* arbeitet schon seit längerer Zeit an einer digitalen Baufortschrittserkennung mittels künstlicher Intelligenz und Bildaufnahmen. Durch ein 3D-Computer-Vision-System ist es möglich räumliche Positionen von Objekten und Personen zu erfassen. Dadurch können Baufortschritt, Abläufe und Prozesse in nahezu Echtzeit

¹⁶⁸ Vgl. MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 146.

¹⁶⁹ MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 146.

¹⁷⁰ WANG, Z. et al.: Vision-Based Framework for Automatic Progress Monitoring of Precast Walls by Using Surveillance Videos during the Construction Phase S. 110.

ermittelt und dokumentiert werden. Nach der Erfassung werden die Daten gemäß den Angaben der Entwickler*innen in ein digitales BIM-Modell integriert, welches die generierten Daten für den Nutzer oder die Nutzerin verständlich in einem 3D-Modell aufbereitet. Dadurch können die Informationen für weitere Analysen und Entscheidungen genutzt werden. Das entwickelte System ist derzeit allerdings noch ein Prototyp und ist noch nicht auf den Markt erhältlich.¹⁷¹

Zusätzlich kann die KI auch bei den derzeit üblichen Dokumentationsmitteln, welche in Kapitel 5 beschrieben wurden eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist die automatische Textgenerierung durch Bildaufnahmen, wodurch die Technologien der optischen Zeichenerkennung (OCR) und des maschinellen Lernens der Text aus einer Bilddatei erkannt werden kann. Die Vorgehensweise hierbei lautet wie folgt:¹⁷²

- **Bilderkennung:** Hierbei wird das Bild von der KI analysiert, um den Bereich zu identifizieren, der potenziellen Text enthält. Dies kann mithilfe von Algorithmen des maschinellen Lernens erfolgen, die auf visueller Mustererkennung basieren.
- **Texterkennung:** In diesem Schritt extrahiert die KI den Text aus dem identifizierten Bereich des Bildes. Dies wird durch die Anwendung von OCR-Algorithmen erreicht, die die Formen der Buchstaben und deren Anordnung analysieren, um den Text zu erkennen.
- **Textgenerierung:** Nachdem der Text erkannt wurde, wendet die KI Algorithmen des maschinellen Lernens an, um den Text zu generieren und zu digitalisieren.

Diese Anwendungsmöglichkeit der KI kann dabei helfen, das Bearbeiten von Lieferscheinen und handschriftlichen Dokumenten deutlich zu erleichtern. Dadurch ist ein händisches Abtippen der auf den Zettel vorhandenen Daten nicht mehr notwendig.

Ein weiteres Anwendungsgebiet von künstlicher Intelligenz bei den derzeit üblichen Dokumentationsmitteln ist die automatische Generierung von Besprechungsprotokollen. Wie bereits im Abschnitt 5.3 beschrieben, erzeugen durch Personen verfasste Besprechungsprotokolle eine Subjektivität durch den Verfasser oder die Verfasserin. Diese kann durch die Verfassung mittels KI beseitigt werden.

Drei Absolventen der Technischen Universität Dresden haben das Unternehmen "SpeechMind" ins Leben gerufen, das sich speziell mit diesem Thema befasst. Auf Basis von Audioaufzeichnungen wird hierbei mittels

¹⁷¹ Vgl. <https://umdaschgroup-ventures.com/de/baufortschrittserkennung>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023.

¹⁷² Vgl.: <https://azure.microsoft.com/de-de/services/cognitive-services/form-recognizer/#features>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023

künstlicher Intelligenz ein automatisches Besprechungsprotokoll generiert.¹⁷³ Um dies zu erreichen muss die KI das Gesprochene in Text umwandeln und aus diesem Text die wichtigsten Besprechungspunkte herausfiltern, um das Protokoll in weiterer Folge nachvollziehbar und direkt nutzbar zu gestalten.

Wie man durch diesen Abschnitt erkennen kann, gibt es zahlreiche unterschiedliche Möglichkeiten für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Baustellendokumentation. Es ist anzumerken, dass die Technologie der künstlichen Intelligenz zusätzlich auch im Zusammenhang mit anderen innovativen Technologien in Kombination genutzt werden kann. In der Beschreibung der weiteren Innovationen zur Datenerfassung im Bereich der Baustellendokumentation wird auf dies noch näher eingegangen.

6.1.2 Stärken und Chancen der KI für die Baustellendokumentation

Ein Vorteil von künstlicher Intelligenz gegenüber von menschlichem Wissen ist, dass dieses Wissen über große Zeiträume gespeichert werden kann und nicht verloren geht. Bei individuellem Wissen von Baustellenpersonal geht dieses durch den Austritt der Person aus dem Unternehmen verloren und führt zu einem Wissensverlust, welcher nur durch neues erfahrenes Baustellenpersonal kompensiert werden kann. Außerdem haben KI-Systeme gegenüber der menschlichen Intelligenz den Vorteil, dass diese deutlich schneller Informationen verarbeiten und analysieren können. Auch die Genauigkeit und Fehleranfälligkeit kann durch eine gut trainierte KI gegenüber der menschlichen Bearbeitung verbessert werden.¹⁷⁴

Ein weiterer Vorteil durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz ist die enorme Zeitersparnis in der Baustellendokumentation. Durch das automatisierte Erfassen der Baustellengeschehnisse wird das Baustellenpersonal entlastet, da aufwendige händische Protokollierungen dadurch deutlich reduziert werden. Zusätzlich fällt das aufwendige Abtippen von manuell erfassten Berichten mittels der automatischen Textgenerierung aus Bilddateien weg und auch das Verfassen von Besprechungsprotokollen kann durch die KI übernommen werden.

Eine weitere Stärke von neuronalen Netzen liegt im Umgang mit fehlerhaften Daten. Auch wenn während des Lernprozesses des Algorithmus teilweise fehlerhafte Trainingsdaten verwendet werden kann die KI trotzdem sehr gute Prognosen erstellen. Wichtig hierbei ist, dass der Datensatz ausreichend groß ist. Je größer der Datensatz ist, desto bessere Ergebnisse können erzielt werden.¹⁷⁵

¹⁷³ Vgl. <https://tu-dresden.de/forschung-transfer/transfer/newsboard/ki-gestuetzt-zum-automatischen-protokoll>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023

¹⁷⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Multisystemische Hybridpyramide für den agilen Baubetrieb. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 41.

¹⁷⁵ Vgl. STÖCKL, R.; HOFSTADLER, C.: Neuronale Netze im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 147.

Ein McKinsey-Bericht aus dem Jahr 2017 kam zum Ergebnis, dass die Produktivität auf Baustellen durch die Analyse von Daten mittels künstlicher Intelligenz um bis zu 50 % gesteigert werden kann. Dies liegt vor allem daran, dass durch die vorher beschriebenen Prognosemodelle Maschinen und Arbeitskräfte deutlich effizienter auf die einzelnen Baustellen-tätigkeiten verteilt werden können.¹⁷⁶

Wie bereits im Abschnitt 6.1.1 beschrieben ist mithilfe des maschinellen Sehens das Erfassen von Personen und Gegenständen auf Bildern und Videos in nahezu Echtzeit möglich. Bei einer umfassenden kontinuierlichen Videoaufzeichnung der Baustellentätigkeiten ermöglicht dies den Projektbeteiligten einen Überblick über die derzeit eingesetzten Ressourcen und den aktuellen Baustellenstand, was dabei helfen kann Fehler und Abweichungen im Bauablauf gegenüber dem Bau-SOLL früh zu erkennen. Durch die genaue Lokalisierung der einzelnen Produktionsfaktoren können diese zusätzlich den einzelnen Gewerken bzw. Tätigkeitsbereichen zugeordnet werden. Um dies zu erreichen, könnten im Modell vorher Baustellenabschnitte definiert werden, um den Ressourceneinsatz in diesen spezifischen Bereichen zu ermitteln. Die Größe der einzelnen Abschnitte ist hierbei je nach Projektart und Projektgröße anzupassen und muss erst durch empirische Analysen untersucht werden. Dies kann in weiterer Folge für die Analyse und Bearbeitung von Bauablaufstörungen genutzt werden, da durch die genaue Zuordnung der einzelnen Personen und Geräte zu den Tätigkeiten SOLL-IST-Vergleiche durchgeführt werden können und die gestörten Ressourcen durch die Aufzeichnung genau nachweisbar sind. Durch diese Vorgehensweise ist die in Kapitel 4 gerichtlich geforderte kausale Nachweisführung deutlich leichter umsetzbar.

Es ist hierbei anzumerken, dass die Einteilung in verschiedene Baustellenbereiche derzeit noch kaum empirisch getestet wurde. Jedoch besteht in der Einteilung der Ressourcen in die vorhandenen Bauabschnitte bzw. Gewerke eine enorme Chance für die Baustellendokumentation und die Nachweisführung von Bauablaufstörungen. Deshalb ist es nach Meinung des Autors auf jeden Fall anzuraten weitere Pilot- und Forschungsprojekte in diesem Bereich durchzuführen.

Der derzeitige Hype um künstliche Intelligenz resultiert jedoch nicht allein nur durch die intensive Forschungsarbeit und der Durchführung von Pilotprojekten. Vor allem ist er auf die gesteigerte Rechenleistung, die verbesserten Algorithmen und die Verfügbarkeit immer größerer Datenmengen zurückzuführen.¹⁷⁷

¹⁷⁶ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 36.

¹⁷⁷ Vgl. STÖCKL, R.; HOFSTADLER, C.: Neuronale Netze im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 134.

6.1.3 Schwächen und Risiken der KI für die Baustellendokumentation

Ein Faktor beim Einsatz von künstlicher Intelligenz ist die hohe Rechenleistung, welche beim Training der KI und der Erfassung der Daten benötigt wird. Wie in den vorhergehenden Kapiteln bereits beschrieben werden bei KI Systemen Entscheidungen nicht mehr programmiert, sondern durch einen Datensatz trainiert. Dieses Training verbraucht enorme Rechenkapazitäten, welche auch moderne Prozessoren vor eine Herausforderung stellen. Ein Beispiel hierfür ist das OpenAI GPT-3 Deep Learning Sprachsystem, bei dem es über 175 Milliarden verschiedene Parameter gibt. Das Training dieses Modells würde mit einem modernen 8 V100-GPUs etwa 36 Jahre dauern. Es ist hierbei jedoch anzumerken, dass das Sprachsystem OpenAI GPT-3 eine sehr mächtige KI ist und die auf Baustellen benötigten Systeme vermutlich deutlich geringere Rechenkapazitäten benötigen, jedoch ist die Rechenleistung für den Lernprozess und der Erfassung der Daten trotzdem nicht zu unterschätzen.¹⁷⁸

Im eigentlichen Training der neuronalen Netze liegt noch ein weiteres Problem, da es derzeit nicht ausreichend Bilddatenbanken für baustellen-typische Objekte gibt. Es gibt noch kein trainiertes neuronales Netz das sämtliche Objekte auf der Baustelle erkennen kann (Materialien, Menschen, PSA, usw.). Hierbei ist jedoch anzumerken, dass der Aufbau solcher Bilddatenbanken derzeit schon in der Umsetzung ist, jedoch nimmt dieser viel Zeit in Anspruch.¹⁷⁹

Des Weiteren ist das Erkennen von Zusammenhängen und Beziehungen eine deutliche Schwäche der künstlichen Intelligenz gegenüber der menschlichen Intelligenz¹⁸⁰ Ein Beispiel hierfür wäre das Erkennen eines neuen Baustellengerätes. Der Mensch erkennt hierbei das Gerät visuell und kann es durch seine Erfahrung einer gewissen Kategorie zuordnen. Hingegen ist es bei der Verwendung von künstlicher Intelligenz erforderlich, die KI erst mit Bildern des neuen Gerätes zu trainieren, damit es dieses erkennen kann. Auch widrige Witterungsbedingungen wie Regen oder Nebel können die Wahrnehmung der KI stark beeinträchtigen. Zusätzlich ist es durch das stationäre Aufstellen von Foto- und Videokameras sehr schwer sämtliche Baustellentätigkeiten zu erfassen, da es vor allem auf Hochbaubaustellen viele verschiedenen Räume und Bereiche gibt in denen Fachkräfte gleichzeitig tätig sind.

Die Akzeptanz der Baustellenfachkräfte ist ein weiterer Punkt, der bei der Einführung von neuen Technologien nicht vernachlässigt werden darf. Dies kann einerseits dadurch entstehen, dass das Fachpersonal zu wenig

¹⁷⁸ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 35.

¹⁷⁹ Vgl. MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. S. 147.

¹⁸⁰ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 662.

Vertrauen hinsichtlich der Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems hat, aber auch die mangelnde Vertrautheit mit solchen Technologien spielen hierbei eine Rolle.

Zusätzlich können die Fachkräfte berechtigte Bedenken gegenüber der Privatsphäre und des Datenschutzes beim Einsatz von künstlicher Intelligenz entwickeln. Video- und Fotoaufnahmen berühren nämlich hierbei laut Datenschutzgesetz die Menschenwürde. Eine Videoaufnahme von Fachkräften ist nur durch Zustimmung des Betriebsrates oder des Mitarbeiters möglich.¹⁸¹

Die Onlineumfrage des BMK aus dem Jahre 2022 ergab zusätzlich, dass Bauunternehmen vor allem den Mangel an Fachpersonal und das komplexe Schnittstellenmanagement als große Herausforderungen sehen, aber auch hohe Investitionskosten spielen eine Rolle, warum die künstliche Intelligenz noch weitgehendst nicht in den Unternehmen eingesetzt wird.¹⁸²

¹⁸¹ Vgl. <https://www.arbeiterkammer.at/ueberwachung-am-arbeitsplatz>. Datum des Zugriffs: 07.06.2023

¹⁸² Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 38.

6.1.4 SWOT-Analyse KI

Um die Stärken und Schwächen der künstlichen Intelligenz bzw. die Chancen und Risiken durch diese Technologie für die Bauwirtschaft zusammenzufassen wurde nachfolgend eine SWOT-Analyse zu dieser Thematik erstellt.

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Geringerer Wissensverlust gegenüber menschlichem Wissen • Automatisierte Datenerfassung möglich • Fernzugriff auf Daten möglich • Geringe Fehleranfälligkeit und hohe Genauigkeit • Durch stärkere Prozessoren sind in Zukunft noch bessere KIs zu erwarten • Robust gegenüber teilweise fehlerhaften Trainingsdaten 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Rechenleistung wird benötigt • Hoher Aufwand beim Trainieren der KI • Erkennung der Objekte bei Bildaufnahmen anfällig gegenüber widrigen Witterungseinflüssen • Zusammenhänge werden von der KI nur schwer erkannt • Technische Ausfälle möglich • Fehlinterpretation der Daten möglich • Regelmäßige Wartung und Anpassung der KI erforderlich • Derzeit noch sehr wenige Bilddatenbanken
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung von Qualität und Genauigkeit in der Dokumentation • Nahezu Echtzeitdatenerfassung bei Baustellenvorgängen möglich • Objekte und Personen können auf der Baustelle genau lokalisiert werden • Zeitersparnis in der Erfassung und Verwaltung der Dokumentation • Steigerung der Produktivität durch rasche Erkennung von Abweichungen im Bauablauf möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Widrige Witterungsbedingungen können die Datenerfassung stören • Datenschutzprobleme können auftreten • Akzeptanz der Mitarbeiter*innen gegenüber der Technologie • Mangel an Fachpersonal und hohes know-how erforderlich • Hohe Investitionskosten bei der Implementierung der KI • Geringer Technologiereifegrad kann zu derzeit noch unbekannten Problemen führen

Abbildung 6.5 SWOT-Analyse künstliche Intelligenz

6.2 Internet of Things (IoT)

Mit der Technologiebeschreibung der künstlichen Intelligenz wurde eine Variante veranschaulicht, wie es möglich ist Bauprozesse autonom zu erfassen. Eine weitere Möglichkeit, um dies zu erreichen ist das Internet der Dinge (IoT). Diese Technologie ist ein System, bei dem eine Vielzahl von physischen Geräten und Objekten miteinander verbunden wird und dadurch ermöglicht Daten untereinander austauschen können.

Durch die enorme Entwicklung in der Sensortechnologie ist das Potenzial der Erfassbarkeit von Prozessdaten deutlich gesteigert worden. Durch die Kombination von Sensoren und dem Einsatz von Funksystemen ist es möglich Bauprozessdaten in nahezu Echtzeit zu erhalten. Hierbei werden die Sensordaten mittels Funk übertragen und danach strukturiert, aufbereitet, gespeichert und ausgewertet. Die Daten können in weiterer Folge in einem Dashboard oder einem Bauwerksmodell für den Nutzer oder die Nutzerin übersichtlich und nachvollziehbar dargestellt werden und ermöglichen somit eine ortsunabhängige Bereitstellung der Baustellendaten, sofern ein Internetzugang verfügbar ist.¹⁸³ Nachfolgend ist der Aufbau eines solchen polysensoralen Systems schematisch dargestellt.

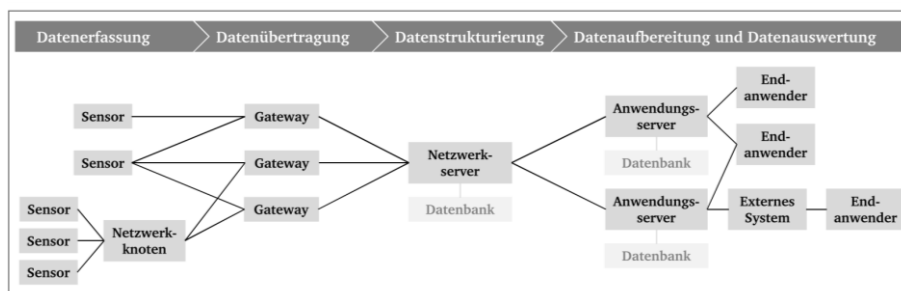


Abbildung 6.6 Schematischer Aufbau eines polysensoralen Systems¹⁸⁴

Sensoren sind aus der heutigen Welt nicht mehr wegzudenken und dienen als wesentliche Basis für Automatisierungslösungen. Sie werden zur Datenerfassung in die unterschiedlichsten Geräte eingebaut wie zum Beispiel Kameras, Drohnen oder Autos. Auch auf Baustellen spielen Sensoren eine große Rolle, da sie in der Lage sind Geschehnisse während des Bauablaufs zu erfassen und zu dokumentieren. Bei den Sensoren gibt es beispielhaft folgende verschiedene Typen:¹⁸⁵

- Temperatur und Feuchtigkeitssensoren
- Annäherungssensoren
- Beschleunigungssensoren

¹⁸³ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 661.

¹⁸⁴ MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 661.

¹⁸⁵ Vgl. <https://www.mokosmart.com/de/internet-of-things-sensors/> Datum des Zugriffs: 07.06.2023.

- Bewegungssensoren
- Standortsensoren
- Vibrationssensoren
- Gewichtssensor
- Optische Sensoren
- Sensoren zur Messung der Wasserqualität
- Bildsensoren
- Drucksensoren
- Gyroskope

Nachdem die Daten mittels der Sensoren erfasst wurden, müssen sie mittels Funktechnologie weitergeleitet werden. Bei den Funktechniken wird grundsätzlich zwischen Sender-Empfänger-Systemen und RTLS-Systemen grob unterschieden. Bei den Sender-Empfänger-Systemen erfolgt der Austausch von Informationen mittels elektromagnetischer Wellen. Für dieses Verfahren werden Antennen oder Mikrochips (sog. „Transponder“ oder „Tags“) an Objekten angebracht, welche mittels eines Senders ausgelesen werden können. Der Datenaustausch zwischen Sender und Empfänger erfolgt über induktive oder elektromagnetische Felder. Die Erfassungsreichweite kann je nach Art des Transponders und der örtlichen Gegebenheiten zwischen ein paar Zentimetern und mehreren hundert Metern betragen, wobei RFID-Tags derzeit weitgehendst nur für Entfernungen bis zu 10 Metern eingesetzt werden. Die verfügbare Speicherkapazität auf den Transpondern reichen je nach Bauart von wenigen Bytes bis zu mehreren Kilobytes. Des Weiteren kann bei RFID-Tags zwischen aktiven und passiven Transpondern unterschieden werden, wobei passive Transponder keine interne Energiequelle aufweisen und erst durch das Signal und die dadurch empfangene Energie des Lesegerätes aktiviert werden. Aktive Transponder hingegen verfügen über eine interne Energiequelle, die es ihnen ermöglicht, unabhängig vom Lesegerät zu arbeiten. Sie senden kontinuierlich ein Funksignal aus und verfügen über größere Reichweiten, jedoch sind die Kosten für aktive Transponder deutlich höher und zusätzlich müssen sie in regelmäßigen Abständen gewartet werden. Außerdem gibt es im Bereich der Sender-Empfänger-Systeme die Near Field Communication (NFC) Technologie. Im Gegensatz zur RFID-Technologie ist es mit NFC möglich einen Austausch von Daten zwischen zwei Geräten und damit eine Datenübertragung in beide Richtungen durchzuführen. Die maximal mögliche Reichweite liegt jedoch nur bei 10 cm.¹⁸⁶

¹⁸⁶ Vgl. BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. S. 20ff.

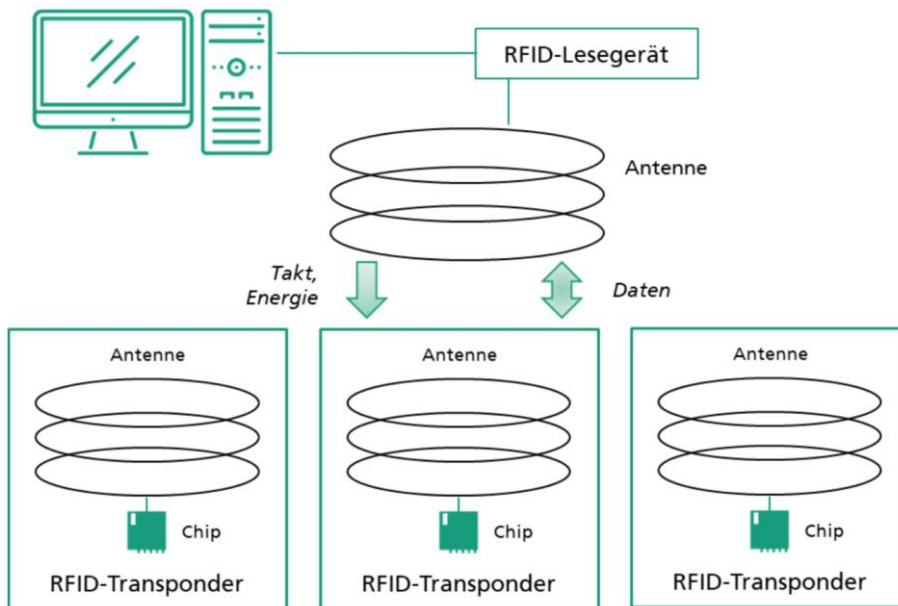


Abbildung 6.7 Bestandteile und Funktionsweise des RFID-Systems¹⁸⁷

Im Gegensatz zu Sender-Empfänger-Systemen ist es bei RTLS möglich kontinuierlich Daten auszutauschen und Informationen zu Standort und Eigenschaft eines Objektes in Echtzeit zur Verfügung zu stellen. RTLS können je nach Einsatzort untergliedert werden. Mobile Phone Tracking und GPS werden vor allem im Outdoor-Bereich eingesetzt, hingegen werden Bluetooth, WiFi, ZigBee und UWB hauptsächlich im Indoor-Bereich verwendet und zählen deshalb auch zu den Indoor Positioning Systems (IPS). Nachfolgend werden die verschiedenen RTLS-Systeme aufgezählt und kurz ihre Funktionsweise beschrieben:¹⁸⁸

- **Mobile Phone Tracking:** Hierbei erfolgt die Ortsbestimmung über ein Mobiltelefon, dass auf ein Funknetz zugreift.
- **Global Positioning System:** Bei dieser Technologie wird mittels Satelliten welche kontinuierlich Radiosignale senden eine exakte Position bestimmt.
- **Wireless Fidelity (WiFi):** Die Positionsbestimmung mittels WiFi kann einerseits mittels Received Signal Strength (RSS) zwischen Empfänger und WLAN-Signalsender erfolgen oder durch ein aktives WLAN-Signal, das vom Endgerät gesendet wird.
- **Bluetooth (BLE):** Zur Positionsbestimmung mittels BLE wird das Bluetooth Distance Measurement verwendet, welches die Position mittels RSS zwischen Empfänger und zahlreicher Transmitter berechnet.

¹⁸⁷ BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. S. 21.

¹⁸⁸ Vgl. BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. S. 29ff.

- **Ultra Wide Band (UWB):** Für die Lokalisierung werden Sendegeräte im Raum verteilt und die zu trackenden Objekte mit Sensoren versehen, um dadurch die Position der Gegenstände im Raum zu bestimmen.
- **ZigBee:** Bei ZigBee wird die Positionsbestimmung mittels kommunizierender Router ermittelt durch welche ähnlich wie bei WiFi und BLE mittels RSS die Position bestimmt werden kann.

Alle diese Technologien haben Vor- und Nachteile je nach Einsatzgebiet. Es ist bei der Wahl des Funksystems darauf zu achten, worin die Stärken und Schwächen der einzelnen Technologien liegen, um in weiterer Folge ein zufriedenstellendes Ergebnis für den spezifischen Anwendungsfall zu erzielen. In der gegenständlichen Arbeit wird versucht die Stärken und Schwächen der IoT-Technologie global zu bewerten und daraus die Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation zu erarbeiten. Es ist jedoch anzumerken, dass es auch möglich ist die einzelnen Funktechnologien untereinander nach ihren Stärken und Schwächen zu beurteilen. Dies wird in der nachfolgenden Tabelle überblicksmäßig dargestellt.

Technologie	Sender-Empfänger Systeme			Real Time Location Systems					
	RFID passiv	RFID aktiv	NFC	Mobile Phone	GPS	WiFi	Bluetooth	UWB	ZigBee
Reifegrad	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Verbreitungsgrad	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Informationsgehalt	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Genauigkeit	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fehleranfälligkeit	●	●	●	●	●	●	●	○	●
Reichweite	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Flexibilität	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Kosten	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Automatisierungsgrad	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Eignung indoor	●	●	●	●	○	●	●	●	●
Eignung outdoor	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Tabelle 6.2 Vor- und Nachteile beim Einsatz der verschiedenen Funktechniken¹⁸⁹

Im nachfolgenden Abschnitt werden konkrete Anwendungsbeispiele des Internets der Dinge (IoT) für die Baustellendokumentation genauer beschrieben, um die Funktionsweise und die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie verständlicher zu gestalten.

¹⁸⁹ Vgl. BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. S. 43.

6.2.1 Anwendungsgebiete von IoT in der Baubranche

Derzeit werden IoT- Anwendungen erst sehr selten auf Baustellen eingesetzt, jedoch planen laut einer Umfrage des BMK bereits 19 % der befragten Bauunternehmen eine zukünftige Nutzung und bei 20 % der Unternehmen werden bereits Pilotprojekte durchgeführt. Die Technologie ist vor allem bei der Vernetzung und Überwachung von Maschinen bereits fortgeschritten. Durch die verschiedenen Sensoriken ist es möglich Daten des Baugerätes wie z.B. Auslastung und Position der Maschine zu dokumentieren, jedoch kann die IoT-Technologie auch auf andere Bereiche der Baudurchführung angewendet werden. Nachfolgend werden zwei verschiedene Varianten dargestellt, wie IoT für die Dokumentation des Bauprozesses genutzt werden kann.¹⁹⁰

Im ersten Beispiel wird aufgezeigt, wie IoT für eine ereignisbasierte Bauprozessidentifikation genutzt werden kann. Bei dieser Identifikation wird der Prozessfortschritt durch die Erfassung von bestimmten Ereignissen dokumentiert. In den beiden Versuchen wurde durch einen Neigungssensor (sog. Gyroskop) der Einbau des Bauteils erfasst, wobei das Pilotprojekt an einem Bewehrungskorb für ein Schlitzwandsegment und einer Primärstütze durchgeführt wurde. Der Bewehrungskorb und die Primärstütze werden grundsätzlich horizontal auf der Baustelle gelagert und erst während des Einbaus vertikal aufgestellt. Darum bietet sich in diesen beiden Anwendungsfällen vor allem der Einsatz eines Neigungsmessers an, um den Bauprozess zu dokumentieren. Während des Aufstellens sendet der Sensor mittels geeigneter Funktechnologie Daten, die in weiterer Folge mit einem Bauwerksmodell oder einem Dashboard verknüpft sind. Sobald das Bauteil sich aus der horizontalen Lage in die vertikale Position bewegt, kann die Veränderung der Neigung mittels des Sensors erfasst werden und dadurch Rückschlüsse auf den Einbauzustand gezogen werden. Um die Daten für die weitere Analyse nutzbar zu gestalten, wurden die Bauteile mit einer Bauteil-ID versehen und in einem Bauwerksmodell verortet, wobei die Positionsbestimmung und Datenübertragung in diesem Anwendungsfall mit der Funktechnologie LoRa umgesetzt wurde. LoRa ist eine Funktechnologie die speziell für das Internet der Dinge entwickelt wurde und durch seine hohe Reichweite von mehreren Kilometern, eine gute Gebäudedurchdringung und einen geringen Energieverbrauch gut auf Baustellen eingesetzt werden kann. Im Bauwerksmodell konnten der Prozessstatus „Bauteil nicht eingebaut“, „Bauteil im Einbauzustand“ sowie „Bauteil eingebaut“ durch den Einsatz des Sensors visualisiert werden.¹⁹¹ Dies ermöglicht eine automatische Ermittlung der Dauer des Einbauprozesses und die dokumentierten Daten können zusätzlich für weitere Analysen und Prozessoptimierungen genutzt werden.

¹⁹⁰ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 43.

¹⁹¹ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 663.



Abbildung 6.8 Einbau Bewehrungskorb und Stütze mit Neigungssensor¹⁹²

Vor allem im Bereich der Logistik wird IoT in vielen Branchen schon eingesetzt, da es durch die Ortung der einzelnen Objekte möglich ist den Logistikprozess genau zu dokumentieren. Aus diesem Grund wurde am Institut für Baubetrieb an der TU Darmstadt in Kooperation mit Wirtschaftspartnern eine „Intelligente Palette“ für die Baustelle entwickelt, welches das Gewicht des Materials und die Positionierung der Palette auf der Baustelle bestimmen kann. Hierfür wurde ein Gewichtssensor in die Palette integriert, um die Last der auf der Palette befindlichen Materialien zu ermitteln. Zusätzlich wurden die Paletten mit Funktechnologie ausgestattet, um eine genaue Positionsbestimmung zu ermöglichen, wobei in diesem Pilotprojekt die Funktechnologien BLE, UWB und LoRa eingesetzt wurden, welche schon in diesem Kapitel weiter oben beschrieben wurden. Durch Vernetzung mittels Funk können die erfassten Daten wiederum in einem Dashboard visualisiert werden und ermöglichen somit eine Erfassung des Logistikstandes in nahezu Echtzeit.¹⁹³

6.2.2 Stärken und Chancen von IoT für die Baustellendokumentation

IoT erzeugt eine Vernetzung verschiedenster Sensoren und ermöglicht dadurch eine umfassende Betrachtung der einzelnen Baustellenvorgänge. Durch die Funktechnologien ist es möglich auf diese generierten Daten gesamtheitlich und in nahezu Echtzeit aus der Ferne zuzugreifen. Je nach Befugnis können die verschiedenen Projektbeteiligten die generierten Daten gemeinsam Nutzen, was zu einer besseren Kommunikation und einem effizienteren Datenaustausch zwischen den einzelnen Teams führt.

Studien haben ergeben, dass durch den Einsatz von IoT auf Baustellen eine Kosteneinsparung von 22 - 29 % erreichbar ist.¹⁹⁴ Durch die Implementierung von polysensoralen Systemen besteht die Möglichkeit, mittels

¹⁹² MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 663.

¹⁹³ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Zur Relevanz der Baulogistik. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 90.

¹⁹⁴ Vgl. GHOSH, A.; EDWARDS, D.; HOSSEINI, M.: Patterns and Trends in Internet of Things (IoT) Research: Future Applications in the Construction Industry. S. 5.

der dadurch erzeugten automatisierten Dokumentation eine verbesserte Koordination und Analyse von Bauprozessen zu erreichen, was infolgedessen zu einer erhöhten Effizienz des Ressourceneinsatzes auf der Baustelle führt. Außerdem lässt sich durch die automatisierte Datenerfassung der Aufwand für die Erstellung der Dokumentationen erheblich reduzieren, was zu einer Zeit- und Kostenersparnis führt.

Durch die Visualisierung der erfassten Daten in einem Bauwerksmodell oder einem Dashboard können zeitnah SOLL-IST-Vergleiche des Bauablaufs durchgeführt werden, da es durch die generierten Informationen möglich ist den aktuellen Baustellenstand in nahezu Echtzeit abzurufen.¹⁹⁵ Dies kann wiederum dabei helfen Abweichungen und Störungen im Bauablauf zu identifizieren. Wie bereits bei der Künstlichen Intelligenz beschrieben ist es durch die genaue Positionsbestimmung mittels Funktechnologie auch möglich sämtliche Objekte auf der Baustelle genau zu lokalisieren und den zuvor definierten Fertigungsabschnitten zuzuordnen. Die genaue Lokalisierung kann dazu genutzt werden, um die gestörten Produktionsfaktoren im Falle einer Bauablaufstörung genau zu ermitteln und in weiterer Folge eine aussagekräftige Nachweisführung der Bauablaufstörungen durchzuführen.

Eine weitere Chance durch die IoT-Technologie ist das gezielte Tracken des Baustellenpersonals, welche bereits in Pilotprojekten untersucht wird. Hierbei wird das Baustellenpersonal mit Funkgeräten ausgestattet, welche die genaue Positionsbestimmung der Arbeitskraft ermöglichen. Dies kann einerseits dazu genutzt werden das Baustellenpersonal ihren Tätigkeiten zuzuordnen, aber auch zur Erhöhung der Sicherheit kann die genaue Positionsbestimmung beitragen, da die Technologie es ermöglicht das Personal zu warnen, wenn es sich in einem gefährlichen oder unbefugten Bereich aufhält. Durch die kontinuierliche Ortung von Geräten und Materialien mittels Funktechnologie kann auch die Anzahl der Diebstähle reduziert werden, da das Objekt ständig verfolgt werden kann.

Eine große Stärke der Technologie ist, dass die Hardware der Sensoren und Funkgeräte sehr widerstandsfähig ist und somit für die widrigen Witterungsbedingungen auf Baustellen gut geeignet ist. Bei dem vorher beschriebenen Anwendungsfall des Bewehrungskorbes konnten trotz des Einbetonierens der Funktechnologie weiterhin Signale empfangen werden.¹⁹⁶ Außerdem ist die Technologie durch eine passende Ummantelung unter anderem resistent gegen Schmutz, Feuchtigkeit und chemische Einflüsse.¹⁹⁷

Bei der Anwendung von polysensoralen Systemen steht eine umfangreiche Auswahl an verschiedensten Sensoren und Funktechnologien zur

¹⁹⁵ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Zur Relevanz der Baugistik. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 90.

¹⁹⁶ Vgl. MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. S. 663.

¹⁹⁷ Vgl. BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. S. 50.

Verfügung, die es ermöglichen, die geeignete Technologie entsprechend des spezifischen Anwendungsfalls auszuwählen. Es ist jedoch anzumerken, dass die Art des Sensors und der Funktechnologie je nach Einsatzszenario einen beträchtlichen Einfluss auf die Genauigkeit und Korrektheit des Endergebnisses hat. Deshalb ist es im Vorhinein zu prüfen, welche Technologie sich für den Anwendungsfall am besten eignet.

6.2.3 Schwächen und Risiken von IoT für die Baustellendokumentation

Eine Voraussetzung für den Einsatz von IoT ist eine leistungsstarke und stabile Internetverbindung, um die generierten Daten in einem Dashboard oder Bauwerksmodell ganzheitlich abrufen zu können. Diese Daten müssen zusätzlich vor Cyber-Kriminalität geschützt werden damit die Sicherheit gewährleistet ist und keine Manipulation der Daten möglich ist.¹⁹⁸

Eine weitere Schwäche dieser Technologie ist die Anfälligkeit gegenüber Störeinflüssen. Da Funktechniken drahtlose Signale verwenden, können sie durch verschiedene Faktoren gestört werden. Diese Störungen können durch überlappende Funkfrequenzen zwischen den einzelnen Funkgeräten entstehen oder auch durch physische Hindernisse wie Wände oder Bäume. Darüber hinaus können schlechte Wetterbedingungen elektromagnetische Störungen und Netzwerküberlastungen verursachen, die die Qualität und Reichweite des Funksignals beeinträchtigen. Durch die hohe Anzahl an benötigten Funksendern für eine vollständige Überwachung der Baustellenprozesse kann es außerdem zu Interferenzen zwischen den einzelnen Geräten kommen, die zu Verbindungsabbrüchen und Datenverlusten führen können. Durch die vielen verschiedenen Sensoren wird außerdem eine enorme Datenflut erzeugt, welche von Computern strukturiert, ausgewertet und gespeichert werden muss. Dies erzeugt hohe Anforderungen an die Rechenleistung und die Speicherkapazität der Systeme.

Zusätzlich erzeugt der Einsatz von IoT große Herausforderungen im Bereich der Privatsphäre und des Datenschutzes. Wie auch beim Einsatz der vorher beschriebenen künstlichen Intelligenz wird durch das Erfassen von mitarbeiterbezogenen Daten laut Datenschutzgesetz die Menschenwürde berührt. Dies kann in weiterer Folge Bedenken und Zweifel beim Baustellenpersonal auslösen und die Akzeptanz für die Technologie verringern.

In der Umfrage des BMK sahen die teilnehmenden Unternehmen vor allem das komplexe Schnittstellenmanagement und den Mangel an Fachpersonal zur Implementierung dieser Technologie als eine große Herausforderung. Der Aufbau eines IoT-Netzwerkes ist nämlich eine äußerst komplexe Aufgabe und erfordert eine sorgfältige Planung und Gestaltung

¹⁹⁸ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 45.

der dafür benötigten Ressourcen, um die Sensoren und Konnektivitätslösungen sowie die Dashboards bzw. Bauwerksmodelle in die IT-Infrastruktur zu integrieren. Die dadurch benötigten Schulungen sowie Hard- und Softwareprodukte erzeugen hohe Investitionskosten für die Unternehmen. Die Komplexität und der hohe Aufwand bei der Einführung der Technologie in das Unternehmen schreckt deshalb viele Unternehmen ab, weshalb eine Weiterentwicklung der IoT-Technologie für den Baustelleneinsatz erforderlich ist, damit die Einbettung in bestehende Unternehmens- und Arbeitsprozesse mit geringerem Aufwand erfolgen kann.¹⁹⁹

¹⁹⁹ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 45.

6.2.4 SWOT-Analyse IoT

Um die Stärken und Schwächen von IoT bzw. die Chancen und Risiken durch diese Technologie für die Baustellendokumentation zusammenzufassen wurde nachfolgend eine SWOT-Analyse zu dieser Thematik erstellt.

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Hardware der Funksysteme und Sensoren ist sehr widerstandsfähig • Große Auswahl verschiedener Sensoren und Funktechnologien • Automatisierte Datenerfassung möglich • Fernzugriff auf Daten möglich • Genaue Lokalisierung durch die Funksysteme möglich • Vernetzung verschiedener Geräte ermöglichen effiziente Kommunikation und Datenaustausch 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Rechenleistung und Speicherkapazität wird benötigt • Anfällig gegenüber Störeinflüssen • Stabile Internetverbindung erforderlich • Technische Ausfälle möglich • Technologie ist beim Einsatz größerer Systeme noch nicht sehr ausgereift
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Qualität und Genauigkeit in der Dokumentation • Nahezu Echtzeitdatenerfassung bei Baustellenvorgängen möglich • Objekte und Personen können auf der Baustelle genau lokalisiert werden • Zeitersparnis und in der Erfassung und Verwaltung der Dokumentation • Steigerung der Produktivität durch rasche Erkennung von Abweichungen im Bauablauf möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenschutzprobleme können auftreten • Akzeptanz der Mitarbeiter*innen gegenüber der Technologie • Komplexes Schnittstellenmanagement • Mangel an Fachpersonal • Hohe Investitionskosten für Hardware und Softwareprodukte • Geringer Technologiereifegrad kann zu derzeit noch unbekannten Problemen führen

Abbildung 6.9 SWOT-Analyse IoT

6.3 3D-Rekonstruktion mittels Laserscanning und Photogrammetrie

Als nächste Möglichkeit zur Erreichung einer zeitnahen Erfassung der Baustellengeschehnisse werden die beiden Technologien Photogrammetrie und Laserscanning näher analysiert. Sie werden vor allem für die Vermessung von Bauwerken und Objekten genutzt, jedoch können die beiden Instrumente auch für die Baustellendokumentation genutzt werden, um Daten und Informationen über den Bauablauf generieren.

Photogrammetrie und Laserscanning sind fortschrittliche Technologien, die in der Geodäsie, Architektur, Archäologie und vielen anderen Bereichen eingesetzt werden. Sie ermöglichen die genaue 3D-Darstellung von Objekten und Landschaften und bieten wertvolle Informationen für verschiedene Anwendungen.²⁰⁰ Auf die Funktionsweise der beiden Technologien wird nachfolgend näher eingegangen.

Die beiden Dokumentationsmittel werden in diesem Abschnitt gemeinsam analysiert, da die Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken der beiden Technologien sich sehr ähneln. Außerdem gibt es auch in der Praxis Anwendungsfälle, in denen beide Technologien in einer kombinierten Form zum Einsatz kommen. Beide erzeugen anhand der erfassten Daten eine Punktwolke, welche die Erstellung von 3D Modellen und für die Bauwerksdokumentation bzw. weiterführende Analysen genutzt werden kann.

Laserscanning

Beim Laserscanning wird die Oberfläche eines Objektes Punkt für Punkt abgetastet. Zu jedem dieser erfassten Punkte werden Koordinaten abgespeichert, um die genaue Lage des Punktes in einem Raum zu definieren. Der Laserscanner arbeitet bei der Ermittlung der Punkte üblicherweise in vertikalen Scanzeilen, wobei auf jeder dieser Scanzeilen eine große Anzahl an Punkte liegen. Sobald der Scanner mit einer Scanzeile fertig ist, wird die Horizontalrichtung des Scanners um den vorher definierten Winkel verschoben, um dadurch eine sogenannte „Punktwolke“ des Objektes zu generieren. Wie detailliert die Punktwolke sein soll, muss bereits vor dem Scannen des Objektes festgelegt werden, da der Scanner je nach Anwendungsfall den Abstand der erfassten Punkte variieren kann.²⁰¹ Es ist jedoch darauf zu achten, dass sehr detaillierte Aufnahmen enorme Datenmengen erzeugen.

Scanner die zusätzlich die Intensität eines reflektierenden Objekts messen, werden als abbildende Laserscanner bezeichnet. Außerdem wird zwischen 2D- und 3D-Scanning unterschieden. Folgende Daten werden während des Scans pro Einzelpunkt ermittelt:²⁰²

²⁰⁰ Vgl. REDL, T.: Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken S. 1.

²⁰¹ Vgl. REDL, T.: Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken S. 8.

²⁰² Vgl. REDL, T.: Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken S. 8.

- horizontale und vertikale Richtung
- Distanz
- Intensität des reflektierten Signals
- RGB-Farbwert (nur bei Scannern mit Pixel-Kamera)

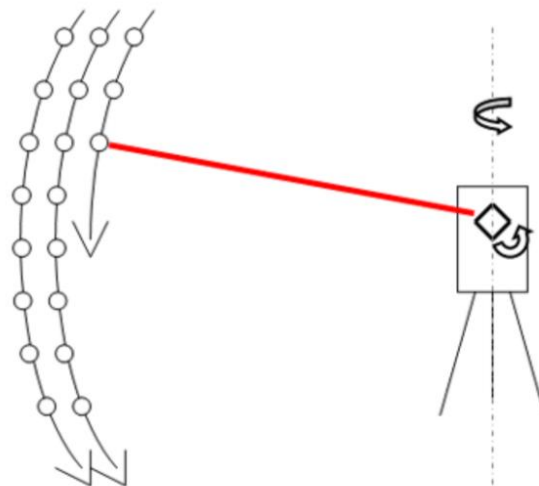


Abbildung 6.10 Funktionsweise des Laserscanners²⁰³

Der Laserstrahl wird von den abgetasteten Objekten reflektiert. Durch einen Spiegel im Messgerät wird der Strahl abgelenkt, wobei dieser Vorgang mehrere hunderttausend Mal pro Sekunde stattfindet. Bei den Spiegeln wird grundsätzlich zwischen rotierenden Spiegeln und oszillierenden Spiegeln unterschieden. Beim rotierenden Spiegel kommt ein um die Längsachse rotierendes Spiegelprisma zum Einsatz, welches die Laserstrahlen orthogonal zur Rotationsachse ablenkt. Das vom Scanner empfangene Laserlicht wird anschließend ausgewertet. Mithilfe spezieller Software können die reflektierten Messdaten analysiert werden, um Objektdaten in Form von Bilddaten zu erzeugen. Die Koordinaten der gemessenen Punkte werden grundsätzlich aus den Winkeln (Vertikal- und Horizontalwinkel) und der Entfernung zum Scanner bestimmt.²⁰⁴ Durch den Import der Punktwolke in eine Modellierungssoftware können die Punkte für den benötigten Anwendungsfall aufbereitet und visualisiert werden.

²⁰³ REDL, T.: Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken. S. 8.

²⁰⁴Vgl. LIEBCHEN, H.; VIERING, G.: Bau-Projekt-Management Grundlagen und Vorgehensweisen. S. 395.

Photogrammetrie

Im Gegensatz zum Laserscanning werden bei der Photogrammetrie die Objekte mittels Fotoserie erfasst und mittels geeigneten Softwareprogrammen (z.B. 3DF Zephyr Free, Agisoft PhotoScan, Visual SFM, Reality Capture) in seiner dreidimensionalen Form und räumlichen Lage bestimmt. Durch diese Modellierung können mittels Bauwerksmodellen Eigenschaften des Objektes abgerufen werden, wie zum Beispiel Form, Volumen oder auch die Farbe der Oberfläche.²⁰⁵

Für die Erstellung des Modells werden zuerst Bilder der Gegenstände benötigt, welche mittels einer einfachen Handykamera durchgeführt werden können. Wichtig ist hierbei nur, dass die Kamera des Gerätes eine ausreichende Qualität bei den Fotoaufnahmen erzielt, da diese entscheidend für die spätere Genauigkeit des Modells ist. Verwackelte oder Unscharfe Bilder verringern die Präzision des zukünftigen Modells signifikant. Außerdem ist darauf zu achten, dass ausreichend Bildaufnahmen vom Objekt gemacht werden, um eine detaillierte Rekonstruktion des Objektes zu ermöglichen. Bei der Durchführung der Bildaufnahmen ist zusätzlich auf eine geeignete Witterung zu achten. Nasse Oberflächen oder eine starke Sonneneinstrahlung kann ungewollte Reflexionen auf den aufzunehmenden Oberflächen erzeugen, was dazu führen kann, dass die Bildaufnahmen für die nachträgliche Rekonstruktion des Objektes unbrauchbar sind. Deshalb bieten sich vor allem sonnige Tage mit diffusem Licht für die Aufnahme der Baustellenbilder an. Zusätzlich sind die Kameraeinstellungen je nach Lichtverhältnissen anzupassen.²⁰⁶

Nachdem die Bilder aufgenommen wurden, werden diese in einem Softwareprogramm weiterverarbeitet. Die Programme erkennen hierbei mittels Algorithmen in welcher Beziehung die Bilder zueinander stehen, was eine genaue Orientierung der einzelnen Bilder ermöglicht. Die Software greift auf korrespondierende Merkmale in den einzelnen Bildern zurück und verknüpft sie miteinander in einem Bildverband. Durch diese gemeinsamen Merkmale kann die Software die Positionen und die Orientierung der Kamerastandorte ermitteln und aus der Gesamtheit der verfügbaren Bilder eine Punktwolke erzeugen.²⁰⁷

Um eine ausreichend detaillierte Punktwolke zu erreichen, sollten die erfassten Bilder überlappend sein und ähnliche Kamerablickrichtungen aufweisen. Zusätzlich werden die Bilder mittels Stereopaaren und Algorithmen entzerrt. Diese Vorgänge erzeugen einen hohen Rechenaufwand,

²⁰⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 813.

²⁰⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 814.

²⁰⁷ Vgl. AIKA, L.: Datenerfassung mittels unbemannter Flugobjekte im Hinblick auf eine automatisierte Baufortschrittskontrolle. S. 19.

welche von der Größe des zu modellierenden Bereiches und der Dichte der Punktwolke abhängt.²⁰⁸



Abbildung 6.11 Erzeugung eines Modells mittels Photogrammetrie²⁰⁹

Die Technologie kann sowohl für den Nahbereich als auch für die Aufnahme größerer Areale genutzt werden. Um die Anwendungsbereiche der Photogrammetrie und des Laserscannings und den Nutzen für die Baustellendokumentation darzulegen werden nachfolgend die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten für die Baustellendokumentation der beiden Technologien näher beschrieben.

6.3.1 Anwendungsgebiete von Photogrammetrie und Laserscanning in der Baubranche

Die Anwendungsgebiete der beiden beschriebenen Technologien liegen vor allem in der 3D-Vermessung und der Erstellung von digitalen Aufmaßen.²¹⁰ Jedoch können die beiden Messtechniken auch für die Baustellendokumentation zur Erfassung der Baustellengeschehnisse genutzt werden. Häufig werden hierfür die erfassten Daten in ein Bauwerksmodell integriert, um für den Nutzer oder die Nutzerin zur weiteren Analyse verfügbar zu sein. Die generierten Daten können unter anderem für die Überprüfung des Baufortschritts und für die Beweis- und Qualitätssicherung der

²⁰⁸ Vgl. AIKA, L.: Datenerfassung mittels unbemannter Flugobjekte im Hinblick auf eine automatisierte Baufortschrittskontrolle. S. 20.

²⁰⁹ <https://www.sky-elements.com/news/photogrammetrie-schulungen-fuer-drohnendienstleister>. Datum des Zugriffs: 02.07.2023.

²¹⁰ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S.58.

Baustelle genutzt werden. Nachfolgend wird ein Praxisbeispiel näher erläutert in dem mittels Photogrammetrie eine Schalung in einem 3D-Modell rekonstruiert wird.

Für das Anwendungsbeispiel wurde das Doka Framax Xlife Plus Schalungssystem verwendet. Von diesem System wurde im ersten Schritt eine Fotoserie angefertigt. Die Fotoserie wurde in der Mittagszeit zwischen 12:00 und 12:30 angefertigt, da zu dieser Zeit kaum Störfaktoren (z.B. bewegliche Objekte wie Bauarbeiter*innen) auf der Baustelle vorhanden sind, die die Qualität der Fotoserie beeinträchtigen könnten. In diesem Pilotprojekt wurden insgesamt 110 Fotos der Wandschalung erstellt, um ein detailliertes 3D-Modell zu erhalten. Die Fotos wurden entlang eines zuvor festgelegten Pfades und im RAW-Format aufgenommen. Jede Bilddatei hat eine Dateigröße von ungefähr 70 MB pro Foto, was schlussendlich eine Datenmenge von insgesamt 10 GB für die gesamte Fotoserie ergibt.²¹¹

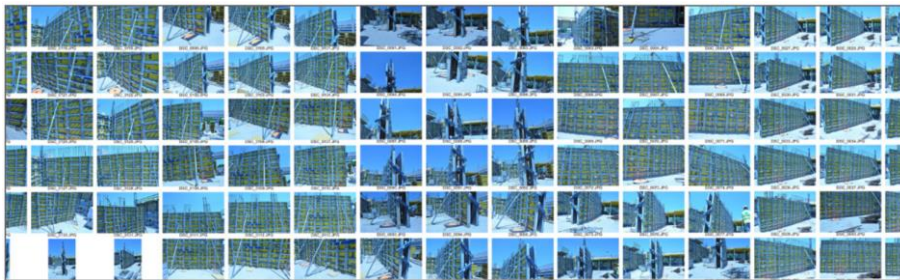


Abbildung 6.12 Auszug aus der Fotoserie für die 3-D Rekonstruktion²¹²

Als nächsten Schritt erfolgte die Weiterverarbeitung der erfassten Bilder mithilfe der Software Reality Capture. Diese Software ermittelt zuerst die Ausrichtung und Positionen der Einzelbilder, woraufhin die markanten Merkmale in den Bildern in ein 3D-Modell umgewandelt werden. Wie auf dem Auszug der Fotoserien in Abbildung 6.12 zu erkennen ist, wird auf den erstellten Fotos nicht nur die Wandschalung dargestellt, sondern auch weitere Objekte, die sich um die Schalung herum befinden. Diese zusätzlichen nicht relevanten Punkte in der Punktwolke müssen manuell markiert und gelöscht werden.²¹³

²¹¹ Vgl. HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 830.

²¹² HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 830.

²¹³ Vgl. HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 831.

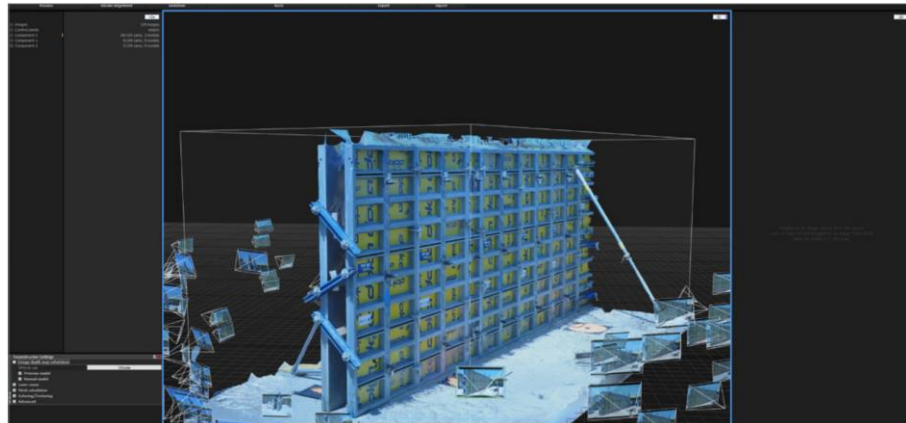


Abbildung 6.13 3-D Rekonstruktion der Schalung²¹⁴

In der Abbildung 6.13 sind die orientierten Bilder, welche genau nach ihrer Lage in der Software dargestellt werden zu erkennen und zusätzlich das dadurch generierte 3D-Modell. Die Qualität des erzeugten Modells ist abhängig von der Anzahl der generierten Punkte und Polygonen aus den Bilddateien. Eine hohe Detaillierung des 3D-Modells erzeugt einen enormen Rechenaufwand und ist dadurch für eine Echtzeitnutzung der Baustellengeschehnisse aktuell nicht einsetzbar, jedoch kann es durch die Verringerung der Qualität des 3D-Modells für eine nahezu Echtzeitüberwachung eingesetzt werden. In dem beschriebenen Projekt wurde auch untersucht wie lange die Datenauswertung je nach Detaillierungsgrad des 3D-Modells dauert, um herauszufinden bis zu welcher Anzahl an Punkten und Polygonen eine Echtzeitüberwachung möglich ist. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Untersuchung tabellarisch dargestellt.

Lfd. Nr.	Qualität	Polygone [-]	Punkte [-]	Echtzeitfähig [-]	VR/AR-fähig [-]
0	A	B	C	D	E
1	Extrem	12.515.046	6.277.741	nein	nein
2	Hoch	1.000.000	499.780	bedingt	nein
3	Mittel	100.000	49.780	ja	bedingt
4	Niedrig	20.000	9.780	ja	ja

Abbildung 6.14 Modelldaten und ihre Eignung²¹⁵

Es ist anzumerken, dass durch die kontinuierliche Verbesserung der Rechenleistung zukünftig das Potenzial besteht, den Detailgrad und die Qualität des Modells signifikant zu steigern. Mit diesem beschriebenen Workflow können nicht nur einzelne Wände und Schalungssysteme aufgenommen werden, sondern auch ganze Gebäude und Areale. Deshalb kommen die beiden Technologien auch sehr oft bei der Aufnahme von Bestandsgebäuden oder der Ermittlung von Erdmassen zum Einsatz.

²¹⁴ HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 832.

²¹⁵ HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 834.

Um die Eignung der beiden Technologien für den Einsatz in der Baustellendokumentation zu ermitteln, werden nachfolgend die Stärken und Schwächen der einzelnen Technologien bzw. die Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation näher beschrieben.

6.3.2 Stärken und Chancen von Photogrammetrie und Laserscanning für die Baustellendokumentation

Im Gegensatz zur künstlichen Intelligenz und dem Internet der Dinge ist die Technologie zur 3D Rekonstruktion von Objekten bereits deutlich ausgereifter und kommt auf gegenwärtigen Baustellen bereits vielfach zur Anwendung. Die Anwendung der Technologie ist vor allem im Bereich von Vermessungsarbeiten weit verbreitet.²¹⁶ Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, diese Technologie im Bereich der Baustellendokumentation einzusetzen, wobei hier ein beträchtliches ungenutztes Potenzial vorhanden ist, welches nachfolgend näher beschrieben wird.

Eine große Stärke der Photogrammetrie und des Laserscannings ist die sehr hohe Präzision in der Aufnahme von Objekten, welche deutlich höher ist als bei der Durchführung von analogen Aufnahmeverfahren.²¹⁷ Zusätzlich können durch die automatische Aufnahme menschliche Fehler während des Aufmaßes und bei der Protokollierung der Messergebnisse vermieden werden.

Eine Umfrage des BMK im Jahre 2022 ergab, dass Bauunternehmen vor allem die Effizienzsteigerung und die Zeitersparnis durch die Technologie als Mehrwert betrachten, da es durch Photogrammetrie und das Laserscanning möglich ist Aufmaße von komplexen Formen in kürzester Zeit durchzuführen, was wiederum zu einer enormen Zeitersparnis bei den Aufmaßen von Bauteilen führt.²¹⁸ Dies senkt in weiterer Folge auch die Lohnkosten für die Baustellendokumentation und das Baustellenpersonal wird durch den geringeren Aufwand in der Baustellendokumentation entlastet.

Durch die Technologie ist es außerdem möglich Bau-IST Zustände zu dokumentieren. Dies kann durch das Erzeugen von Aufnahmen während der Baudurchführung in festgelegten Zeitintervallen erfolgen. Dadurch kann der Baufortschritt dokumentiert werden und zusätzlich durch SOLL-IST-Vergleiche überprüft werden. Das Aufstellen mehrerer Kameras auf bestimmten Fixpunkten ermöglicht die Generierung von automatische Punktwolken des IST-Zustandes, welche durch die Verknüpfung mit einem Bauwerksmodell oder eines Dashboards in nahezu Echtzeit abrufbar sind. Durch die Durchführung von SOLL-IST-Vergleichen in regelmäßigen Abständen können Störungen im Bauablauf bereits frühzeitig erkannt werden

²¹⁶ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 59.

²¹⁷ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 59.

²¹⁸ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 59.

und zusätzlich bieten die erfassten Daten eine gute Grundlage für die Erstellung von Nachweisführungen bei gestörten Bauabläufen.²¹⁹

Außerdem können Scanner und Kameras an Drohnen und Robotern angebracht werden, um somit auch großflächige Bereiche aufzunehmen. Dies führt einerseits zu einer erheblichen Zeitersparnis und ermöglicht zusätzlich die Dokumentation von Gefahrenbereichen, die ansonsten bei der Dokumentation durch das Baustellenpersonal eine Gefahr für menschliches Leben darstellen. Die Technologien der Trägergeräte werden im nachfolgenden Abschnitt 6.4 genauer analysiert.

6.3.3 Schwächen und Risiken von Photogrammetrie und Laserscanning für die Baustellendokumentation

Ein großer Nachteil bei der Verwendung dieser Technologien für die Baustellendokumentation ist der Einfluss von widrigen Witterungseinflüssen. Durch Witterungsverhältnisse wie starke Sonneneinstrahlung, Regen, Schnee oder Nebel wird die Qualität der erzeugten 3D-Modelle stark herabgesetzt und die generierten Daten können dadurch auch teilweise unbrauchbar werden, da durch starke Reflexionen oder zu geringe Lichteinstrahlung keine genauen Messungen des Bauteils möglich sind.²²⁰

Zusätzlich erzeugen die erfassten Informationen der Scanner ein enormes Datenvolumen. Je nach Umfang und Anzahl der Aufnahmen sind hierfür große Datenträger erforderlich. Diese enorme Datenflut ist bei der Implementierung solcher Technologien in die Baustellenprozesse nicht außer Acht zu lassen und in der IT-Infrastruktur bereits im Vorhinein zu berücksichtigen. Außerdem verursacht die Erzeugung der Bauwerksmodelle aus den zuvor ermittelten Punkten einen sehr hohen Rechenaufwand, welcher nur durch eine leistungsstarke Hardware und komplexe Software bewältigt werden kann.²²¹

Ein zusätzliches Risiko durch automatische Datenerfassung von Bauteilen und Fertigungsabschnitten mittels Scanner ist, dass diese den zu dokumentierenden Bereich gar nicht erfassen können. Dies kann einerseits durch widrige Witterungseinflüsse geschehen und zusätzlich auch durch Hindernisse wie Bäume oder Baugeräte. Durch das Verdecken des zu aufnehmenden Bereichs kann der Scanner keine Aufnahme des festgelegten Objektes durchführen. Nur durch eine direkte Sichtlinie zwischen dem Scanner und dem Objekt ist die Erfassung des Bauteils möglich. Durch die teilweise sehr verwinkelten Baustellen die häufig vor allem bei Hochbauten anzutreffen sind ist es fast unmöglich alle Bereiche der Bau-

²¹⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.; DINI, A.; Petschnig, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. S. 814.

²²⁰ Vgl. KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. S. 54.

²²¹ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 60.

stelle mittels punktueller Scanner zu erfassen. Deshalb kann diese Technologie bei der Erstellung von 3D-Modellen hauptsächlich nur für spezifische Bereiche genutzt werden. Die Ausstattung der Baustelle mit zahlreichen Scannern, sodass jeder Punkt der Baustelle überwacht ist würde die Kosten für die Dokumentation unverhältnismäßig hoch ansteigen lassen.

Ein weiterer Punkt, der den Einsatz solcher Scanner erschwert ist das notwendige know-how, welches benötigt wird um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Die ordnungsgemäße Konfiguration der Scanner in Übereinstimmung mit dem Bauwerksmodell ist entscheidend, um Daten und Informationen in nahezu Echtzeit und ohne zusätzlichen Aufwand korrekt im Modell darzustellen. Das umfassende Fachwissen in den Bereichen IT und Vermessung, das für diesen Prozess erforderlich ist, fehlt vielen Unternehmen und kann aufgrund des aktuellen Fachkräftemangels nur schwer gewährleistet werden.²²²

Photogrammetrie- und Laserscanning-Geräte erfordern außerdem eine regelmäßige Wartung, um eine kontinuierlich hohe Leistung und Genauigkeit zu gewährleisten. Aufgrund der komplexen Technologie und der empfindlichen Sensoren ist es wichtig, diese Geräte in regelmäßigen Abständen zu überprüfen und zu warten. Die Wartung umfasst verschiedene Aspekte, darunter die Kalibrierung der Sensoren, die Überprüfung der mechanischen Komponenten, die Aktualisierung der Firmware und Software sowie die Überprüfung der Gesamtfunktionalität. Die Kalibrierung der Sensoren ist von besonderer Bedeutung, da sie sicherstellt, dass die Messungen und Aufnahmen präzise und zuverlässig sind. Eine falsche Kalibrierung kann zu ungenauen Messungen führen und die Qualität der generierten Daten beeinträchtigen.

Ein zusätzlicher Aspekt, der auch bei dieser Technologie zu rechtlichen Problemen führen kann ist das Thema Datenschutz. Bei einer automatischen Generierung von Baustellenaufnahmen ist es nicht ausschließbar, dass auf den Aufnahmen Baustellenfachkräfte zu erkennen sind. Die Akzeptanz seitens der Arbeiter*innen kann aufgrund dieser Bedenken im Bereich des Datenschutzes abnehmen und stellt einen weiteren Faktor dar, der bei der Implementierung neuer Technologien nicht vernachlässigt werden darf. Weitere Faktoren die die Akzeptanz verringern sind einerseits mangelndes Vertrauen in die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems seitens des Fachpersonals und auch die mangelnde Vertrautheit mit solchen Technologien spielt eine Rolle.

²²² Vgl. KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. S. 54.

6.3.4 SWOT-Analyse Photogrammetrie und Laserscanning

Um die Stärken und Schwächen von Laserscanning und Photogrammetrie bzw. die Chancen und Risiken durch diese Technologie für die Baustellendokumentation zusammenzufassen ist in der nachfolgenden Abbildung eine SWOT-Analyse dargestellt.

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Präzise Aufnahmen von Bauteilen und Gegenständen möglich • Menschliche Fehler können durch die automatische Datenerfassung und Datenauswertung vermieden werden • Technologie ist bereits sehr ausgereift • Automatisierte Datenerfassung durch die Technologie möglich • Fernzugriff auf Daten möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Rechenleistung und Datenspeicher wird benötigt • Anfällig gegenüber widrigen Witterungseinflüssen • Technische Ausfälle möglich • Systeme müssen in regelmäßigen Abständen gewartet werden • Fachwissen für die Durchführung benötigt • Durch das Erfordernis des direkten Sichtkontakts ist es schwierig sämtliche Bereiche aufzunehmen
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung von Qualität und Genauigkeit in der Dokumentation • Nahezu Echtzeitdatenerfassung bei Baustellenvorgängen möglich • Automatische Soll-Ist-Vergleiche in regelmäßigen Abständen möglich • Zeitersparnis in der Erfassung und Verwaltung der Dokumentation • Steigerung der Produktivität durch rasche Erkennung von Abweichungen im Bauablauf möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Widrige Witterungseinflüsse können die Datenerfassung stören • Datenschutzprobleme können auftreten • Akzeptanz der Mitarbeiter*innen gegenüber der Technologie • Komplexes Schnittstellenmanagement • Keine Messergebnisse aufgrund der Verdeckung des Objektes durch andere Gegenstände im Umfeld • Mangel an Fachpersonal und hohes know-how erforderlich • Hohe Investitionskosten bei der Anschaffung der Messinstrumente

Abbildung 6.15 SWOT-Analyse Photogrammetrie und Laserscanning

6.4 Trägergeräte (Drohnen und Robotik)

Drohnen und Roboter haben sich zu fortgeschrittenen Trägergeräten entwickelt, die in der Lage sind, die in diesem Kapitel bereits beschriebenen Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Laserscanning, Photogrammetrie und verschiedenste Sensoren zu integrieren. Diese Trägergeräte ermöglichen eine dynamische Positionsänderung auf der Baustelle und durch die geschickte Verknüpfung der Trägergeräte mit den bereits beschriebenen Technologien können Drohnen und Roboter effektiv zur Dokumentation auf Baustellen eingesetzt werden.

Die beiden Technologien werden wie auch die Photogrammetrie und das Laserscanning in diesem Kapitel global analysiert und nach ihren Stärken und Schwächen bzw. Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation bewertet, da die beiden Technologien sehr ähnliche Chancen und Risiken bei der Implementierung in die Baustellendokumentation aufweisen und zusätzlich in der Praxis auch teilweise in Kombination genutzt werden. Nachfolgend werden die beiden Technologien näher beschrieben.

Drohnen:

Drohnen, auch bekannt als unbemannte Luftfahrzeuge, sind vielseitige Fluggeräte, die in verschiedenen Ausführungen und Größen erhältlich sind. Sie können in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt werden und dienen einer breiten Palette von Zwecken. Drohnen haben ihren Ursprung in der militärischen Nutzung, wurden jedoch im Laufe der Zeit zu vielseitigen Werkzeugen, die in nahezu allen Branchen eingesetzt werden. Ursprünglich konzipiert, um militärische Aufgaben wie Überwachung, Aufklärung und Angriffe durchzuführen, haben sich Drohnen zu einer bahnbrechenden Technologie entwickelt, die in der heutigen Welt immer präsenter wird.

Eine der häufigsten Arten von Drohnen sind Quadcopter, die über vier Propeller verfügen und sich durch ihre hohe Manövrierfähigkeit auszeichnen. Diese kleinen und wendigen Drohnen sind ideal für Luftaufnahmen, Freizeit Zwecke und Anwendungen in Innenräumen. Es gibt auch Hexacopter und Octocopter, die jeweils über sechs bzw. acht Propeller verfügen. Diese größeren Drohnen bieten eine höhere Stabilität und Tragfähigkeit, was sie für professionelle Anwendungen wie Luftbildfotografie, Vermessung und Inspektion von Infrastrukturen geeignet macht.²²³

²²³ Vgl. BORRMANN, A. et al.: Integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen. In: Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. S. 53.



Abbildung 6.16 Beispiel eines Quadcopters der Firma DJI²²⁴

Eine weitere Art von Drohnen sind Fixed-Wing-Drohnen, die wie ein Flugzeug geformt sind und über feste Flügel verfügen. Im Gegensatz zu den Multirotor-Drohnen können sie nicht senkrecht starten oder schweben, sondern benötigen eine Start- und Landebahn. Fixed-Wing-Drohnen sind in der Regel effizienter und können längere Flugstrecken zurücklegen. Sie werden oft für Kartierung und Überwachung großer Flächen eingesetzt. Darüber hinaus gibt es militärische Drohnen, die für Aufklärungsmissionen, Überwachung und sogar bewaffnete Einsätze entwickelt wurden. Sie sind oft in der Lage, große Entfernungen zu überbrücken und bleiben über längere Zeiträume in der Luft.²²⁵

Drohnen können sowohl manuell ferngesteuert werden als auch semi- oder vollautomatisch fliegen, wobei für autonome Flüge die Drohnen mit Sensortechnologie und einer Vielzahl an Kameras ausgestattet werden, um Hindernisse rechtzeitig zu identifizieren und Kollisionen zu vermeiden.

Beim semi-autonomen Fliegen wird zuvor ein Pfad festgelegt, den die Drohne dann in der Realität abfliegt. Beim voll autonomen Fliegen hingegen kann die Drohne so programmiert werden, dass sie einer Person oder einem Objekt folgt. Diese Technik kommt bereits bei Vermessungsarbeiten zum Einsatz.

²²⁴ <https://dach.live/innovation-technik/trends/eu-drohnenverordnung/#:-:text=Was%20m%C3%BCssen%20Dachdecker%20noch%20tun,ersetzt%20die%20bisherige%20feuerfeste%20Plakette>. Datum des Zugriffs: 30.06.2023.

²²⁵ Vgl. BORRMANN, A. et al.: Integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen. In: Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. S. 53.

Marktführendes Unternehmen im Bereich der Drohnentechnologie ist der chinesische Hersteller DJI, welcher über ein großes Angebot an verschiedenen Drohnensystemen verfügt. Das Unternehmen stellt sowohl die Flugobjekte zur Verfügung als auch zusätzlich Softwareprodukte, welche für die spezifischen Einsatzszenarien verwendet werden können.

Die Drohnen, die derzeit auf Baustellen zum Einsatz kommen wiegen je nach Anwendungsfall zwischen 249 Gramm und 10 Kilogramm und können eine Last von 500 g und bis zu 5 kg heben.²²⁶ Durch die hohe Anzahl an unterschiedlichen Drohnen auf dem Markt kann es oft schwierig sein die richtige Drohne für den vorliegenden Anwendungsfall auszuwählen. Die vier Kriterien Größe, Gewicht, Anforderungen an die Sensoren und Anforderungen an die Software müssen vor dem Drohnenflug festgelegt werden, um das passende Modell zu bestimmen. Vor allem die Anforderungen an die Sensoren und an die Software können je nach Anwendungsfall sehr unterschiedlich sein. So müssen zum Beispiel für das Erkennen von Rissen und Korrosionsstellen im Millimeterbereich andere Sensortypen verwendet werden als bei einer 3D Aufnahme eines ganzen Gebäudes. Bei den Anforderungen an die Software ist vor allem auf die Kompatibilität mit anderen Softwareprodukten zu achten. Wird aus den Daten des Drohnenfluges später ein 3D-Modell in einer CAD-Anwendung erstellt ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Daten ohne große Anpassung im Programm genutzt werden können. Nur dadurch kann eine nahezu Echtzeitdatenerfassung ermöglicht werden.

Robotik:

Roboter sind wie auch Drohnen technologische Systeme, die entwickelt wurden, um verschiedene Aufgaben autonom oder ferngesteuert durchzuführen. Sie vereinen Konzepte aus den Bereichen der Informatik, Elektronik, Mechanik und künstlichen Intelligenz, um komplexe Aufgaben zu bewältigen, die von der menschlichen Arbeitskraft bis vor Kurzem als unerreichbar galten. Die Entwicklung der Robotik basiert auf dem Bestreben, menschenähnliche Maschinen zu schaffen, die in der Lage sind, menschliche Aufgaben auszuführen. In den letzten Jahrzehnten haben technologische Fortschritte dazu geführt, dass Roboter immer mehr Fähigkeiten erlangt haben. Sie können sich mittlerweile in ihrer Umgebung bewegen, Objekte greifen, komplexe Berechnungen durchführen und mit ihrer Umwelt interagieren.

Die Forschung im Bereich der Robotik für den Baustelleneinsatz begann schon im Jahre 1960. In den letzten Jahren gab es jedoch einen starken Aufschwung im Bereich der Forschung von Baustellenrobotik und eine

²²⁶ Vgl. BORRMANN, A. et al.: Integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen. In: Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. S. 54.

hohe Investitionsbereitschaft. Dies liegt unter anderem daran, dass Roboter immer komplexere Aufgaben selbstständig ausführen können und somit ein hohes Kosteneinsparungspotenzial mit sich bringen.²²⁷

Grundsätzlich kann die Technologie der Robotik in fünf Robotertypen eingeteilt werden, wobei der Robotertyp je nach baustellenspezifischen Anwendungsfall sinnvoll gewählt werden muss. Die Robotertypen lauten wie folgt:²²⁸

- **Stationärer Einzelroboter:** Stationäre Einzelroboter sind Roboter, die an einem festen Standort platziert sind und ihre Aufgaben hauptsächlich an diesem Ort ausführen. Im Gegensatz zu mobilen Robotern, die sich frei bewegen können, bleiben stationäre Einzelroboter an einem zuvor festgelegten Ort.
- **Bodenfahrende Roboter:** Sie sind speziell für den Einsatz auf dem Boden entwickelt. Im Gegensatz zu den stationären Robotern können die bodenfahrenden Roboter sich mittels Räder und Ketten fortbewegen.
- **Laufende Roboter:** Laufende Roboter weisen eine Ähnlichkeit zu vierbeinigen Tieren auf. Der Vorteil von laufenden Robotern gegenüber bodenfahrenden ist, dass sie sich in schwierigen Geländen besser fortbewegen und sogar Treppen überwinden können. Sollte der Roboter umfallen ist er in der Lage ohne fremde Hilfe wieder aufzustehen.
- **Humanoide Roboter:** Diese Robotertypen sind so konzipiert, dass sie dem menschlichen Körper ähneln und Bewegungen sowie Interaktionen ähnlich wie Menschen durchführen können. Die Gestaltung von humanoiden Robotern zielt darauf ab, ihre Interaktion mit der Umwelt und den Menschen zu verbessern.
- **Stationäre bereichsabweckende Roboter:** Stationäre bereichsabweckende Roboter sind Roboter, die für den Einsatz in einem begrenzten Bereich entwickelt wurden und sich nicht aktiv fortbewegen. Im Gegensatz zu bodenfahrenden Robotern bleiben sie an einem festen Standort und decken den zugewiesenen Bereich ab.

Im nachfolgenden Kapitel werden die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Roboter- und Drohnentypen näher beschrieben, um ein Bewusstsein für die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten im Bereich der Baustellendokumentation zu entwickeln.

²²⁷ Vgl. <https://www.planradar.com/at/roboter-auf-der-baustelle-wie-sie-den-bau-effizienter-machen/>. Datum des Zugriffs: 27.06.2023

²²⁸ Vgl. KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. S. 69f.

6.4.1 Anwendungsgebiete von Drohnen und Robotik in der Baubranche

Die Anwendungsmöglichkeiten der beiden Technologien sind sehr vielfältig im Bereich des Bauwesens und reichen vom autonomen Mauern bis hin zu komplexen Vermessungs- und Überwachungsarbeiten.

Bei der Umfrage des BMK im Jahr 2022 wurden die beiden Anwendungsfälle Bauwerksdokumentation und Bestandsaufnahme von den Unternehmen in der Baubranche als die beiden wichtigsten Anwendungsgebiete für den Einsatz von Drohnen und Robotik angesehen. Erst danach kam die Automatisierung von einzelnen Baustellenprozessen (Schweißen, Bohren, Malen, etc.).²²⁹ Dies liegt vermutlich daran, dass auf der Baustelle sehr viele komplexe und stets unterschiedliche Tätigkeiten durchgeführt werden und somit eine Automatisierung der einzelnen Prozesse eine hohe Herausforderung mit sich bringt.

Im Bereich der Baustellendokumentation werden die beiden Technologien für die Bauzustandserfassung bereits teilweise verwendet. Drohnen und Roboter können hierbei mittels integrierter Laserscannern eine Punktwolke erstellen aus der in weiterer Folge mit dem geeigneten Softwareprodukt ein 3D-Modell des aktuellen Bauzustandes erstellt wird. Durch die Durchführung dieses Vorgangs in regelmäßigen Zeitabständen ist es möglich zeitnahe SOLL-IST-Vergleiche der Baustelle zu generieren und infolgedessen zeitnah auf Bauablaufstörungen zu reagieren. Bei den Robotern ist im Bereich der Bauzustandserfassung vor allem der Laufroboter „SPOT“ der Entwickler Boston Dynamics in den Medien sehr präsent. Mittels Sensoren bewegt sich der Roboter völlig autonom auf einer vom Anwender zuvor festgelegten Route durch das Bauwerk. Durch 360° Aufnahmen, Laser-Scans, maschinelles Sehen oder sogar Wärmebildaufnahmen kann der Roboter somit unzählige Daten und Informationen während des Baustellenrundgangs erheben. Durch die integrierten Kameras ist es möglich, Schäden oder Risse auf Betonoberflächen oder anderen Materialien zu erkennen, aber auch die eingesetzten Ressourcen oder Störeinflüsse während der Baudurchführung können dadurch erkannt werden.²³⁰ Die erhobenen Daten können dann mit geeigneter Software aufbereitet werden und so dem Anwender oder der Anwenderin für weitere Analyse zur Verfügung stehen. Durch die Aufnahmen können außerdem Bausituationen und aufgetretene Probleme während des Bauablaufes ohne eine Baustellenbegehung online oder offline mit den Projektbeteiligten begutachtet und geklärt werden.

Drohnen und Roboter können sich bei der Bauzustandserfassung ergänzen und auch in Kombination das Bauvorhaben aufnehmen. Drohnen eignen sich hierbei vor allem für den Outdoorbereich, wohin der Roboter auch

²²⁹ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 67.

²³⁰ Vgl. Will, F.: Automatisierte Baumaschinen und Bau-Robotik. In: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden. S. 355.

im Innenbereich effizient eingesetzt werden kann. Bei der Erstellung eines digitalen Gebäudemodells mittels Laserscans des IKEAs am Wiener Westbahnhof wurden hierbei beide Technologien in Kombination eingesetzt.²³¹ Zusätzlich können die Roboter wie auch die Drohnen als Transportmöglichkeiten genutzt werden, wobei auf die maximale zulässige Traglast des verwendeten Modells zu achten ist.

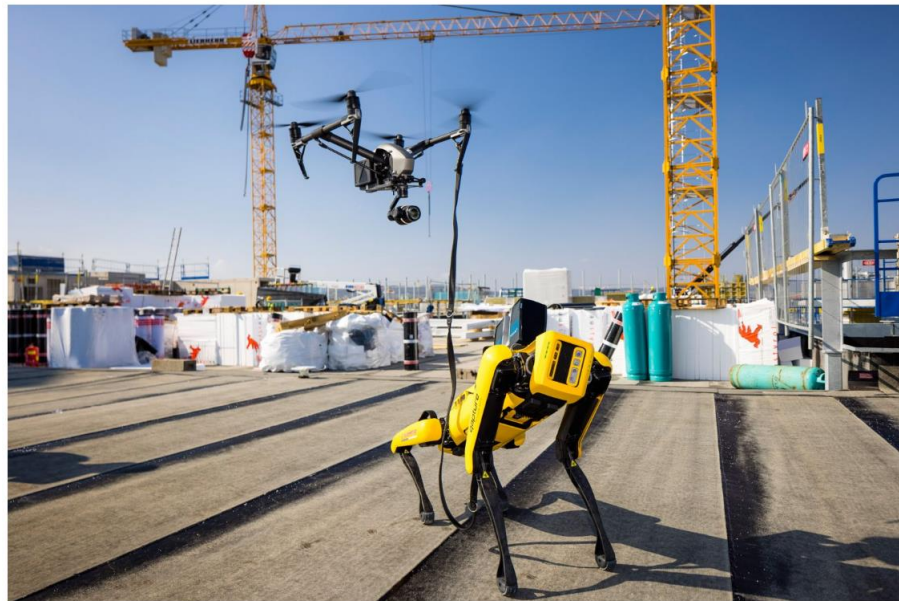


Abbildung 6.17 Roboterhund "Spot" und Drohne bei der Durchführung von Laserscans²³²

Nachfolgend werden die Stärken und Schwächen der beiden Technologien bzw. die Chancen und Risiken für die Baustellendokumentation näher erläutert.

6.4.2 Stärken und Chancen von Drohnen für die Baustellendokumentation

In den vergangenen Jahren hat es einen enormen Zuwachs an neuen Produkten im Bereich Drohnen und Robotik gegeben, was zu einer breiten Auswahl an Technologien für den Einsatz in der Baustellendokumentation geführt hat. Hohe Investitionen im Bereich der Forschung haben den Fortschritt in den Technologien vorangetrieben und ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten in der Baubranche geschaffen. Die Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz dieser Technologien eröffnen, sind vielfältig und bieten Unternehmen die Chance, ihre Arbeitsweise zu verbessern und effizienter zu gestalten.

²³¹ Vgl. <https://www.ikea.com/at/de/newsroom/corporate-news/erstellung-eines-3d-gebäudemodells-roboterhund-spot-zieht-seine-runden-durch-die-baustelle-des-ikea-wien-westbahnhof-pub58850590>. Datum des Zugriffs: 27.06.2023.

²³² <https://www.ikea.com/at/de/newsroom/corporate-news/erstellung-eines-3d-gebäudemodells-roboterhund-spot-zieht-seine-runden-durch-die-baustelle-des-ikea-wien-westbahnhof-pub58850590>. Datum des Zugriffs: 27.06.2023.

Drohnen und Robotik ermöglichen eine präzisere und kontinuierliche Überwachung des Baufortschritts. Durch die automatisierte Erfassung der Baustellengeschehnisse kann die Qualität und Genauigkeit der Dokumentation erhöht werden, da menschliche Fehler und Ungenauigkeiten ausgeschlossen werden können. Durch den Einsatz dieser Technologien können die Projektbeteiligten den Fortschritt ihrer Projekte auch aus der Ferne genau verfolgen, Engpässe erkennen und sicherstellen, dass das Projekt im Zeitplan bleibt. Die Technologien können durch die geeigneten Sensoren und Funktechnologien auch Daten in Echtzeit liefern und frühzeitig durch regelmäßige SOLL-IST-Vergleiche auf Abweichungen oder Probleme im Bauablauf hinweisen und als Grundlage für die Nachweisführung von Bauablaufstörungen dienen.

Der Vorteil durch die beiden Innovationen liegt unter anderem auch darin, dass bei der Inspektion in gefährdeten Bereichen durch den Einsatz dieser Technologien kein Menschenleben gefährdet wird. Somit leisten sie einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Arbeitssicherheit auf Baustellen. Durch den Einsatz auf Baustellen können außerdem potenzielle Gefahren schneller und effektiver erkannt werden als bei herkömmlichen Inspektionen vor Ort. Sich bewegende Fahrzeuge, Maschinen, Kräne und aktive Baugrubenaushübe können in Echtzeit erfasst werden, wodurch Sicherheitsverantwortliche unmittelbar auf mögliche Gefahren reagieren können.²³³

Der Einsatz von Drohnen und Robotik in der Baustellendokumentation führt außerdem zu erheblichen Zeit- und Kostenersparnissen. Diese Technologien ermöglichen eine effizientere Erfassung und Verarbeitung von Daten, wodurch der Dokumentationsprozess beschleunigt und optimiert wird. Ein weiterer Zeit- und Kostenfaktor ist die schnelle Verarbeitung und Analyse der von Drohnen und Robotern erfassten Daten. Moderne Softwarelösungen ermöglichen die automatische Auswertung der Drohnenaufnahmen und die Erstellung von 3D-Modellen oder virtuellen Inspektionen. Diese Datenverarbeitungstechniken sparen Zeit, die sonst für manuelle Auswertungen erforderlich wäre und ermöglichen eine schnelle Analyse des Baufortschritts. Somit kann der Einsatz dieser Technologien den Fachkräftemangel auf Baustellen bis zu einem gewissen Maße kompensieren und die anfallenden Lohnkosten reduzieren.

6.4.3 Schwächen und Risiken von Drohnen und Robotik für die Baustellendokumentation

Ein Problem beim Einsatz von Drohnen und Robotern auf Baustellen sind die widrigen Witterungsbedingungen die bei der Herstellung des Bau-

²³³ Vgl. <https://www.planradar.com/at/roboer-auf-der-baustelle-wie-sie-den-bau-effizienter-machen/>. Datum des Zugriffs: 28.06.2023.

werks vorherrschen, da viele Bauprozesse unter freiem Himmel stattfinden. Somit sind die Technologien den Witterungsbedingungen wie Regen, Schnee oder auch schlechten Lichtverhältnissen voll ausgesetzt. Vor allem schlechte Lichtverhältnisse können bei der Erfassung der Baustellengeschehnisse dazu führen, dass die erhobenen Daten sehr ungenau oder fehlerhaft sind, da die Sensoren bei schlechter Sicht keine aussagekräftigen Daten liefern. Die Entwicklung von widerstandsfähigen Trägergeräten die gegen Schlamm, Staub, Kälte und auch Hitze resistent sind zählt außerdem zu einer der großen Herausforderungen.²³⁴

Zusätzlich sind sicherheitsrelevante Aspekte beim Einsatz von Drohnen und Robotik zu berücksichtigen. Bei stationären Robotern ist dies häufig durch einen zuvor klar definierten Sicherheitsbereich rund um das Gerät genau definiert. Bei sich autonom bewegendenden Trägergeräten ist dieser Sicherheitsbereich jedoch nicht eindeutig und somit müssen die Geräte beim Erkennen von Personen abrupt stoppen oder dem Baustellenpersonal ausweichen, um die Unversehrtheit der Personen zu gewährleisten.²³⁵ Bei vielen dieser Systeme ist bereits sichergestellt, dass die Trägergeräte die Betriebsart ändern oder abrupt abstoppen sobald sich ein Mensch ihnen nähert, jedoch ist es nicht ausnahmslos der Fall, dass die dafür erstellten Algorithmen das menschliche Verhalten erkennen und infolgedessen richtig darauf reagieren.

Aus diesem Grund hat auch die Umfrage von Digital Findet Stadt ergeben, dass aufgrund von sicherheitsrelevanten Aspekten und der Ausgereiftheit der Technologie teilautonome Systeme, welche mittels menschlicher Überwachung gesteuert werden, bevorzugt auf Baustellen eingesetzt werden gegenüber vollautonomen Systemen.²³⁶

Die Akzeptanz für Roboter und Drohnen auf Baustellen ist in vielen Fällen immer noch gering, was auf verschiedene Faktoren zurückzuführen ist. Einer dieser Faktoren ist das geringe Verständnis für die Technologie und ihre potenziellen Vorteile. Viele Menschen in der Baubranche sind nicht ausreichend über die Funktionsweise und die Anwendungsmöglichkeiten von Robotern und Drohnen informiert, was zu Vorbehalten und Misstrauen führen kann. Ein weiterer Aspekt, der die Akzeptanz reduziert, ist der Datenschutz. Da Roboter und Drohnen mit Kameras und Sensoren ausgestattet sind, besteht die Möglichkeit, dass sie Bilder und Videos von Personen aufnehmen, die sich auf der Baustelle befinden. Dies kann zu Bedenken und rechtlichen Auseinandersetzungen hinsichtlich des Schutzes der Privatsphäre und des Umgangs mit persönlichen Daten führen.

Zusätzlich erzeugen die ermittelten Daten und Informationen aus den angebrachten Sensoren auf den Trägergeräten ein enormes Datenvolumen.

²³⁴ Vgl. KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. S. 74.

²³⁵ Vgl. KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. S. 74.

²³⁶ Vgl. KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. S. 66.

Je nach Umfang und Anzahl der Aufnahmen sind hierfür große Datenträger erforderlich und die Weiterverarbeitung der generierten Daten benötigt eine hohe Rechenleistung.

Der Fachkräftemangel kann außerdem zu Problemen bei der Implementierung und Nutzung von Drohnen und Robotern in der Baubranche führen. Unternehmen müssen möglicherweise zusätzliche Anstrengungen auf sich nehmen, um qualifizierte Mitarbeiter zu gewinnen, wie beispielsweise die Bereitstellung von Schulungen und Fortbildungen, die Förderung von Ausbildungsprogrammen oder die Zusammenarbeit mit Bildungseinrichtungen. Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Technologie selbst rasante Fortschritte macht. Neue Modelle von Drohnen und Robotern werden kontinuierlich entwickelt, was bedeutet, dass Fachkräfte auf dem neuesten Stand bleiben und sich regelmäßig weiterbilden müssen, um mit den neuesten Technologien und Anwendungen Schritt zu halten.

Der Einsatz von Drohnen und Robotik kann außerdem zu rechtlichen Herausforderungen führen, insbesondere im Hinblick auf die regulatorischen Bestimmungen. Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) hat spezifische Vorschriften und Richtlinien für den Betrieb von Drohnen eingeführt, um die Sicherheit des Luftraums zu gewährleisten. Eine der bedeutenden Einschränkungen ist die Beschränkung der autonomen Flugfähigkeiten von Drohnen. Gemäß den aktuellen Bestimmungen der EASA ist der vollständig autonome Betrieb von Drohnen nicht erlaubt. Es wird verlangt, dass Drohnen von einem Piloten gesteuert werden, der jederzeit die Kontrolle über das Fluggerät hat. Dieses Verbot dient dem Schutz der öffentlichen Sicherheit und der Vermeidung von Kollisionen mit anderen Fluggeräten oder Hindernissen. Darüber hinaus gibt es auch spezifische Regelungen für den kommerziellen Einsatz von Drohnen, beispielsweise die Pflicht zur Erlangung einer behördlichen Genehmigung oder eines Pilotenscheins, je nach Art des Einsatzes. Bei Robotik-Anwendungen gibt es ebenfalls rechtliche Probleme. Autonome Roboter können mit einer Vielzahl von rechtlichen und ethischen Fragen konfrontiert sein, einschließlich der Haftung im Falle von Schäden oder Unfällen. Es ist wichtig, dass der Einsatz von Drohnen und Robotik sorgfältig und verantwortungsbewusst erfolgt, um den geltenden Vorschriften und Gesetzen gerecht zu werden.

6.4.4 SWOT-Analyse der Drohnen und Robotik

Um die Stärken und Schwächen von Drohnen und Robotik bzw. die Chancen und Risiken durch diese Technologie für die Baustellendokumentation zusammenzufassen ist in der nachfolgenden Abbildung eine SWOT-Analyse dargestellt.

STÄRKEN	SCHWÄCHEN
<ul style="list-style-type: none"> • Präzise Aufnahmen von Bauteilen und Gegenständen möglich • Menschliche Fehler können durch die automatische Datenerfassung und Datenauswertung vermieden werden • Große Auswahl an verschiedenen Trägergeräten • Automatisierte Datenerfassung durch die Technologie möglich • Fernzugriff auf Daten möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie ist noch nicht ausgereift • Hohe Rechenleistung und Speicherkapazität wird benötigt • Anfällig gegenüber widrigen Witterungseinflüssen • Technische Ausfälle möglich • Systeme müssen in regelmäßigen Abständen gewartet werden • Fachkräfte werden benötigt
CHANCEN	RISIKEN
<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Qualität und Genauigkeit in der Dokumentation • Verbesserung des Arbeitnehmerschutzes durch den Einsatz in gefährdeten Bereichen • Nahezu Echtzeitdatenerfassung bei Baustellenvorgängen möglich • Automatische Soll-Ist-Vergleiche in regelmäßigen Abständen möglich • Zeitersparnis in der Erfassung und Verwaltung der Dokumentation • Steigerung der Produktivität durch rasche Erkennung von Abweichungen im Bauablauf möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenschutzprobleme können auftreten • Akzeptanz der Mitarbeiter*innen gegenüber der Technologie • Komplexes Schnittstellenmanagement • Sicherheitsrisiken bei der Mensch-Maschine Interaktion • Mangel an Fachpersonal und hohes know-how erforderlich • Rechtliche Probleme können beim Einsatz von autonomen Trägergeräten auftreten

Abbildung 6.18 SWOT-Analyse Drohnen und Robotik

7 Zusammenfassung

Eine ausführliche und gemeinschaftliche Baustellendokumentation aller Projektbeteiligten zählt zu den Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Durchführung von Bauprojekten. Deshalb wird in der gegenständlichen Arbeit untersucht, welche Anforderungen an die Dokumentation auf Baustellen gestellt werden, inwieweit die aktuellen Dokumentationsmittel das Baugeschehen erfassen können und ob neue Innovationen dazu beitragen können, die bestehende Vorgehensweise zu verbessern.

In Kapitel 2 werden zuerst wesentliche Begriffsdefinitionen und baubetriebliche Grundlagen näher erläutert, wobei zunächst auf die einzelnen Projektphasen eines Bauwerks eingegangen wird und weiters spezifisch auf die Projektphase 4, welche in dieser Arbeit näher thematisiert wird. Aufgrund der zahlreichen Vertragsparteien in dieser Projektphase kommt es immer wieder zu Konflikten und Ungereimtheiten, welche eine partnerschaftliche Projektabwicklung gefährden. Des Weiteren werden in diesem Kapitel zwei Begriffe näher erläutert, die bei der Dokumentation des Baugeschehens eine maßgebende Rolle spielen. Als erstes wird der Begriff Produktivität näher beschrieben und erläutert, welche Arten von Produktionsfaktoren es gibt. Die Protokollierung dieser einzelnen Produktionsfaktoren ist essenziell, um eine nachträgliche Rekonstruktion des Baugeschehens zu ermöglichen, jedoch ist das Aufnehmen reiner Daten und Informationen nicht ausreichend. Erst durch die Verknüpfung der einzelnen Daten kann Wissen entstehen, welches für weitere Untersuchungen und Analysen benötigt wird.

Nach den allgemeinen Grundlagen wird in Kapitel 3 näher auf die Baustellendokumentation per se eingegangen. Es werden wesentliche Fragen an die Baustellendokumentation beschrieben und derzeitige Probleme in der Dokumentation analysiert. Hierbei wurde festgestellt, dass vor allem der hohe Bearbeitungsaufwand und die Remanenz zwischen der Datenerfassung und dem eigentlichen Geschehen aktuell zwei große Probleme darstellen. Des Weiteren werden die Erfordernisse an die Baustellendokumentation beschrieben, welche in Kapitel 4 noch weiter vertieft werden.

Das Kapitel 4 dient als Grundlage für die weiteren Kapitel 5 und 6. Hierbei werden die Erfordernisse bei der Nachweisführung von Bauablaufstörungen näher untersucht und erläutert, welche Anforderungen dadurch an die Dokumentation erzeugt werden. Es wird anfangs beschrieben, was Bauablaufstörungen sind und welche Auswirkungen diese auf den Bauablauf verursachen können. Danach werden die Anforderungen an die Nachweisführung von Bauablaufstörungen näher untersucht und ausgeführt, wieso es so wichtig ist, eine zeitnahe Datenerfassung auf der Baustelle durchzuführen. Es wurde festgestellt, dass die Erfordernisse an die Dokumentation sehr hoch sind und deshalb von Experten*innen des Baubetriebs immer wieder kritisiert werden.

In Kapitel 5 wird untersucht, ob die Dokumentationsmittel, die auf gegenwärtigen Baustellen i. d. R. verwendet werden, diese hohen Anforderungen erfüllen. Es wurde festgestellt, dass ohne einen unangemessen hohen Zeitaufwand in der Erfassung der einzelnen Daten die derzeit übliche Baustellendokumentation diese Erfordernisse nicht erfüllen kann. Es wird bei der Analyse außerdem festgestellt, dass wie auch schon in Kapitel 3 beschrieben vor allem die Remanenz der erfassten Daten und der hohe Dokumentationsaufwand zu den wesentlichen Problemen zählen. Zusätzlich sind auch Ungenauigkeiten und durch die menschliche Bearbeitung erzeugte Fehler in den Protokollen eine Schwäche der derzeitigen Datenerfassung.

Aus diesem Grund werden in Kapitel 6 vier Möglichkeiten angeführt, wie die aktuelle Datenerfassung auf Baustellen zeitnaher und mit einem geringeren Bearbeitungsaufwand erfolgen kann. Dabei wurde festgestellt, dass durch die analysierten Innovationen die Remanenz und der Bearbeitungsaufwand deutlich verringert werden kann. Jedoch gibt es auch Schwächen und Risiken beim Einsatz neuer Technologien. Die teilweise geringe Ausgereiftheit und die hohen Investitionskosten der Technologien machen viele ausführende Unternehmen skeptisch, ob die Implementierung wirklich den erwarteten Nutzen für das Unternehmen bringt.

Der Autor ist jedoch der Meinung, dass in Zukunft durch weitere Forschungsprojekte und der Verbesserung der einzelnen Technologien diese immer attraktiver für die Baustellendokumentation werden und einen enormen wirtschaftlichen Nutzen als auch eine bessere Kommunikation und eine partnerschaftliche Zusammenarbeit auf der Baustelle herbeiführen werden.

8 Ausblick

Die Digitalisierung in der Baubranche wird auch in Zukunft immer weiter voranschreiten und neue Anwendungsmöglichkeiten in den Bauprozessen erzeugen. Außerdem zwingt der demografische Wandel in unserer Gesellschaft und der dadurch entstehende Fachkräftemangel in der Baubranche die Bauwirtschaft dazu, neue Wege zu finden, um ihre Prozesse effizienter und kostengünstiger zu gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber den Mitkonkurrent*innen aufrecht zu erhalten. Ein weiterer Faktor, der die Digitalisierung vorantreibt, ist die stetige Verbesserung der Rechenleistung und Speicherkapazität. Fortschritte in der Computertechnologie ermöglichen es, immer größere Datenmengen zu verarbeiten und zu speichern, wodurch die Anwendungsgebiete für den Einsatz neuer Technologien immer weitreichender werden.

Vor allem im Bereich der Baustellendokumentation wird es laut Meinung des Autors in Zukunft große Veränderung geben. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass der Dokumentationsaufwand für eine umfassende Erfassung des Baugeschehens derzeit sehr hoch ist und es deshalb häufig dazu kommt, dass die Dokumentationsunterlagen ungenau, unvollständig und fehlerbehaftet sind. Andererseits wird der Aufwand bei der Erfassung der Baustellentätigkeiten in den nächsten Jahren noch weiter ansteigen und die Unternehmen dazu zwingen, neue Wege zu finden, um die Durchführung der Dokumentation effizienter und wirtschaftlicher zu gestalten.

Um diese Herausforderungen in Zukunft bewältigen zu können, bieten sich vor allem neue Digitalisierungsprodukte im Bereich der Datenerfassung und Datenverwaltung an, welche es ermöglichen, den Dokumentationsprozess teilautonom oder vollautonom zu gestalten. Es ist hierbei jedoch anzumerken, dass reine Insellösungen zur Verbesserung des aktuellen IST-Zustandes nicht zielführend für eine gesamtheitliche Optimierung der Baustellendokumentation sind. Vielmehr ist es die Kombination aus den verschiedenen Datenerfassungstools und der automatischen Datenverarbeitung sowie Datenauswertung, die erst einen signifikanten Mehrwert für den gesamten Dokumentationsprozess erzeugen. Bei der Wahl dieser einzelnen Hilfsmittel ist jedoch der spezifische Anwendungsfall zu berücksichtigen. Durch die in dieser Arbeit durchgeführte SWOT-Analyse sollen die Wahl der geeigneten Technologie je nach Anwendungsfall leichter fallen und die enormen Potenziale dieser neuen Innovationen aufgezeigt werden.

Trotz dieser vielversprechenden Entwicklungen ist zu beachten, dass neuartige Technologien auch Risiken mit sich bringen und neue Herausforderungen erzeugen können. Dies darf trotz des weitverbreiteten Hypes rund um das Thema Digitalisierung nicht außer Acht gelassen werden, da die Soft- und Hardwareprodukte teilweise noch nicht vollständig entwickelt

sind und sich erst durch tatsächliche Anwendungen auf der Baustelle bewähren müssen. Deshalb herrscht in der Baubranche noch eine sehr geringe Bereitschaft für die Implementierung neuer Technologien im Bereich der Baustellendokumentation. Ein Grund für diese Investitionszurückhaltung ist die Scheu vor Veränderungen und die Befürchtung, dass die Einführung digitaler Lösungen mit hohen Kosten sowie einem hohen Zeit- und Ressourcenaufwand verbunden ist. Die Unternehmen sind unsicher über die Auswirkungen der Digitalisierung auf ihre Geschäftsmodelle und haben Bedenken hinsichtlich der Sicherheit und des Datenschutzes. Dies führt dazu, dass viele Unternehmen in ihrer gewohnten Arbeitsweise verharren und die Chancen der Digitalisierung ungenutzt lassen. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, Unternehmen über die vielfältigen Nutzungspotenziale der Digitalisierung aufzuklären und ihnen die Vorteile deutlich zu machen.

Eine Möglichkeit, um die Investitionsbereitschaft bei den Unternehmen zu erhöhen, ist es, weitere Forschungs- und Pilotprojekte im Bereich der Baustellendokumentation durchzuführen, um die Schwächen der einzelnen Digitalisierungspotenziale für den spezifischen Anwendungsfall auf der Baustelle noch näher zu untersuchen und reduzieren zu können. Neue Technologien und Prozesse müssen getestet, optimiert und an die spezifischen Anforderungen der Baubranche angepasst werden. Es besteht Bedarf an branchenübergreifender Zusammenarbeit, um bewährte Praktiken und Standards für die digitale Transformation in der Bauwirtschaft zu entwickeln. Durch die Forschung in diesem Bereich können weitere Nutzungspotenziale und Anwendungsmöglichkeiten identifiziert werden. Die Erhöhung des Reifegrads der einzelnen Technologien und das Aufzeigen der Nutzungspotenziale durch die Forschungs- und Pilotprojekte kann die Investitionsbereitschaft bei den Unternehmen signifikant erhöhen.

Interessant wird auch sein, wie in Zukunft mit den neuen Technologien in rechtlicher Hinsicht umgegangen wird. Der rechtliche Aspekt spielt hierbei nämlich eine entscheidende Rolle für den erfolgreichen Einsatz neuer Innovationen. Vor allem im Bereich der autonomen Datenerfassung gibt es derzeit noch starke Einschränkungen, welche eine gänzlich autonome Datenerfassung noch kaum ermöglichen. Um die Automatisierung der Dokumentation in Zukunft weiter voranzutreiben, ist es deshalb erforderlich, die Technologien vor allem in den Bereichen Datenschutz und Nutzungssicherheit weiterzuentwickeln. Des Weiteren muss untersucht werden, inwieweit die autonom generierten Daten bei der Durchführung und Geltendmachung von Mehrkostenforderungen vor Gericht anerkannt werden. Hierbei werden auch Änderungen in den Gesetzestexten erforderlich sein, welche von Fachleuten bereits untersucht werden.

Bei all diesen neuen Entwicklungen im Bereich der Datenerfassung darf jedoch nie der Faktor Mensch vergessen werden, da dieser eine zentrale Bedeutung bei der Implementierung und Weiterentwicklung neuer Tech-

nologien besitzt. Bei allen methodischen, organisatorischen und technischen Veränderungen muss das Personal weiterhin im Mittelpunkt der Entwicklung stehen. Um dies zu erreichen, muss ein Umdenken und ein Kulturwandel initiiert werden, der eine kontinuierliche Innovation und Experimentierfreude fördert. Es ist außerdem wichtig, dass die Einführung neuer Werkzeuge die Mitarbeiter*innen nicht überfordert. Die Herausforderung besteht darin, den unterschiedlichen Anspruchsgruppen in Bezug auf Alter, Kompetenz und individuelle Einstellung gerecht zu werden. Ohne die Akzeptanz der Mitarbeiter*innen ist ein digitaler Wandel in der Bauwirtschaft nicht durchführbar.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Digitalisierung in der Bauwirtschaft stark im Kommen ist. Die Innovationen im Bereich der Datenerfassung ermöglichen eine effizientere Baustellendokumentation, während die fortschreitende Verbesserung von Rechenleistung und Speicherkapazität die Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen erleichtert. Dennoch ist es von entscheidender Bedeutung, dass weitere Forschung und Pilotprojekte durchgeführt werden, um die digitalen Möglichkeiten in der Baubranche voll auszuschöpfen. Gleichzeitig sollte der demografische Wandel als Chance betrachtet werden, um digitale Lösungen einzusetzen und den Arbeitsmarkt anzupassen. Die Bauwirtschaft steht vor aufregenden Veränderungen, die das Potenzial haben, die Branche nachhaltig zu transformieren und zu verbessern, jedoch kann dies nur durch eine ausreichende Akzeptanz und mit der Bereitschaft für eine Veränderung bei den Unternehmen und Mitarbeiter*innen erfolgen.

9 Literaturverzeichnis

AHTING, S.: Nachtragsmanagement bei gestörten Bauabläufen. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.

AIKA, L.: Datenerfassung mittels unbemannter Flugobjekte im Hinblick auf eine automatisierte Baufortschrittskontrolle. München. Technische Universität München, 2017.

BAUER, H.: Baubetrieb. 3. vollständig neu bearbeitete Auflage. Heidelberg. Springer Verlag, 2013.

BAUER, M.; BIENZEISLER, B.; ROHM, M.: Track and Trace Technologien im Überblick. Stuttgart. Fraunhofer IAO, 2019.

BERNER, F.; KOCHENDÖRFER, B.; SCHACH, R.: Grundlagen der Baubetriebslehre 3. Wiesbaden. Springer Verlag, 2015.

BORRMANN, A. et al.: Integrierte Planung auf Basis von 3D-Modellen. In: Digitale Baustelle – innovativer Planen, effizienter Ausführen. Hrsg.: BORRMANN, A.: Heidelberg. Springer Verlag, 2011

DORNBUSCH, J.; PLUM, H.: Claim-Management beim VOB-Vertrag : Abweichungen, Ansprüche, Nachträge. 1. Auflage. Geilenkirchen. Plum, 2002.

DREIER, F.: Nachtragsmanagement für gestörte Bauabläufe aus baubetrieblicher Sicht. Cottbus. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 2001.

ELWERT, U; FLASSAK, A.: Nachtragmanagement in der Baupraxis. 3. Auflage. Wiesbaden. Vieweg + Teubner Verlag, 2010

FRÜHWIRTH, M.; SEEBACHER, G.: Die erforderliche Anspruchskonkretisierung von Mehrkostenforderungen aus baubetriebswirtschaftlicher und rechtlicher Sicht. Linde Verlag. bauaktuell, 09/2017.

GALLISTEL, U.; RAAB, J.: Primär- und Sekundärstörungen aus rechtlicher Sicht mit Fokussierung auf Einzelvergaben und GU-Aufträgen. In: Tagungsband zum 17. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Reduktion von Bauablaufstörungen und systematischer Umgang mit Mehrkostenforderungen. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; HECK, D.; KUMMER, M.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2019.

GARY, J.: Nachweisführung von Ursachen, Folgen und Auswirkungen von Bauablaufstörungen am Beispiel des Hochbaus. Wien. FH Wien, 2020.

GAUS, W.: Dokumentations- und Ordnungslehre. Theorie und Praxis des Information Retrieval. 5., überarbeitete Auflage. Berlin. Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

GHOSH, A.; EDWARDS, D.; HOSSEINI, M.: Patterns and Trends in Internet of Things (IoT) Research: Future Applications in the Construction Industry. Veröffentlicht in Business, Engineering, Construction and Architectural Management, 2020.

GIRMSCHIED, G.: Angebots- und Ausführungsmanagement – prozessorientiert. Erfolgsorientierte Unternehmensführung. 3. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.

GÖGER, G.; REISMANN, W.: Digitale Dokumentation und Beweissicherung. Wien. Verlag der Technischen Universität Wien, 2018.

GRALL, M.: Was wird in Deutschland unter dem Begriff Einzelnachweis verstanden und wie wird in der Praxis damit umgegangen?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkostenforderungen – Wo liegen die Grenzen?. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; HECK, D.; KUMMER, M.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2023.

GREUNE, S.: Darlegung und Bewertung von Produktivitätsminderungen bei multiplen Bauablaufstörungen. Schriftenreihe Heft 55. Braunschweig. Technische Universität Braunschweig - Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2014.

HASTENTEUFEL, J.; WEBER, S.; RÖHM T.: Digitale Transformation im Controlling. Wiesbaden. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2022.

HECK, D.: Mehrkostenforderungen, ein anstehender Paradigmenwechsel oder nur lästige Pflicht in der Nachweisführung?. In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global?. Hrsg.: HECK, D.; HOFSTADLER, C.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2018.

HEILFORT, T.: Partnerschaftliches Management von Bauablaufstörungen - Mehr Erfolg durch Kooperation. In: Bauwirtschaft, 9/2001.

HENZLER, R.: Information und Dokumentation - Sammeln, Speichern und Wiedergewinnen von Fachinformation in Datenbanken. Berlin. Springer Verlag, 1992.

HRUSCHKA, S.; PAYR, S.; ANTONY, C.: Digitalisierung im Baubetrieb – neue Herausforderungen und Chancen für die Bauherrenrolle. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; MOTZKO, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2021.

HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Berlin, Heidelberg. Springer Verlag, 2007.

HOFSTADLER, C.: Multisystemische Hybridpyramide für den agilen Baubetrieb. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; MOTZKO, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2021.

HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb - Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, 2014.

HOFSTADLER, C.: Sachgerechte Ermittlung von Mehrkosten für die gestörte Leistungserbringung. Präsentation. Graz. 2016.

HOFSTADLER, C.; DINI, A.; PETSCHNIG, J.: Digitalisierung im Baubetrieb - Einsatz der Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht – 50 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz. Hrsg.: HOFSTADLER, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2019.

HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Der Preis einer fast lückenlosen Dokumentation. In: Tagungsband 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2016.

HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft – Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft. Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag, 2017.

HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Einsatz und Wirksamkeit von SOLL-SOLLTE-IST Vergleichen. In: Tagungsband zum 20. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Arten von Leistungsabweichungen und Methoden der Nachweisführung. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.; HECK, D.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2022.

HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Risiken und Chancen der Mischpreiskalkulation. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2015

HOFSTADLER, C.; Kummer, M.: Was sind Produktivitätsverluste und welche Wirkungen haben diese?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkosten-forderungen – Wo liegen die Grenzen?. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.; HECK, D.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2023.

HOFSTADLER, C.; LECHNER, H; HECK, D.: Tagungsband zum 11. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Bauablaufstörungen und Produktivitätsverluste. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2022.

HOFSTADLER, C.; NINAUS, C.: Wissen als grundlegender Produktionsfaktor in der Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht – 50 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft der TU Graz. Hrsg.: HOFSTADLER, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2019.

HOFSTADLER, C.: Projektvorlaufzeit und Bauzeit – Ermittlung und Einfluss auf den Projekterfolg. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2022.

KOCHENDÖRFER, B.; LIEBCHEN, J.; VIERING, M.: Bau-Projekt-Management Grundlagen und Vorgehensweisen. 4. Auflage. Berlin. Vieweg + Teubner Verlag, 2010.

KARASEK, G.: Beweispflichten und Dokumentation bei Behinderung. In: Tagungsband zum 8. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Das Anordnungsrecht des Auftraggebers. Hrsg.: HECK, D.; MAUERHOFER, G.; HOFSTADLER, C.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2015.

KAUFMANN, T.; SERVATIUS, H.-G.: Das Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz als Game Changer. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2020.

KODEK, G.: Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag-Anspruchsvoraussetzungen und Nachweisführung In: Tagungsband zum 10. Grazer Baubetriebs- und Baurechtsseminar: Die Mehrkostenforderung – Nachweisführung, konkret oder global?. Hrsg.: HECK, D.; HOFSTADLER, C.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz. 2018

KÖLZER, T.: Einflüsse der Digitalisierung auf Baustellenarbeitsprozesse. Hamburg. Technische Universität Hamburg, 2021.

KUMLEHN, F.: Problemfelder bei der Bewertung von Bauablaufstörungen. In: Sonderfragen des gestörten Bauablaufs - Schriftenreihe Heft 35. Hrsg.: WANNINGER, R.: Braunschweig. Technische Universität Braunschweig - Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2003.

KÜNZLER, K. et al.: Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche. Wien. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), 2022.

LANDOWSKI D.: Einzel- oder Generalplaner – die optimale Planereinsatzform. Berlin. Springer Berlin Heidelberg, 2017.

LECHNER, H.: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Rechtssichere Dokumentation der öBA-Leistungsbild und Verantwortlichkeiten für die Dokumentation auf Baustellen. Hrsg.: HECK, D. et al.: Graz. Verlag der Technische Universität Graz, 2016.

LECHNER, H.: Die Entwicklung der Anforderungen an die Darlegung von Ansprüchen aus Behinderung. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht. Hrsg.: HOFSTADLER, C.: Heidelberg. Springer Vieweg, 2019

MAUERHOFER, G.; HARRER, E.; KRANINGER, M.; Skriptum Baumanagement Grundlagen WS2018/19.

MEHR, O.; MOTZKO, C.: Zeitnahe Leistungsfeststellung durch Sensorik und Bildverarbeitung – von einfachen bis zu komplexen Verfahren. In: Tagungsband zum 14. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Belastbare Dokumentation in der Bauausführung. Hrsg.: HECK, D.; HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2016.

MOTZKO, C. et al.: Ausgewählte Aspekte des zeitnahen Controllings von Bauprojekten. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; MOTZKO, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2021.

MOTZKO, C. et al.: Zur Relevanz der Baulogistik. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; MOTZKO, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2021.

MÜLLER K.; GÖGER G.: Der gestörte Bauablauf. Wien. Linde Verlag, 2016.

MÜLLER, K.; STEMPKOWSKI, R.: Handbuch Claim-Management. Wien. Linde Verlag, 2012.

OBERNDORFER, W.: Claimmanagement Teil 1. Wien. MANZ'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 2010.

ÖSTERREICHISCHES NORMUNGsinstitut: ÖNORM B 2110:2023 Allgemeine Vertragsbestimmungen für Bauleistungen - Werkvertragsnorm. ÖNORM. Wien. Austrian Standards plus GmbH, 2023.

POCHMARSKI, K.: Ist in Österreich ein Einzelnachweis erforderlich?. In: Tagungsband zum 21. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Berechtigte und unberechtigte Mehrkostenforderungen – Wo liegen die Grenzen?. Hrsg.: HOFSTADLER, C.; HECK, D.; KUMMER, M.: Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2023.

POLZIN, B.; RINGLER, P.; WEIGL, H.: Wissensmanagement im Bauwesen. Wiesbaden. Springer Verlag Heidelberg, 2022.

REDL, T.: Einsatz von Photogrammetrie und Laserscanning zur Dokumentation von Bauwerken. Wien. Technische Universität Wien, 2005.

REISTER, D.: Nachträge beim Bauvertrag. Köln. Werner Verlag, 2014.

ROMHARDT, K.: Organisation aus der Wissensperspektive. Wiesbaden. Gabler Verlag, 1998.

SCHERER, J.; SCHAPKE, S.: Informationssysteme im Bauwesen 2. Dresden. Springer Vieweg, 2014.

SCHIRMER S.: Bau-Projektmanagement für Einsteiger. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2020.

SCHUBERT, E.: Planungswirtschaft \neq Bauwirtschaft. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht Hrsg.: HOFSTADLER, C.: Heidelberg. Springer Vieweg, 2019.

SPANG, K. et al.: Bauausführung. In: Projektmanagement von Verkehrsinfrastrukturprojekten. Berlin, Heidelberg. Springer Verlag, 2016.

SPANG, K.: Fristverlängerungen infolge von Bauablaufstörungen. Lüneburg. Verlag der Universität Lüneburg, 2017.

STEMPKOWSKI, R.: Bauwirtschaftliche Nachweisführung. In: Festschrift. Hrsg.: BERLAKOVITS, C.; HUSSIAN, W.; KLETECKA, A. Wien. MANZ'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, 2018.

STÖCKL, R.: Einsatzmöglichkeiten von neuronalen Netzen im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. Graz. Technische Universität Graz, 2018.

STÖCKL, R.; HOFSTADLER, C.: Neuronale Netze im Baubetrieb und in der Bauwirtschaft. In: Agile Digitalisierung im Baubetrieb. Hrsg.: HOFSTADLER, C; MOTZKO, C.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2021.

TIESLER, A. et al.: Baubetriebliche Gutachten – Mysterium zur Wahrheits- und Entscheidungsfindung. In: Aktuelle Entwicklungen in Baubetrieb, Bauwirtschaft und Bauvertragsrecht Hrsg.: HOFSTADLER, C.: Heidelberg. Springer Vieweg, 2019.

VYGEN, K. et al.: Bauverzögerungen und Leistungsänderungen. Köln. Wernerverlag, 2011.

WANG, Z. et al.: Vision-Based Framework for Automatic Progress Monitoring of Precast Walls by Using Surveillance Videos during the Construction Phase. Journal of Computing in Civil Engineering Ausgabe 35 (1), 2020

WANNINGER, R.: Die Frage der Methode - Anspruch versus Realität. In: Die "bauablaufbezogene Untersuchung" als Maß der Dinge - Schriftenreihe Heft 52. Hrsg.: WANNINGER, R.: Braunschweig. Technische Universität Braunschweig - Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb, 2012.

WILL, F.: Automatisierte Baumaschinen und Bau-Robotik. In: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden. Hrsg.: KUKOVEC, S.: Wiesbaden. Springer Vieweg, 2022.

WISSENSMANAGEMENT FORUM.: Das Praxishandbuch Wissensmanagement. Graz. Verlag der Technischen Universität Graz, 2007.

WÜRFELE, F.; GRALLA, M.; SUNDERMEIER, M.: Nachtragsmanagement. Köln. Werner Verlag, 2011.

ZANNER, C; SAALBACH, B; VIERING, M.: Rechte aus gestörten Bauablauf nach Ansprüchen. Berlin. Springer Vieweg, 2014.

ZEILER, M.; FERGUS, R.: Visualizing and Understanding Convolutional Networks. CoRR Journal, Ausgabe 1311.2901. 2013

ZIMMERMANN, J.: Prozessorientierter Nachweis der Kausalität zwischen Ursache und Wirkung bei Bauablaufstörungen. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag, 2010.

10 Linkverzeichnis

<https://www.arbeiterkammer.at/ueberwachung-am-arbeitsplatz>. Datum des Zugriffs: 07.06.2023

<https://azure.microsoft.com/de-de/services/cognitive-services/form-recognizer/#features>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023.

<https://dach.live/innovation-technik/trends/eu-drohnenverordnung/#:~:text=Was%20m%C3%BCssen%20Dachdecker%20noch%20tun,ersetzt%20die%20bisherige%20feuerfeste%20Platte>. Datum des Zugriffs: 30.06.2023

<https://www.dgq.de/fachbeitraege/was-ist-kuenstliche-intelligenz>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023.

<https://www.handwerkundbau.at/betonbau>. Datum des Zugriffs: 11.04.2023.

<https://www.ikea.com/at/de/newsroom/corporate-news/erstellung-eines-3d-gebaeudemodells-roboterhund-spot-zieht-seine-runden-durch-die-baustelle-des-ikea-wien-westbahnhof-pub58850590> Datum des Zugriffs: 27.06.2023

<https://www.mokosmart.com/de/internet-of-things-sensors/> Datum des Zugriffs: 07.06.2023.

<https://www.planradar.com/at/oenorm-b-2110-dokumentation-auf-der-baustelle>. Datum des Zugriffs: 02.04.2023.

<https://www.planradar.com/at/roboter-auf-der-baustelle-wie-sie-den-bau-effizienter-machen/>. Datum des Zugriffs: 27.06.2023

<https://www.planradar.com/de/baustellendokumentation>. Datum des Zugriffs: 31.03.2023.

<https://www.rib-software.com/loesungen/mobiles-baumanagement/bautagebuch>. Datum des Zugriffs: 02.04.2023.

<https://www.sky-elements.com/news/photogrammetrie-schulungen-fuer-drohnendienstleister>. Datum des Zugriffs: 02.07.2023.

<https://tu-dresden.de/forschung-transfer/transfer/newsboard/ki-gestuetzt-zum-automatischen-protokoll>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023

<https://www.umdachgroup-ventures.com/de/baufortschrittserkennung>. Datum des Zugriffs: 06.06.2023.

<https://www.yumpu.com/de/document/view/11116930/betoniertagebuch-materialprufungs-und-versuchsanstalt-neuwied>. Datum des Zugriffs: 03.04.2022

