

Diplomarbeit

Ermittlung des Effizienzpotentials durch Optimierung der Disposition von Baugeräten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Determining Efficiency Potential by Optimizing Construction Equipment Allocation

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

Igor Todić

Matr.Nr.: 01634878

Betreuung: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Frank Lulei**
Projektass. Dipl.-Ing. **Maximilian Weigert**
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Forschungsbereich Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E235, 1040 Wien, Österreich

Wien, im März 2025



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Danksagung

Ein großes Dankeschön gilt meinem universitären Betreuer Projektass. Dipl.-Ing. Maximilian Weigert, der mich mit viel Geduld, fachlicher Unterstützung und als verlässliche Ansprechperson durch den gesamten Entstehungsprozess dieser Diplomarbeit begleitet hat. Weiterer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Frank Lulei, dem ich danken möchte, dass er die Durchführung dieser Diplomarbeit ermöglicht hat.

Ein besonderer Dank gebührt Bmstr. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Winkler und Dipl.-Ing. Filip Marković, ohne deren tatkräftige Unterstützung diese Diplomarbeit nicht in ihrer jetzigen Form hätte entstehen können. Ihre stetige Motivation, die engagierte Begleitung sowie die wertvollen Hinweise und das zur Verfügung gestellte Datenmaterial haben maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Darüber hinaus möchte ich mich bei dem unterstützenden Unternehmen sowie bei all jenen bedanken, die mich während der gesamten Entstehung dieser Arbeit begleitet und mit ihrem Fachwissen und ihrem konstruktiven Feedback unterstützt haben.

Ein abschließendes, herzliches Dankeschön geht an Andrea. Danke, dass du in dieser intensiven und stressigen Phase so viel Geduld und Verständnis aufgebracht hast. Du hast mir die nötige Motivation gegeben und mich darin bestärkt, auch die größten Herausforderungen zu meistern. Meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, kann ich nur meine unermessliche Dankbarkeit aussprechen. Eure fortwährende Unterstützung und eure aufmunternden Worte haben mich durch meinen gesamten Lebensweg begleitet. Euer familiärer Rückhalt hat mir die notwendige Kraft geschenkt, um selbst die größten Hürden zu überwinden.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Verwendung unterstützender Technologien

Bei der Erstellung der vorliegenden Diplomarbeit wurde unterstützend Künstliche Intelligenz (KI) eingesetzt. Konkret wurde ausschließlich das KI-Modell ChatGPT vom Unternehmen OpenAI verwendet. Dieses Modell kam in zwei spezifischen Bereichen zur Anwendung:

Einerseits diente es als sprachliche Unterstützung bei der Formulierung von Texten sowie als Lektor. Hierbei wurde besonders darauf geachtet, dass ausschließlich Ausdrucksweise, Rechtschreibung und Grammatik verbessert wurden. Der gesamte fachliche Inhalt der Arbeit stammt vollständig vom Autor.

Andererseits wurde die KI zur Unterstützung bei der Fehleranalyse (Debugging) des entwickelten Algorithmus eingesetzt. Wenn während der Durchführung der Simulation oder beim Testen Fehler auftraten, wurden diese mithilfe des KI-Modells analysiert und interpretiert. Die auftretenden Fehlercodes und Meldungen wurden ausgewertet, um gezielte Lösungsansätze zu entwickeln. Alle erarbeiteten Inhalte wurden vom Autor umfassend geprüft und angepasst.

Es ist wichtig hervorzuheben, dass die KI in dieser Arbeit ausschließlich als Hilfsmittel diente. Alle in der Diplomarbeit formulierten Erkenntnisse, Analysen, Auswertungen und Schlussfolgerungen sind das alleinige Ergebnis der eigenständigen Forschung und wissenschaftlichen Arbeit des Autors. Über die gesamte Diplomarbeit hinweg wurden keine KI-generierten Texte vollständig oder direkt übernommen. Aus diesem Grund sind in der Arbeit auch keine direkten Zitate im Zusammenhang mit der Nutzung von KI ausgewiesen. Der Einsatz der KI erfolgte ausschließlich unterstützend und stets in Übereinstimmung mit den wissenschaftlichen Standards, um die Qualität der Arbeit sicherzustellen und zu verbessern.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit untersucht die Optimierung der Disposition von Baugeräten, um die Effizienz in Bauunternehmen nachhaltig zu steigern. Aktuell erfolgt die Verwaltung von Baugeräten und Maschinen in vielen Unternehmen zwar digital, allerdings häufig noch in unterschiedlichen, teils inkompatiblen Systemen oder sogar teilweise noch papierbasiert. Diese uneinheitliche Datenhaltung führt zu Informationsverlusten, Planungsfehlern und einer ineffizienten Auslastung der Geräte- und Maschinenbestände. Insbesondere durch die fortschreitende Digitalisierung wird eine effiziente Disposition zunehmend wichtiger, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Angesichts der zunehmenden Digitalisierung ist zu analysieren, welche Strategien zu einer höheren Effizienz in der Baugeräte-Disposition beitragen können und wie stark sich dieser Effekt durch digitale Lösungen und Automatisierung verstärken lässt.

Um diese Fragestellungen zu beantworten, stellt die Arbeit zunächst die bestehenden Dispositionsprozesse eines österreichischen Bauunternehmens mithilfe von BPMN-Modellen dar. Im nächsten Schritt folgt eine umfassende Analyse verschiedener Datenquellen (ERP-System, Telematikdaten, Tabellenkalkulationssoftware), um Schwachstellen und Potentiale zur Prozessverbesserung zu identifizieren. Aus diesen Erkenntnissen entsteht abschließend ein IDEAL-Prozessmodell, das die Integration digitaler Tools vorsieht und die daraus resultierenden optimierten Abläufe beschreibt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse entwickelt die Arbeit einen Algorithmus, der historische Dispositionsdaten der Gerätegruppe „Vibrationswalzen, Walzenzüge und Kombiwalzen“ nutzt und mithilfe definierter Parameter ein optimiertes Szenario simuliert. Dabei zeigt sich, dass die Auslastung der Baugeräte durch den gezielten Einsatz digitaler Tools und die Optimierung der Abläufe um bis zu 12 % gesteigert werden kann. In bestimmten Gerätekategorien lassen sich darüber hinaus sogar Geräte einsparen. Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit einer systematischen Prozessoptimierung sowie einer fundierten Datenanalyse und liefern konkrete Handlungsempfehlungen für eine effiziente Gerätedisposition.

Schlagwörter: Gerätedisposition, Digitalisierung, Prozessoptimierung, Algorithmus, Simulation



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Abstract

This thesis examines the optimization of equipment allocation in order to sustainably increase efficiency in construction companies. Although construction machinery and equipment is currently managed digitally in many companies, this is often still done in different, sometimes incompatible systems, or even partly on a paper-based basis. This inconsistent data management leads to information loss, planning errors, and inadequate utilization of machinery and equipment stocks. Considering the ongoing digitalization, efficient allocation is becoming increasingly important to remain competitive in the long term. In light of increasing digitalization, it is necessary to analyze which strategies can contribute to greater efficiency in equipment allocation and to what extent this effect can be enhanced through digital solutions and automation.

To answer these research questions, the thesis first presents the existing allocation processes of an Austrian construction company using BPMN models. The next step involves a comprehensive analysis of various data sources (ERP system, telematics data, spreadsheet software) to identify weaknesses and potential for process improvement. Based on these findings, an IDEAL process model is developed, which incorporates the integration of digital tools and describes the resulting optimized workflows.

Based on these findings, the thesis develops an algorithm that uses historical allocation data of the equipment group “vibrating rollers, compactors and combination rollers” and simulates an optimized scenario using defined parameters. It becomes apparent that the utilization of construction equipment can be increased by up to 12% through the targeted use of digital tools and the optimization of workflows. In certain equipment categories, the number of machines can even be reduced. The results highlight the necessity of systematic process optimization and data analysis and provide recommendations for efficient equipment allocation.

Keywords: Equipment Allocation, Digitalization, Process Optimization, Algorithm, Simulation

Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
BIM	Building Information Modeling
BGL	Baumaschinengeräteliste
BPMN	Business Process Model and Notation
BUAK	Bauarbeiter-Urlaubs- und Abfertigungskasse
CAN	Controller Area Network
ERP	Enterprise Resource Planning
GIS	Geoinformationssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System
IoT	Internet of Things
KI	Künstliche Intelligenz
MRP	Material Requirements Planning
NaN	Not a Number
n.v.	nicht verfügbar
PAYD	Pay As You Drive
PHYD	Pay How You Drive
PwC	PricewaterhouseCoopers
TBKS	Tabellenkalkulationssoftware
VR	Virtual Reality

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	14
1.1	Motivation	14
1.2	Forschungsabgrenzung	15
1.3	Forschungsfragen	15
1.4	Forschungsmethodik	15
1.5	Aufbau der Arbeit	16
2	Baugeräteliste	18
2.1	Aufbau	18
2.2	Zeitbegriffe für Geräteeinsätze	19
2.3	Kategorien von technischen Geräten im Baubetrieb	20
2.4	Gerätegruppe „D.8.3 – Verdichtungsgeräte“	20
2.4.1	D.8.30 Tandem-Vibrationswalze	20
2.4.2	D.8.31 Walzenzug	21
2.4.3	D.8.32 Vibrationskombiwalze	22
3	Digitalisierung in der Baubranche	23
3.1	Aktueller Stand	23
3.1.1	Building Information Modeling (BIM)	24
3.1.2	Künstliche Intelligenz (KI)	25
3.1.3	Internet of Things (IoT)	26
3.1.4	Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)	26
3.1.5	Cloud Computing	26
3.2	Zusammenfassung	27
4	Disposition im Bauwesen	28
4.1	Allgemeine Definition	28
4.2	Disposition in Bauunternehmen	28
4.3	Abgrenzung der Disposition	29
4.4	Aufgabenbereich der Disposition im Bauwesen	29
4.5	Dispositionsstrategien im Bauwesen	30
4.5.1	Zentrale und dezentrale Disposition	30
4.5.2	Steuerungsstrategien in der Disposition	32
4.6	Digitale Gerätedisposition	33

4.6.1	Planungsphase	34
4.6.2	Transport	35
4.6.3	Nutzungsphase	35
4.7	Zusammenfassung	36
5	Digitale Infrastruktur im Bauwesen	37
5.1	ERP-System	37
5.1.1	Definition und Konzept von ERP	37
5.1.2	Nutzen und Relevanz von ERP	38
5.1.3	Architektur eines ERP-Systems	39
5.2	Telematiksystem	40
5.2.1	Definition und Konzept von Telematik	40
5.2.2	Nutzen und Relevanz von Telematik	40
5.2.3	Funktionsprinzipien von Telematiksystemen	41
5.3	Zusammenfassung	43
6	Prozesserhebung, Datenanalyse und Modellkonzeption	44
6.1	Datenerhebung und Methodik	44
6.2	Prozesse der Gerätedisposition	46
6.2.1	Prozess des Geräteankauf bzw. Gerätemiete	46
6.2.2	Prozess der Gerätedisposition	49
6.3	Datenaufbereitung und -reduktion	51
6.4	Gegenüberstellung der gesammelten Daten	56
6.4.1	Daten aus dem ERP-System	56
6.4.2	Daten aus der Tabellenkalkulationssoftware	58
6.4.3	Daten aus den Telematikeinheit	59
6.4.4	Gegenüberstellung	61
6.5	Theoretisches Optimierungspotential der gegenwärtigen Situation	63
6.6	Umsetzung der Optimierungspotentiale im IST-Prozess	71
6.7	Zusammenfassung	76
7	Effizienzbewertung des IDEAL-Modells	78
7.1	Einfluss des IDEAL-Modells	78
7.2	Datenaufbereitung	79
7.3	Plausibilitätsprüfung vor der Simulation	81
7.4	Methodik der Simulation	87

7.4.1	Mathematische Beschreibung des Algorithmus	89
7.4.2	Plausibilitätskontrolle	95
7.5	Ergebnisse der Simulationen	96
7.5.1	D830 (≤ 2.500 kg)	98
7.5.2	D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)	101
7.5.3	D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg)	103
7.5.4	D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg)	105
7.5.5	D831 (> 16.000 kg)	107
7.5.6	D832 (≤ 5.000 kg)	109
7.5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	111
7.6	Zusammenfassung	111
8	Zusammenfassung und Ausblick	112
8.1	Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfragen	112
8.2	Diskussion	115
8.3	Handlungsempfehlungen	116
8.4	Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	118
	Abbildungsverzeichnis	119
	Tabellenverzeichnis	121
	Literaturverzeichnis	122
	Anhang	126

1 Einleitung

Die Digitalisierung verändert viele Bereiche in der Bauindustrie und bringt sowohl neue Chancen als auch Herausforderungen mit sich. Besonders in Unternehmen, die Baugeräte und dazugehörige Ausrüstungen vermieten oder betreiben, ist es entscheidend, die Verwaltung der Geräte zu optimieren und deren Auslastung zu verbessern. Ziel ist es, Prozesse zu schaffen, die zu einer höheren Produktivität führen können. In der Praxis wird die Disposition der Geräte jedoch oft uneinheitlich gehandhabt. Zwar werden die Daten häufig digital erfasst, allerdings in unterschiedlichen, nicht kompatiblen Systemen. Gleichzeitig existieren in einigen Bereichen noch papierbasierte Prozesse, sodass Geräte teilweise noch mit „Stift und Papier“ disponiert werden. Diese uneinheitliche Datenhaltung führt zu Planungsfehlern und erschwert einen optimalen Einsatz des Gerätebestands. Zudem fehlt es an der nötigen Transparenz, um verlässlich beurteilen zu können, ob der aktuelle Gerätefuhrpark den Anforderungen genügt, oder ob er erweitert werden muss. Einheitliche und digitalisierte Prozesse bieten hier großes Verbesserungspotential. Die vorliegende Diplomarbeit untersucht die gesamten Prozesse der Gerätedisposition von der Bestellung bis zur Nutzung. Es sollen Schwachstellen identifiziert und Verbesserungspotentiale aufgezeigt werden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird ein IDEAL-Modell entwickelt, das darlegt, wie eine einheitliche Datengrundlage und ein reibungsloser Informationsaustausch zu einer besseren Planung und einem effizienteren Ressourceneinsatz führen können. Mit diesem Modell soll argumentiert werden, dass die Integration digitaler Lösungen nicht nur theoretisch, sondern auch in der Praxis zu einer signifikanten Optimierung der Dispositionsprozesse beitragen kann. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen als Grundlage für konkrete Handlungsempfehlungen dienen.

1.1 Motivation

Das Forschungsthema „Ermittlung des Effizienzpotentials durch Optimierung der Disposition von Baugeräten“ wird durch die langjährige Tätigkeit des Autors in einem großen österreichischen Bauunternehmen im Bereich der Digitalisierung motiviert. Umfangreiche Einblicke in die internen Prozesse und Abstimmungen mit den zuständigen Fachbereichen verdeutlichen, dass gerade im Bereich der Gerätedisposition großes Verbesserungspotential besteht. Aktuell werden viele Prozesse noch uneinheitlich gehandhabt, was zu Informationsverlusten und Fehlern führt. Obwohl erste digitale Lösungen bereits implementiert wurden und erste Fortschritte erzielt wurden, fehlt es bislang an einer systematischen Analyse der umfangreichen Unternehmensdaten, aus der fundierte Schlüsse abgeleitet werden können.

Im Unternehmen wurden schon verschiedene Softwarelösungen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen getestet und Pilotierungen durchgeführt, um eine geeignete Lösung zu identifizieren. Es existiert eine Vielzahl digitaler Tools, die grob die Anforderungen abdecken, dennoch erweisen sich die spezifischen Eigenheiten der internen Prozesse häufig als problematisch. Ein universelles Tool, das sämtliche Bedürfnisse abdeckt, ist kaum realisierbar. Entweder müssen Zwischenlösungen entwickelt, bestehende Softwarelösungen weiterentwickelt oder die aktuellen Prozesse angepasst werden. Obwohl im bisherigen System Schwächen erkannt werden, ist es oft

schwierig, interne Befürworter¹ für solche Veränderungen zu gewinnen. Dabei ist die Anpassungsfähigkeit der Mitarbeiter von zentraler Bedeutung, denn ohne deren aktive Mitwirkung können auch die besten Softwarelösungen nicht den gewünschten Erfolg erzielen. Es ist daher wichtig, sowohl Vorteile als auch Nachteile einer Umstellung aufzuzeigen, um den betroffenen Bereichen und Entscheidungsträgern einen klaren Überblick über Möglichkeiten und Grenzen zu verschaffen. Interne Vorarbeiten im Unternehmen zeigten bereits, trotz anfänglicher Skepsis, positive Effekte der Digitalisierung. Erste Pilotprojekte führten zu einer schnelleren und einfacheren Abwicklung der Prozesse, wenn auch vereinzelt noch Probleme auftreten. Alle Beteiligten sind sich auch darüber im Klaren, dass in einem Umfeld, in dem große Datenmengen anfallen, eine kontinuierliche Analyse und weiterführende Forschung unerlässlich sind. Nur so können stetige Verbesserungen erzielt und neue Erkenntnisse gewonnen werden, die den digitalen Wandel nachhaltig unterstützen.

1.2 Forschungsabgrenzung

Die vorliegende Arbeit untersucht die Gerätedisposition anhand ausgewählter Straßenbau- und Erdbaumaschinen, die einen Anschaffungswert von über 10.000 Euro besitzen und mit Telematikseinheit ausgestattet sind. Es erfolgt ausschließlich eine Analyse historischer Daten aus dem betrachteten Unternehmen, während zukünftige Entwicklungen oder Prognosen nicht berücksichtigt werden. Zudem wird auf einen direkten Vergleich und die Nennung einzelner Softwarelösungen verzichtet, da das Ziel darin besteht, die Optimierung der bestehenden Prozesse zu untersuchen. Andere Bereiche, die nicht direkt mit der Gerätedisposition in Verbindung stehen, wie die Transportlogistik der Geräte, Kosteneffizienz und der Einfluss auf die Umwelt, werden in dieser Untersuchung nicht detailliert berücksichtigt.

1.3 Forschungsfragen

Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Forschungsfragen bearbeitet:

- 1) Welche Strategien ermöglichen eine erhöhte Effizienz der Disposition von Baugeräten?
- 2) Um wie viel kann die Effizienz der Disposition sowie Nutzungsgrad der Baugeräte durch Digitalisierung und Automatisierung erhöht werden?

Für die Beantwortung der Forschungsfragen werden die aktuell im Unternehmen eingesetzten Lösungen und Prozesse umfassend berücksichtigt, um praxisnahe Verbesserungsempfehlungen zu formulieren.

1.4 Forschungsmethodik

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine systematische Forschungsmethodik angewendet, die mehrere Ansätze miteinander verknüpft. Zunächst werden grundlegende Kenntnisse vermittelt, die für das

¹ Der Autor legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne einer leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung im Dokument verzichtet. Eine Formulierung der personenbezogenen Hauptwörter in der männlichen Form soll keinesfalls eine Diskriminierung anderer Geschlechter darstellen. Davon umfasst sind stets Personen sämtlicher Geschlechter.

Verständnis der weiteren Arbeit erforderlich sind. Dabei wird zunächst die Baugeräteliste erläutert, mit einem besonderen Fokus auf die Gerätegruppe „D.8.3 – Verdichtungsgeräte“. Im Anschluss erfolgt ein kurzer Überblick über den aktuellen Stand der Digitalisierung im Bauwesen. Darauf aufbauend werden zentrale Begriffe der Disposition sowie deren Funktionsweise und Relevanz erläutert. Abschließend werden die Technologien von ERP-Systemen und Telematiksystemen im Kontext des Bauwesens beschrieben, um die technischen Grundlagen für die folgende Analyse bereitzustellen. Für die Beantwortung der Forschungsfragen wird zunächst der bestehende IST-Prozess erfasst. In enger Abstimmung mit den dafür Verantwortlichen wird der aktuelle Ablauf der Gerätedisposition im Unternehmen detailliert ermittelt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend in einem BPMN-Modell (Business Process Model and Notation) visualisiert. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswertung der erfassten Daten der Baugeräte. Zunächst wird mithilfe von Boxplots die Datenmenge reduziert, um die Analyse auf einen aussagekräftigen Teil der Daten zu konzentrieren. Anschließend werden die Buchungs- und Telematikdaten der Jahre 2021, 2022 und 2023 aus den Systemen exportiert, systematisch ausgewertet und miteinander verglichen. Dadurch können Abweichungen festgestellt werden, die auf bestehende Schwachstellen und Optimierungspotentiale im aktuellen Prozess hinweisen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wird ein IDEAL-Prozess entwickelt, der die identifizierten Verbesserungspotentiale in den bestehenden Ablauf integriert. Dieses IDEAL-Modell bildet die theoretische Grundlage, um den Nutzen der vorgeschlagenen Optimierungen zu veranschaulichen. Im weiteren Verlauf erfolgt eine Simulation des IDEAL-Modells unter Einbeziehung relevanter Parameter. Mithilfe eines Algorithmus wird überprüft, ob und in welchem Umfang die vorgeschlagenen Maßnahmen zu einer besseren Planung und einem effizienteren Ressourceneinsatz führen könnten. Die Ergebnisse der Simulation werden abschließend ausgewertet und grafisch dargestellt. Diese Darstellung bildet die Basis, um praxisnahe Empfehlungen für zukünftige Optimierungen in der Gerätedisposition abzuleiten.

1.5 Aufbau der Arbeit

Kapitel 1 führt in die Arbeit ein, erläutert den Zweck, die Motivation, Forschungsabgrenzung und -fragen sowie die angewandte Forschungsmethodik und gibt einen Überblick über den Aufbau der Arbeit. **Kapitel 2** vermittelt die Grundlagen der Baugeräteliste (BGL) und wichtige Begriffe. Dabei wird besonders die Gerätegruppe D.8.3 detailliert beschrieben. **Kapitel 3** gibt einen aktuellen Überblick über die Digitalisierung in der Bauwirtschaft. Dabei liegt der Fokus auf aktuellen Entwicklungen, Potentialen und praktischen Anwendungsfeldern digitaler Technologien. **Kapitel 4** widmet sich der Disposition im Bauwesen und beschreibt die unterschiedlichen Strategien. Zudem werden digitale Lösungen zur Optimierung der Dispositionsprozesse vorgestellt. **Kapitel 5** vermittelt grundlegendes Wissen zu ERP-Systemen und Telematik. Dabei werden die Begriffe definiert, die Einsatzbereiche erklärt und die Funktionsweise der Systeme beschrieben. **Kapitel 6** bildet den Hauptteil der Arbeit. Hier wird analysiert, wie die Daten zur Gerätedisposition aktuell gesammelt werden. Mithilfe von Boxplots werden Schwachstellen erkannt und Vorschläge gemacht, wie die Daten besser zusammengeführt werden können. **Kapitel 7** überprüft die praktische Wirksamkeit der Optimierungsvorschläge mittels Simulationen. Dabei werden Telematikdaten der Gerätegruppe D.8.3 ausgewertet, um mögliche Einsparungen und Verbesserungen aufzuzeigen. **Kapitel 8** fasst die zentralen Ergebnisse der Arbeit zusammen, beantwortet die

1 Einleitung

Forschungsfragen und diskutiert die Ergebnisse kritisch. Abschließend werden praxisbezogene Handlungsempfehlungen abgeleitet und ein Ausblick auf weiterführende Forschungsbedarfe gegeben.

2 Baugeräteliste

2.1 Aufbau

Die Baugeräteliste (BGL) ist eine von durch die Zusammenführung der deutschen BGL und der österreichischen ÖBGL erstellte Übersicht, die auf statistischen Daten beruht und standardisierte Kostensätze für Abschreibungen, Verzinsungen und Reparaturen von Baugeräten angibt und der europaweit harmonisierten Struktur der EUROLISTE folgt [1, Kap. 1]. Die Hauptanwendungsbe- reiche der BGL erstrecken sich über verschiedene wirtschaftliche und technische Felder in der Baubranche. Sie dient hauptsächlich als [1, Kap. 1.1], [2, S. 7]:

- Grundlage für die interne und externe Verrechnung von Gerätekosten
- Basis für Geräteorganisation und -planung
- Werkzeug zur wirtschaftlichen Bewertung von Baugeräten
- Instrument für Betriebsplanung und Arbeitsvorbereitung
- Hilfsmittel für Investitionen, bilanzielle Bewertung und steuerliche Betrachtung
- Grundlage für Versicherungsfälle und Sachverständigengutachten

Die BGL ordnet Baugeräte in 21 Hauptgruppen ein, die jeweils einen Buchstaben als Kennzeichen haben. Innerhalb jeder Gerätehauptgruppe gibt es eine weitere Unterteilung in Gerätegruppen, Geräteuntergruppen und schließlich in die konkrete Geräteart. Diese Ebenen werden jeweils mit zusätzlichen Zahlen gekennzeichnet. Ähnliche Gerätearten (gleiche Bauweise und ähnliche Einsatzmöglichkeiten) werden zusammengefasst. Falls eine Geräteart mehreren Gruppen zugeordnet werden kann, gibt es Querverweise für einen besseren Überblick. Die Größe eines Geräts wird meist über eine technische Kenngröße definiert, die in vier Ziffern dargestellt wird. In Einzelfällen sind zwei Kenngrößen nötig. Reichen technische Kenngrößen nicht aus, um die Größe sinnvoll zu bestimmen, wird eine fortlaufende Nummerierung verwendet. Für Gerätearten, deren Einteilung nach Neuwert erfolgt, ist die Kennziffer „0000“ reserviert [1, Kap. 2.1]. Eine Übersicht zur Gliederung eines Geräts nach BGL ist in Tab. 2.1 dargestellt.

Tab. 2.1: Systematische BGL-Klassifikation (am Beispiel eines Turmdrehkrans) [1, Kap. 2.1]

Kennzeichen	Klassifikationsebene	Kurzbezeichnung
C	GeräteHAUPTGRUPPE	Hebezeuge
C.0	GeräteGRUPPE	Turmdrehkrane
C.0.1	GeräteUNTERGRUPPE	Turmdrehkrane, obendrehend, stationär oder fahrbar
C.0.10	GeräteART	Turmdrehkran mit Laufkatzausleger
C.0.10.0050	GeräteGRÖSSE	Turmdrehkran mit Laufkatzausleger und 50 tm Nennlastmoment

Fest eingebaute, üblicherweise nicht austauschbare Zusatzausrüstungen werden durch ein spezielles Buchstabenpaar im Geräteschlüssel gekennzeichnet (z. B. C.0.10.0080-AA bis -AU). Nicht fest verbaute Zusatzgeräte gelten als eigenständige Einheiten und bekommen ein eigenes Ziffern- paar (z. B. C.0.10.0080-00) [1, Kap. 2.2].

2.2 Zeitbegriffe für Geräteeinsätze

Im Kontext des Einsatzes von Baugeräten und -maschinen sind verschiedene Zeitbegriffe von fundamentaler Bedeutung für die Kalkulation, Abrechnung und Einsatzplanung. Nachfolgend werden die wichtigsten Zeitbegriffe detailliert erläutert.

1) Lebensdauer:

Die Lebensdauer beschreibt den gesamten Zeitraum, der mit der Herstellung eines Gerätes beginnt und mit dessen endgültiger Außerbetriebnahme endet [1, Kap. 4.2].

2) Nutzungsdauer:

Gemäß *Baugeräteliste 2020* [1, Kap. 4.1] wird die Nutzungsdauer als „*die durchschnittliche Zeitspanne, in der ein Gerät erfahrungsgemäß bei einschichtigem Betrieb und mittlerer Auslastung wirtschaftlich und mit technischem Erfolg eingesetzt werden kann*“, definiert. Die Nutzungsdauer wird durch technische Überalterung, Verschleiß, Wartung, Pflege, Reparaturen sowie Witterungseinflüsse beeinflusst [3, S. 214].

3) Vorhaltezeit

Die Vorhaltezeit ist jener Zeitraum, während dessen ein Baugerät einer Baustelle tatsächlich zur Verfügung steht. Dies umfasst sowohl die tatsächliche Betriebszeit als auch Zeiten, in denen das Gerät zwar einsatzbereit, aber nicht aktiv genutzt wird (z.B. kurze Wartezeiten). Ebenfalls eingeschlossen sind Transport-, Auf- und Abbaueiten sowie ungeplante Unterbrechungen infolge höherer Gewalt [1, Kap. 4.3], [3, S. 214].

4) Einsatzzeit:

Die Zeitspanne, in der ein Gerät aktiv zur Durchführung der Leistung genutzt wird, umfasst die Vorbereitung und den Abschluss der Arbeiten, die Betriebszeit, baubetrieblich bedingte Wartezeiten sowie die Verteil- und Verlustzeiten [3, S. 214].

5) Stillliegezeit:

Die Stillliegezeit bezeichnet längere Zeiträume (ab einer Woche), während derer ein einsatzbereites Gerät nicht verwendet wird. Typischerweise entstehen Stillliegezeiten aufgrund unvorhersehbarer Faktoren wie Schlechtwetter, Baustellenunterbrechungen oder Verzögerungen, die das Bauunternehmen nicht selbst zu verantworten hat [1, Kap. 4.4], [3, S. 214].

6) Reparaturzeit:

Reparaturzeit beschreibt die Zeit, die ein Gerät für Wartungs-, Reparatur- oder Instandsetzungsarbeiten (auf der Baustelle oder in der Reparaturwerkstätte) benötigt [1, Kap. 4.5].

Siehe Abb. 2.1 für eine detaillierte Aufschlüsselung der Vorhaltezeit und ihrer einzelnen Bestandteile. Die Abbildung zeigt zudem die Abgrenzung der Vorhaltezeit von der Stillliegezeit und illustriert, welche Faktoren den zeitlichen Ablauf der Geräteeinsätze beeinflussen.

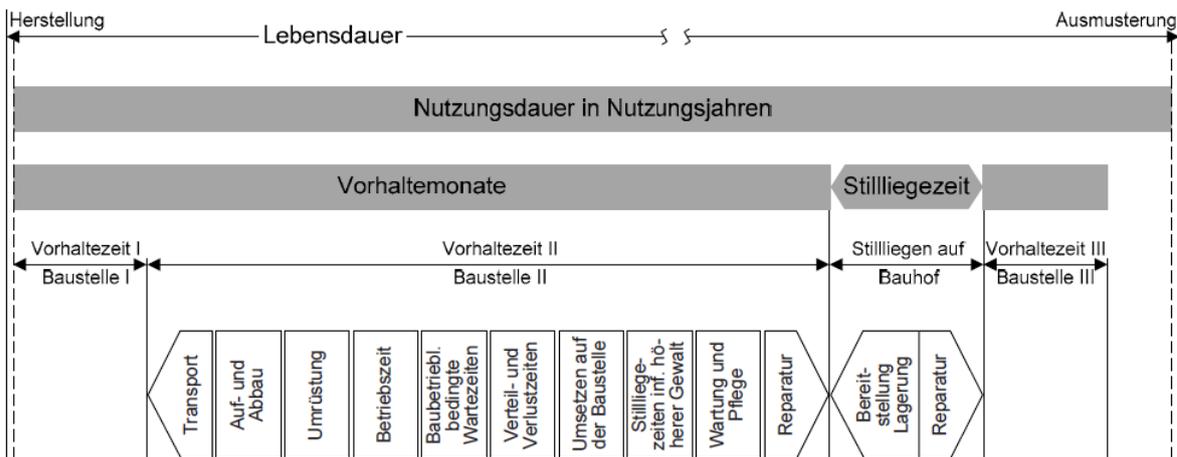


Abb. 2.1: Übersicht der Zeitbegriffe nach BGL [3, S. 215]

2.3 Kategorien von technischen Geräten im Baubetrieb

Die Begriffe Baugerät, Kleingerät und Baumaschine bezeichnen unterschiedliche Kategorien technischer Hilfsmittel im Bauwesen [4, S. 257].

- **Baugeräte:**
Baugeräte sind Hilfsmittel, die sowohl bei der Erbringung von Bauleistungen als auch bei der Gewinnung und Verarbeitung von Baustoffen eingesetzt werden. Sie umfassen sowohl motorisierte Maschinen als auch nicht motorisierte Elemente wie Gerüste, Schalungen, Baustellenbaracken und Container [4, S. 257].
- **Baumaschinen:**
Im Gegensatz dazu sind Baumaschinen Arbeitsmittel, die über einen eigenen Antriebsmotor verfügen [4, S. 257]. Dadurch unterscheiden sie sich von nicht motorisierten Baugeräten, die nicht in diese Kategorie fallen. Typische Beispiele für Baumaschinen sind Hydraulikbagger und Radlader.
- **Kleingeräte:**
Der Begriff Kleingerät stammt aus der Baukalkulation und umfasst Verbrauchsgeräte, Handwerkzeuge sowie Gerüste bis drei Meter Höhe. Diese sind verschleißanfällig und dürfen einen bestimmten Anschaffungswert nicht überschreiten [4, S. 257].

2.4 Gerätegruppe „D.8.3 – Verdichtungsgeräte“

In diesem Kapitel wird ausschließlich auf die Geräteuntergruppe „D.8.3 - Vibrationswalzen, Walzenzüge und Kombiwalzen“ eingegangen. Diese Untergruppe ist für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung, weshalb benötigte Fachwissen und die entsprechenden technischen Aspekte näher erläutert werden.

2.4.1 D.8.30 Tandem-Vibrationswalze

Tandem-Vibrationswalzen werden hauptsächlich zur Verdichtung von Asphaltbelägen eingesetzt. Sie bestehen aus zwei hintereinander angeordneten Bandagen, die durch ein Vibrationsystem

zusätzlich zur statischen Last eine dynamische Verdichtungsenergie erzeugen. Diese Maschinen arbeiten durch die Erzeugung von Schwingungen, die das Material in Bewegung setzen und so die Kornumlagerung im Asphalt fördern, wodurch eine höhere Verdichtungsdichte erreicht wird [2, S. 204 ff]. Die Hauptmerkmale umfassen [2, S. 204 ff]:

- Hydrostatischer Fahrtrieb: Beide Bandagen besitzen einen hydrostatischen Fahrtrieb, der ruckfreies Anfahren und Abbremsen ermöglicht.
- Vibrationssystem mit variabler Frequenz: Die Vibrationseinrichtung erlaubt eine bessere Anpassung an unterschiedliche Bodenarten und Schichtstärken.
- Verschiedene Lenksysteme: Es gibt zwei Hauptlenksysteme – die Pendel-Knicklenkung für flexible Beweglichkeit und die Allradlenkung für größere Walzbreiten und enge Manövrierfähigkeit.

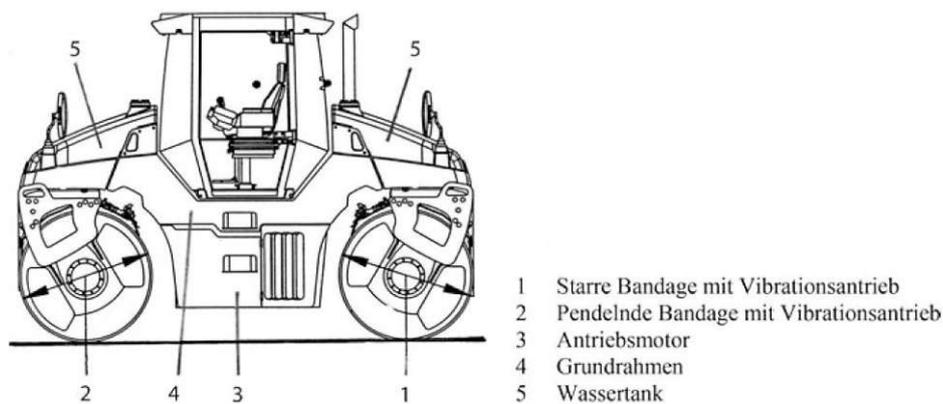


Abb. 2.2: Schemaskizze einer Tandem-Vibrationswalze [2, S. 204]

2.4.2 D.8.31 Walzenzug

Ein Walzenzug ist eine Baumaschine, die primär für großflächige Verdichtungsarbeiten eingesetzt wird. Diese Maschinen bestehen aus einem Vorderwagen mit einer Vibrationsbandage und einem Hinterwagen als Zugeinheit, die durch eine Pendelknicklenkung miteinander verbunden sind. Walzenzüge werden besonders zum Verdichten großer Schütthöhen von bis zu 70 cm je nach Bodenart genutzt [2, S. 207 ff]. Wichtige Merkmale dieser Geräteart sind [2, S. 207ff]:

- Effiziente Bodenverdichtung: Durch eine Vibrationsbandage mit variabler Frequenz können unterschiedliche Bodentypen optimal verdichtet werden.
- Hydrostatischer Fahrtrieb: Der Motor überträgt die Kraft über einen hydrostatischen Antrieb auf die großvolumigen Antriebsräder.
- Flexible Anpassung der Bandagen: Je nach Bodenbeschaffenheit können Glattmantel-Bandagen für nichtbindige Böden oder Stampffuß-Bandagen für bindige Böden verwendet werden.

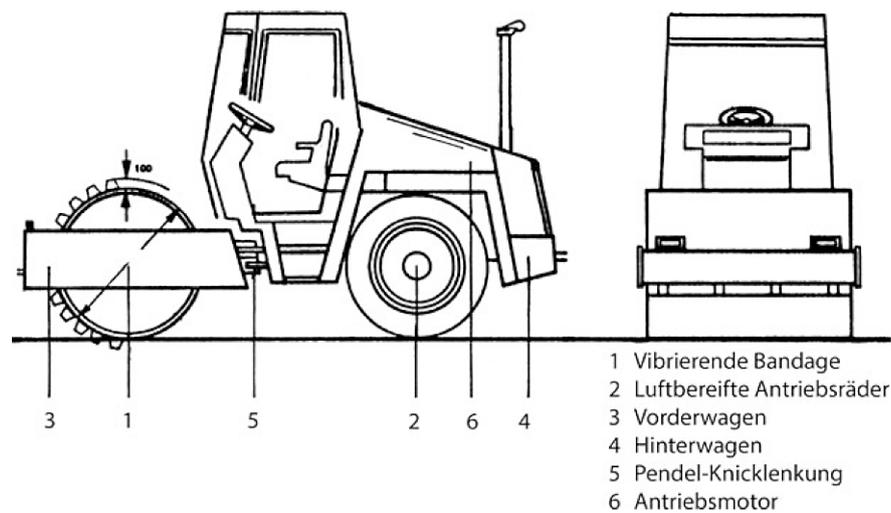


Abb. 2.3: Schemaskizze eines Walzenzugs [2, S. 208]

2.4.3 D.8.32 Vibrationskombiwalze

(Vibrations-)Kombiwalzen sind speziell für die Asphaltverdichtung konzipierte Maschinen, die eine Kombination aus Vibrationsbandage und Gummirädern aufweisen. Während die vordere Glattbandage mit Vibration für die Hauptverdichtung sorgt, erzeugen die hinteren Gummiräder eine zusätzliche Knet- und Walkwirkung auf den Asphalt [2, S. 246 f]. Charakteristische Eigenschaften dieser Geräteart sind [2, S. 246 f]:

- Kombinierte Verdichtungstechnologie: Die Glattbandage übernimmt die Hauptverdichtung durch Vibration, während die Gummiräder das Material zusätzlich durch Walk- und Knetbewegungen verdichten.
- Anpassung an Asphaltarbeiten: Der Einsatz erfolgt primär im Straßenbau für die Asphaltverdichtung, wobei die Maschine besonders an Übergangsbereichen und Nähten eine hohe Verdichtungsqualität bietet.

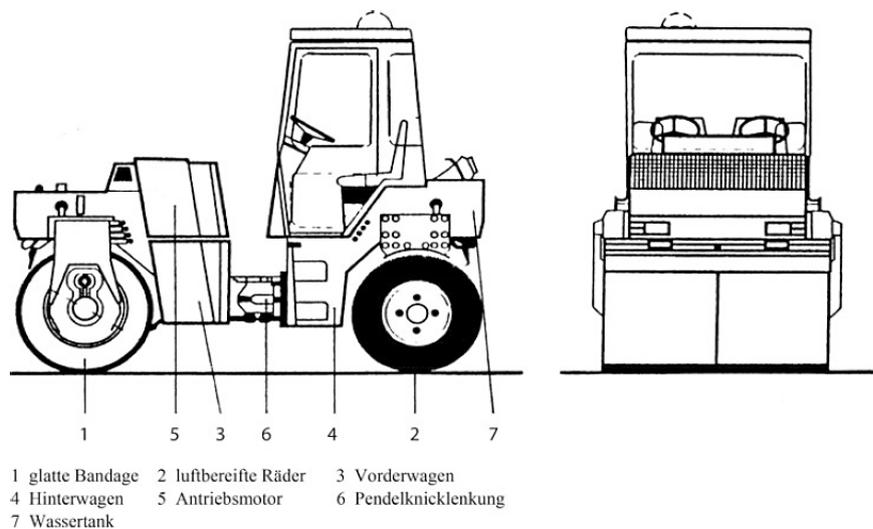


Abb. 2.4: Schemaskizze einer Vibrationskombiwalze [2, S. 246]

3 Digitalisierung in der Baubranche

Die digitale Transformation revolutioniert den Bausektor, indem sie nicht nur die Effizienz, Qualität und Abläufe verbessert, sondern auch sicherere und ressourcenschonendere Bauweisen ermöglicht. Gleichzeitig bringt sie jedoch auch neuartige Herausforderungen mit sich. Während andere Branchen bereits erhebliche Produktivitätssteigerungen durch den Einsatz digitaler Technologien realisiert haben, weist das Bauwesen im Vergleich dazu einen deutlichen Nachholbedarf auf [5, S. XI], [6, S. 1507]. Im Folgenden werden zentrale Bereiche der Digitalisierung im Bauwesen näher beleuchtet. Ziel ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand digitaler Entwicklungen in der Baubranche zu geben und ausgewählte Technologien sowie deren Anwendungsmöglichkeiten darzustellen.

3.1 Aktueller Stand

In der Bauwirtschaft haben sich in den letzten Jahren mehrere zentrale Digitalisierungstrends herauskristallisiert, die in Österreich, Deutschland und ganz Europa an Bedeutung gewinnen. In diesem Zusammenhang existiert eine aktuelle Studie von PricewaterhouseCoopers GmbH (PwC) aus dem Jahr 2024, in der die Einschätzungen von insgesamt 100 Bauunternehmen und Planungsbüros zu den Potentialen und Fähigkeiten im Bereich Digitalisierung untersucht und ausgewertet wurden [7, S. 27]. Das Resultat der Befragung wird in der Studie unter anderem anhand eines Balkendiagramms (siehe Abb. 3.1) dargestellt, welches die erheblichen Lücken zwischen den wahrgenommenen Potentialen digitaler Lösungen und den tatsächlichen Fähigkeiten der Unternehmen in diesen Bereichen aufzeigt. Diese Abweichung ist besonders bei Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI) und Internet of Things (IoT) stark ausgeprägt. Auffällig ist zudem, dass im Bereich Simulation und Visualisierung das Potential gegenüber dem Vorjahr um 10 Prozentpunkte gestiegen ist, während die Fähigkeiten unverändert blieben. Besonders hervorzuheben ist der starke Anstieg des Potentials bei KI-Technologien (+18 Prozentpunkte im Vergleich zum Vorjahr), das inzwischen höher eingeschätzt wird als bei Building Information Modeling (BIM) [7, S. 11].

Die dazugehörige Trendanalyse Abb. 3.2 aus [7, S. 12] verdeutlicht für die Jahre 2020 bis 2024 eine zunehmende Abweichung zwischen den Potentialen und tatsächlichen Fähigkeiten der Bauindustrie im Bereich IoT-Lösungen. Diese kontinuierlich wachsende Differenz weist darauf hin, dass die Unternehmen den möglichen Fortschritten in der Digitalisierung nicht ausreichend folgen und somit hinter den technologischen Potentialen zurückbleiben. Im Gegensatz dazu zeigt sich im Bereich der BIM-Technologien über den betrachteten Zeitraum weder eine Zunahme des Potentials noch ein Ausbau der Kompetenzen. Daraus ergibt sich, dass die digitale Transformation der Bauwirtschaft insgesamt schleppend verläuft und notwendige Anpassungen nur unzureichend umgesetzt werden.

Potenziale und Fähigkeiten

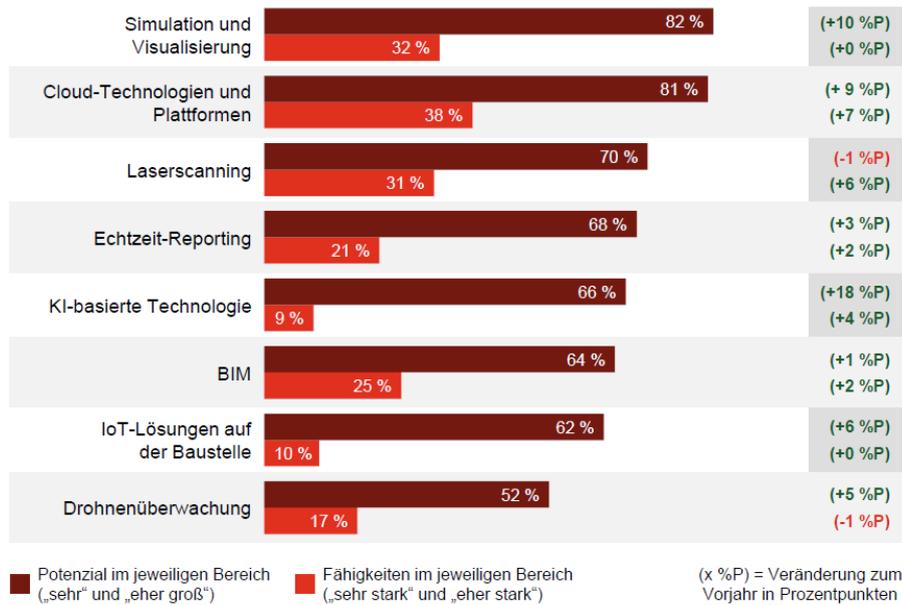


Abb. 3.1: Einschätzung der Potentiale und tatsächlichen Fähigkeiten digitaler Technologien im Bauwesen [7, S. 11]

Trendanalyse der Abweichung zw. Potenzial und Fähigkeit von 2020–2024

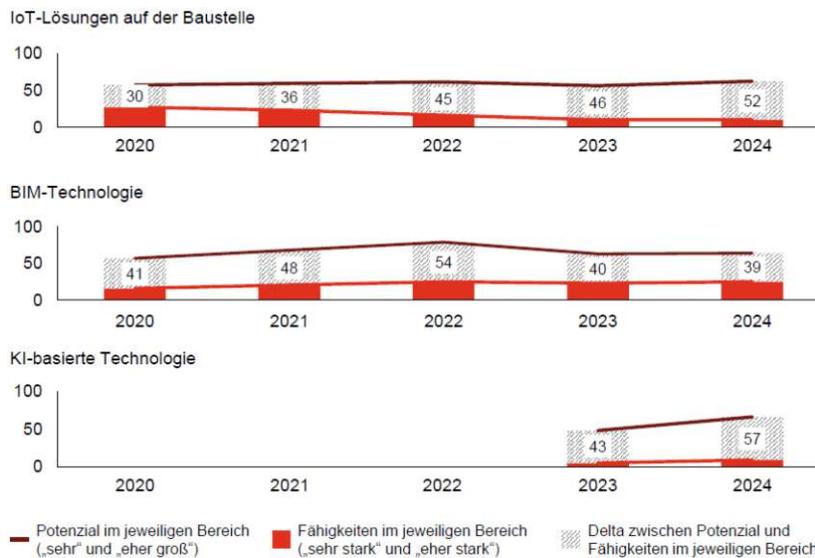


Abb. 3.2: Trendanalyse (2020–2024) der Abweichung zwischen Potentialen und tatsächlichen Fähigkeiten im Bereich IoT-, BIM- und KI-basierter Technologien in der Bauindustrie [7, S. 12]

3.1.1 Building Information Modeling (BIM)

BIM gilt als ein zentraler Bestandteil der Digitalisierung in der Bauindustrie [5, S. 262]. BIM geht über eine reine Softwarelösung hinaus und stellt eine neue Form der Zusammenarbeit dar und ermöglicht eine effizientere Ressourcennutzung und Prozesssteuerung über den gesamten Projektlebenszyklus hinweg [8, S. 301]. Die Nutzung von BIM ist stark gestiegen, jedoch bleibt die vollständige Integration in den Baualltag eine Herausforderung. Besonders kleinere und mittlere Unternehmen hinken bei der Implementierung hinterher, während große Unternehmen und öffentliche Auftraggeber verstärkt auf BIM setzen [5, Kap. 9], [5, S. 262]. Beispiele hierfür sind:

- 1) ÖBB-Infrastruktur AG: Die ÖBB hat die BIM-Integration in zahlreichen Infrastrukturprojekten vorangetrieben. Ab 2024 sollen alle neuen komplexen Projekte mit der BIM-Methode geplant und umgesetzt werden. Zudem wird BIM mit GIS (Geoinformationssystemen) kombiniert, um eine digitale Landkarte für Infrastrukturanlagen zu erstellen [9, S. 193 ff].
- 2) ASFINAG: Die österreichische Autobahngesellschaft nutzt BIM für eine Vielzahl von Projekten. Hierbei werden Kollisionskontrollen, Massenermittlungen und digitale Bauablaufplanungen durchgeführt. Insbesondere bei der A26 Linzer Autobahn wird BIM von der Planungsphase bis hin zum Betrieb des Bauwerks eingesetzt werden [10, S. 132 ff].
- 3) Implenia: Der Schweizer Bau- und Immobiliendienstleister nutzt BIM bereits in der Angebotsbearbeitung sowie zur Bauablaufvisualisierung. Implenia verfolgt eine Strategie, bei der BIM-Modelle bereits in frühen Planungsphasen erstellt und über den gesamten Projektverlauf weiterverwendet werden [11, S. 262].

3.1.2 Künstliche Intelligenz (KI)

KI hat in den letzten Jahren branchenübergreifend erhebliche Fortschritte gemacht und ist inzwischen auch im Bauwesen ein relevantes Thema. Dennoch steht die Nutzung von KI in der Bauwirtschaft noch am Anfang. Eine Umfrage zeigt, dass bisher nur etwa 8 % der Unternehmen KI in ihren Projekten etabliert haben. Allerdings planen oder testen rund 53 % der Unternehmen bereits den Einsatz von KI, was auf eine wachsende Verbreitung in der Branche hindeutet [12, S. 98]. Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind:

- 1) Planung: Der Einsatz von KI im Bereich der Planung und des Entwurfs ermöglicht eine signifikante Effizienzsteigerung in der Bauindustrie. Generative Design-Algorithmen können automatisch eine Vielzahl von Entwurfsoptionen generieren und bewerten, wodurch Architekten und Ingenieure frühzeitig optimale Lösungen erhalten [13, S. 83]. KI findet auch in Building Information Modeling (BIM) Anwendung und trägt zur Optimierung von Bauprojekten bei. Ein Beispiel dafür ist ALICE, eine KI-gestützte Plattform, die durch die Analyse von Gebäudeanforderungen effizientere Bauzeitpläne erstellt. Sie ermöglicht fundierte Entscheidungen und reduziert die Projektlaufzeit um 17 %, während Arbeitskosten um 14 % und Gerätekosten um 12 % gesenkt werden. Gleichzeitig verbessert ALICE die BIM-Effizienz und fördert eine effektivere Zusammenarbeit zwischen den Stakeholdern [12, S. 102].
- 2) Baumanagement: KI-gestützte Simulationen analysieren frühere Bauprojekte sowie Logistik- und Mängeldaten, um Bau- und Montageabläufe effizienter zu gestalten und Risiken frühzeitig zu erkennen [14, Abs. 6]. Durch den Einsatz intelligenter Datenanalysetechniken und maschinellen Lernens werden historische und aktuelle Daten ausgewertet, um realistische Szenarien zu simulieren. Die fortschreitende Vernetzung digital geplanter Bauprojekte erhöht dabei die Genauigkeit von Risikovorhersagen und verbessert die Planungssicherheit [12, S. 103].
- 3) Ausführung: KI ermöglicht eine effiziente Kontrolle der Abläufe auf der Baustelle durch den Einsatz verschiedener Datenerfassungsmethoden. Die gewonnenen Daten werden mithilfe von KI-Algorithmen interpretiert und analysiert. Dadurch entsteht eine digitale Darstellung des Bauzustands, die den Abrechnungsprozess erleichtert, den Baufortschritt

nachvollziehbar macht und Abweichungen, Fehler oder Schäden frühzeitig erkennt [14, Abs. 5]. Ein konkreter Anwendungsfall hierfür ist das Forschungsprojekt ESKIMO, das die Bauüberwachung optimieren soll. Dazu werden KI-gestützte Algorithmen eingesetzt, die Bild- und Fotodaten analysieren, um Abweichungen und Optimierungspotentiale zu identifizieren. Dabei unterstützen drei Module die technische Qualitätssicherung (Erkennung von Abweichungen im BIM-Modell), die intelligente Baulogistik (effiziente Ressourcennutzung) und die kaufmännische Qualitätssicherung (automatisierter Leistungsabgleich mit der Planung) [12, S. 105 f]

3.1.3 Internet of Things (IoT)

IoT wird zunehmend in der Bauindustrie eingesetzt, um Prozesse effizienter zu gestalten und die Digitalisierung voranzutreiben. IoT-Plattformen ermöglichen die Verknüpfung verschiedener Geräte und Applikationen, um Daten automatisiert auszutauschen. Dies führt zu einer effizienteren Datennutzung und optimierten Prozessen [15, S. 534 f]. IoT-Technologien optimieren das Ressourcenmanagement, indem sie Geräte lokalisieren und deren Verbrauch überwachen, was eine präzisere Baukoordination ermöglicht. In der Baustellensicherheit erfassen Sensoren an Schutzkleidung Vitaldaten und senden Notfallsignale in Echtzeit. Wartungssysteme analysieren Betriebsstunden und Vibrationen, um frühzeitig auf Verschleiß hinzuweisen. Zudem ermöglichen IoT-Sensoren eine Zustandsüberwachung von Bauteilen, um optimale Wartungszeitpunkte vorherzusagen [16, Kap. 6]. Durch die kontinuierliche Überwachung dieser Daten lassen sich Arbeitsbedingungen bewerten und potentielle Gefahren frühzeitig erkennen und minimieren. [17, S. 121] Die prognostizierte Entwicklung des globalen Marktes für IoT im Bausektor verspricht ein signifikantes Wachstum über die kommenden Jahre. Gemäß einer aktuellen Marktstudie wird erwartet, dass die globale Marktgröße von 11,2 Milliarden US-Dollar im Jahr 2021 auf 44,2 Milliarden US-Dollar im Jahr 2031 ansteigen wird. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 14,6 % im Prognosezeitraum von 2022 bis 2031 [18, Abs. 1].

3.1.4 Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR)

Obwohl VR und AR im Bauwesen noch wenig verbreitet sind, bieten sie großes Potential für die Visualisierung und Präsentation von Bauprojekten. Während VR eine 3D-Navigation durch geplante Gebäude ermöglicht, ergänzt AR die reale Umgebung um digitale Elemente, wodurch Designkonzepte vor Ort besser veranschaulicht und Entscheidungen optimiert werden [16, Kap. 9]. Ein Einsatzgebiet von VR und AR ist die Steigerung der Arbeitssicherheit auf Baustellen durch realitätsnahe digitale Schulungen und Simulationen. Bauarbeiter können in einer virtuellen Umgebung gefährliche Situationen wie den Umgang mit schweren Maschinen oder Arbeiten in großer Höhe risikofrei trainieren. Durch regelmäßiges Üben lassen sich Fähigkeiten verbessern, Reaktionszeiten verkürzen und das Sicherheitsbewusstsein stärken, ohne dass dabei reale Gefahren bestehen [17, S. 120].

3.1.5 Cloud Computing

Cloud-Computing hat sich in der Softwarebranche in den letzten 10 bis 15 Jahren stark von lokal installierten Softwareprogrammen zu webbasierten Anwendungen entwickelt [19, S. 242]. Cloud-Technologien bieten eine zentrale Plattform für verschiedene spezialisierte Anwendungen, von

Architektursoftware bis hin zu Projektmanagement-Tools, die jederzeit über mobile Geräte zugänglich sind. Dies ermöglicht eine direkte und effiziente Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten und verbessert die Zusammenarbeit [16, Kap. 8].

3.2 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird ein aktueller Überblick über den Stand der Digitalisierung in der Baubranche gegeben. Eine Studie von PwC aus dem Jahr 2024 zeigt, dass vor allem in den Bereichen KI und IoT noch ungenutztes Potential besteht. Auch im Bereich der Simulation ist ein wachsendes Potential erkennbar, jedoch blieb eine gezielte Weiterentwicklung im Vergleich zum Vorjahr aus, sodass die tatsächliche Nutzung hinter den Möglichkeiten zurückblieb. Darüber hinaus werden verschiedene Technologien vorgestellt, um einen umfassenden Einblick in die aktuellen Entwicklungen zu geben. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf BIM ergänzt durch praktische Beispiele von Unternehmen, die BIM bereits erfolgreich einsetzen. Außerdem wird gezeigt wie KI in Planung, Baumanagement und Ausführung integriert werden kann, um Prozesse effizienter zu gestalten. Abschließend widmet sich das Kapitel aktuellen Fortschritten in Bereichen wie IoT, VR, AR und Cloud-Computing. Das Kapitel verdeutlicht somit, dass die Baubranche zunehmend auf digitale Technologien setzt, gleichzeitig aber noch viel Potential für weitere Entwicklung besteht.

4 Disposition im Bauwesen

Die Disposition im Bauwesen ist ein wesentlicher Bestandteil der Baustellenorganisation, da sie sicherstellt, dass benötigte Ressourcen, wie Personal, Geräte und Materialien, zur richtigen Zeit am richtigen Ort verfügbar sind [20, S. 14 f]. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die grundlegenden Aufgaben und Strukturen der Disposition und soll ein Verständnis für deren Bedeutung im weiteren Verlauf der Arbeit vermitteln.

4.1 Allgemeine Definition

Disposition beschreibt die zeitliche und mengenbezogene Verteilung von Aufträgen auf vorhandene Ressourcen mit dem Ziel, deren Einsatz möglichst effizient zu gestalten. Dabei werden Material, Personal, Maschinen und Transportmittel in Abhängigkeit von betrieblichen Anforderungen geplant, gesteuert und kontrolliert, um eine effiziente und wirtschaftliche Prozessabwicklung sicherzustellen [20, S. 9 f]. Die Disposition umfasst dabei folgende zentrale Aufgaben [20, S. 9 f]:

- Planung: Ermittlung des Ressourcenbedarfs sowie Festlegung der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit.
- Steuerung: Koordination und Anpassung der Ressourcenzuweisung an aktuelle Gegebenheiten, z. B. bei kurzfristigen Änderungen.
- Kontrolle: Überwachung der Ressourcennutzung und kontinuierliche Anpassung

4.2 Disposition in Bauunternehmen

Die Disposition in Bauunternehmen unterscheidet sich von der allgemeinen Disposition in Industrie und Handel vor allem durch die temporäre, projektbasierte und dynamische Natur von Bauprojekten [20, S. 26 ff]. Die spezifischen Herausforderungen der Disposition in der Bauwirtschaft ergeben sich aus mehreren Faktoren:

- Dynamische Baustellenbedingungen: Ständige Änderungen durch Witterung, Baufortschritt und unvorhergesehene Ereignisse erfordern flexible Anpassungen der Ressourcenverteilung [20, S. 13 f].
- Projektbasierte Einmaligkeit: Jedes Bauprojekt ist einzigartig, wodurch keine standardisierten Dispositionsmodelle angewandt werden können [20, S. 27 ff].
- Kurzfristige Änderungen: Lieferengpässe, Maschinenausfälle oder Personalengpässe müssen schnell durch alternative Lösungen kompensiert werden [20, S. 14].
- Koordination verschiedener Beteiligten: Zusammenarbeit zwischen Bauunternehmen, Subunternehmern, Lieferanten, Planern und Behörden erfordert eine präzise Abstimmung der Ressourcen [20, S. 29].
- Begrenzte Lagerkapazitäten: Materialien müssen oft „Just-in-Time“ geliefert werden, um Platzmangel auf der Baustelle zu vermeiden [20, S. 29].

4.3 Abgrenzung der Disposition

Der Begriff der Disposition im Bauwesen unterscheidet sich wesentlich von den Begriffen der Baulegistik und der Bauablaufplanung, da sie operativ und kurzfristig ausgerichtet ist. Während die Baulegistik die strategische Planung und Steuerung aller logistischen Prozesse wie Materialfluss, Transport und Entsorgung übernimmt [20, S. 9], dient die Bauablaufplanung der Strukturierung des gesamten Baufortschritts und definiert die zeitlichen Abhängigkeiten und die ungefähre Dauer der einzelnen Bauprozesse [4, S. 54].

Die Disposition hingegen fungiert als operatives Bindeglied zwischen der strategischen Planung und der praktischen Umsetzung auf der Baustelle, indem sie Ressourcen flexibel anpasst, um den Bauablauf störungsfrei und effizient zu gestalten. Sie übernimmt die tagesaktuelle, flexible Zuweisung von Ressourcen an spezifische Bauabschnitte. Sie entscheidet kurzfristig, welche Fachkräfte oder Maschinen wo und wann konkret eingesetzt werden. Sie sorgt dafür, dass die vorgesehenen Arbeiten mit den benötigten Ressourcen tatsächlich umgesetzt werden [20, S. 18].

4.4 Aufgabenbereich der Disposition im Bauwesen

Die Disposition umfasst eine Vielzahl von Aufgaben, die sicherstellen, dass Ressourcen effizient zugewiesen und eingesetzt werden. Wie in Abb. 4.1 dargestellt, lassen sich die Hauptaufgaben eines Disponenten in vier Kernbereiche unterteilen [20, S. 19 ff]:

- 1) Aufträge entgegennehmen
 - a) Der Disponent nimmt Transport- und Ressourcendispositionsaufträge entgegen und erfasst die Anforderungen hinsichtlich Material, Fahrzeugen, Maschinen und Personal [20, S. 20].
 - b) Für die Disposition von Baugeräten erfolgt die Anforderungsanalyse auf Basis der geplanten Bauprozesse. Aus den Bauaufgaben werden die erforderlichen Gerätefunktionen abgeleitet, die anschließend mit dem verfügbaren Gerätebestand abgeglichen werden. Dabei werden Baugeräte ausgewählt, die die Anforderungen sowohl technisch als auch organisatorisch erfüllen und dem vorgesehenen Einsatzzeitraum zugewiesen [21, S. 283].
- 2) Transport organisieren [20, S. 20]
 - a) Der Disponent wählt geeignete Transportmittel aus und organisiert die entsprechenden Kapazitäten.
 - b) Dabei müssen Restriktionen wie Ladungssicherheit, Fahrzeugverfügbarkeit und Verkehrsrecht berücksichtigt werden.
 - c) Zudem müssen gesetzliche Vorgaben (z. B. Straßenverkehrszulassungsordnung für Schwertransporte) beachtet werden.
 - d) Er stellt das benötigte Fahrzeug für den Transport bereit, entweder durch den Einsatz firmeneigener Fahrzeuge oder durch die Beauftragung externer Transportdienstleister.

- e) Eine wichtige Aufgabe ist die Koordination mit anderen Verkehrsdienstleistern, falls mehrere Transporte synchronisiert werden müssen.
- f) Bei der Disposition von Baugeräten werden die benötigten Geräte zum definierten Zeitpunkt und Einsatzort transportiert. Die Disposition ist dabei für die Abstimmung mit der Baustelle verantwortlich [21, S. 283].
- 3) Überwachung des Transportablaufs
- a) Während des Transports überprüft der Disponent den aktuellen Status [20, S. 21] und passt die Planung bei unerwarteten Störungen an [20, S. 125].
- 4) Transportaufträge erteilen
- a) Der Disponent ordnet die Aufträge geeigneten Fahrzeugen zu und übergibt die Papiere an die Fahrer [20, S. 20], sodass der Transport planmäßig durchgeführt werden kann.
- b) Die Abstimmung mit den Fahrern stellt sicher, dass alle notwendigen Informationen zu Ladung und Terminen vorliegen [20, S. 25].

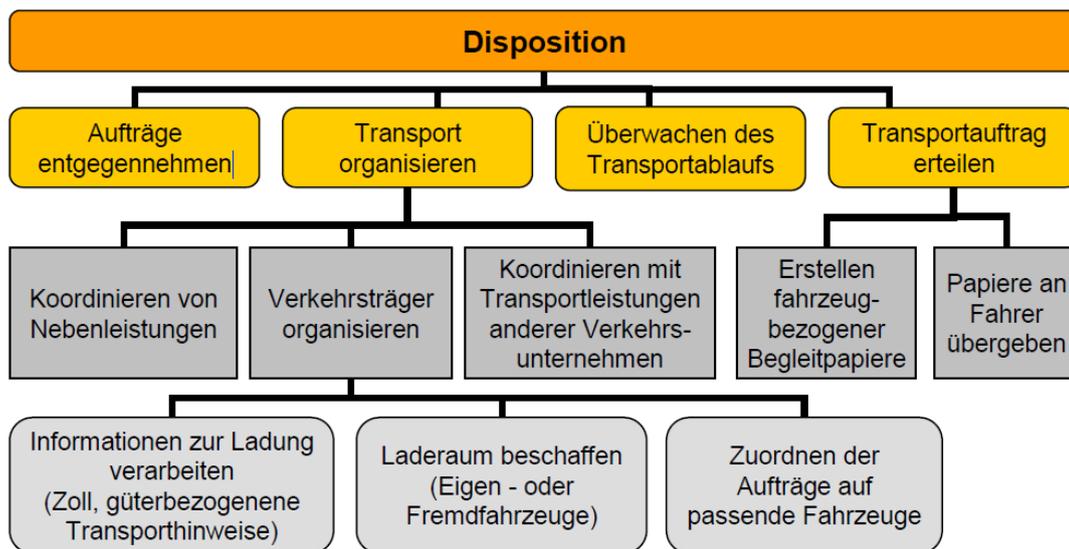


Abb. 4.1: Aufgabenbereiche eines Disponenten im Bauwesen [20, S. 20]

4.5 Dispositionsstrategien im Bauwesen

4.5.1 Zentrale und dezentrale Disposition

Die Disposition kann in Unternehmen und Bauprojekten unterschiedlich organisiert sein. Grundsätzlich wird zwischen zentraler und dezentraler Disposition unterschieden. Die Wahl der passenden Methode hängt von mehreren Faktoren ab, darunter die Unternehmensgröße, die räumliche Verteilung der Standorte und die Art der zu disponierenden Ressourcen [22, S. 127].

- **Zentrale Disposition:**
Bei der zentralen Disposition werden alle Dispositionsentscheidungen an einer übergeordneten Stelle getroffen. Dies bedeutet, dass die Ressourcenverteilung, Materialbestellungen und die Steuerung von Transporten von einer zentralen Einheit innerhalb des Unternehmens koordiniert werden [23, S. 22, 241].

Sie dient außerdem als einheitliche Ansprechstelle für interne Abteilungen sowie externe Lieferanten. Durch die Standardisierung der Prozesse werden Beschaffungs- und Dispositionsstrategien effizienter gestaltet und aufeinander abgestimmt. Eine bessere Transparenz und Übersicht erleichtert die Entscheidungsfindung und führt zu einer optimierten Ressourcenverteilung. Ein weiteres Merkmal der zentralen Disposition ist die optimierte Lagerhaltung. Dies beinhaltet die Festlegung der Lagerstrategie für verschiedene Standorte, die Zusammenfassung des Gesamtbestands eines Artikels an einer zentralen Lagerstelle sowie die virtuelle Koordination von Beständen über ein zentrales System. Diese Strategie ermöglicht eine bedarfsgerechte Versorgung dezentraler Leistungsstellen, während gleichzeitig Überbestände oder Engpässe vermieden werden. Die zentrale Disposition verfolgt zudem das Ziel, die Gesamtkosten durch eine optimierte Ressourcennutzung zu minimieren. Dies geschieht durch eine gezielte Abstimmung der Betriebszeiten, Produktionskapazitäten und Bearbeitungszeiten in den verschiedenen Leistungsstellen. Die Steuerung der Materialflüsse erfolgt dabei geregelt, getaktet oder gedrosselt, um eine gleichmäßige Prozessauslastung und einen optimalen Durchlauf sicherzustellen [22, S. 128], [23, S. 22 ff].

Obwohl die zentrale Disposition zahlreiche Vorteile bietet, gibt es auch wesentliche Nachteile und Herausforderungen, die insbesondere bei international agierenden Unternehmen und Konzernen berücksichtigt werden müssen [23, S. 23]. Lange Entscheidungswege und mangelnde Flexibilität führen oft zu höheren Abwicklungskosten und Versorgungsengpässen, wenn kurzfristige Anpassungen erforderlich sind [22, S. 128]. Obwohl sich Effizienzsteigerungen durch zentrale Steuerung oft in Teilbereichen messen lassen, sind die gesamtheitlichen Auswirkungen einer Zentralstrategie auf ein komplexes Unternehmensnetzwerk schwer vorhersehbar [23, S. 23].

Diese Strategie der Disposition wird in Bauunternehmen insbesondere bei Großprojekten [20, S. 68 f.] wie Hochhäusern, Infrastrukturmaßnahmen oder Industrieanlagen eingesetzt, da die Ressourcensteuerung bei solchen Projekten besonders komplex ist. Sie kann entweder zentral für mehrere Baustellen oder direkt auf der jeweiligen Baustelle organisiert werden [20, S. 68 f.]. Die Aufgaben verteilen sich hier meist auf Bauleiter und speziell zuständige Disponenten. In diesen Fällen erfolgt die Abstimmung zwischen Projektleitern, Bauleitern und den verantwortlichen Ressourcendisponenten, die sicherstellen, dass Material, Personal und Maschinen effizient zugewiesen werden [20, S. 25]. Da auf Großbaustellen viele Beteiligte koordiniert werden müssen, ist eine zentralisierte und strukturierte Disposition notwendig. Verzögerungen können hohe Kosten verursachen, weshalb eine präzise Planung und laufende Anpassung der Ressourcenzuweisung unerlässlich sind [20, S. 11].

- **Dezentrale Disposition:**

Bei der dezentralen Disposition erfolgt die Ressourcensteuerung direkt vor Ort durch mehrere, voneinander unabhängige Organisationseinheiten. Jede Baustelle oder Abteilung trifft eigene Entscheidungen hinsichtlich Materialbestellungen, Maschineneinsatz und Personalplanung [23, S. 22].

Die dezentrale Disposition ermöglicht kurze Entscheidungs- und Informationswege, wodurch Unternehmen schneller auf veränderte Bedingungen reagieren können. Zudem profitieren die Mitarbeitenden von einer höheren Eigenverantwortung, was ihre Erfahrungswerte und Motivation steigert. Allerdings kann die dezentrale Organisation dazu führen, dass

Bestellprozesse ineffizient gestaltet sind, wenn Mitarbeitende zu viel Zeit für administrative Tätigkeiten wie die Beschaffung aufwenden müssen. Zudem kommt es häufig zu Doppelarbeit, etwa bei der Lieferantensuche, da keine übergeordnete Stelle die Abstimmung übernimmt. Aufgrund der eigenständigen Lieferantensuche innerhalb der dezentralen Einheiten verhandeln diese oft individuell, obwohl für das Unternehmen bereits Lieferanten mit ausgehandelten Sonderkonditionen existieren. Dies führt dazu, dass bessere Einkaufskonditionen nicht genutzt werden, was zu höheren Kosten und schlechteren Vertragsbedingungen für das Unternehmen führt [22, S. 129].

Die dezentrale Disposition wird im Bauwesen vor allem auf kleineren Baustellen [20, S. 11], wie im Wohnungsbau oder bei Sanierungsprojekten, angewendet. In diesen Fällen übernehmen meist der Bauleiter oder der Polier die Dispositionsaufgaben [20, S. 26]. Sie sind direkt vor Ort tätig und koordinieren Maschinen, Material und Personal in enger Abstimmung mit den Subunternehmern. Da auf Kleinbaustellen weniger Personen und Ressourcen verwaltet werden müssen, erfolgt die Disposition direkter und flexibler [20, S. 11].

4.5.2 Steuerungsstrategien in der Disposition

Die strategischen Dispositionsverfahren im Bauwesen bestimmen die grundsätzliche Vorgehensweise, nach der Ressourcen zugewiesen und eingesetzt werden. Die Wahl des Verfahrens hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie dem Informationsumfang der Transportaufgabe, der Art und Größe des Bauprojektes sowie der erforderlichen Planungsgenauigkeit [20, S. 25 f]. Grundsätzlich lassen sich in der Disposition folgende Verfahren unterscheiden [20, S. 25 f]:

- zentrale Push-Disposition:

Bei der klassischen Disposition von Baustellenbelieferungen kommt üblicherweise das zentral gesteuerte Push-Prinzip der Auftragssteuerung zum Einsatz. Dabei erhält der LKW vom Disponenten eine vordefinierte Transportzuweisung, die den Be- und Entladeort, eine fixe Abhol- und Lieferzeit sowie die spezifische Transportaufgabe für jede einzelne Fahrt umfasst (siehe Funktionsschema des Push-Prinzips in Abb. 4.2). Diese Form der Disposition erfordert für den Disponenten einen hohen Steuerungsaufwand, da jeder Transport einzeln koordiniert und beauftragt werden muss. Damit eine effiziente Zuweisung der Transportaufgaben gewährleistet ist, ist der Disponent auf regelmäßige Statusmeldungen der eingesetzten LKW angewiesen.

Ein wesentlicher Vorteil dieses Dispositionsverfahrens liegt in der detaillierten Dokumentation des Transportverlaufs. Wichtige Ereignisse wie Ankunft am Ladeort, Beginn und Ende der Beladung sowie die Ankunft am Entladepunkt werden exakt erfasst. Dadurch wird eine genaue Leistungskontrolle ermöglicht. Zudem können anhand der erhobenen Daten Kennzahlen zu Stillstandszeiten und Ladezeiten analysiert werden, die für die Bewertung der Fahrzeugeffizienz und der Ladezonenorganisation von Bedeutung sind.

Dennoch ist diese vorgabegesteuerte Dispositionsmethode nur dann sinnvoll, wenn die Ladestellen sowie die Anzahl der benötigten Transporte bereits im Voraus genau feststehen. In der Baustellenlogistik trifft dies jedoch nicht immer zu, insbesondere wenn kurzfristige Änderungen oder unvorhergesehene Anpassungen erforderlich sind.

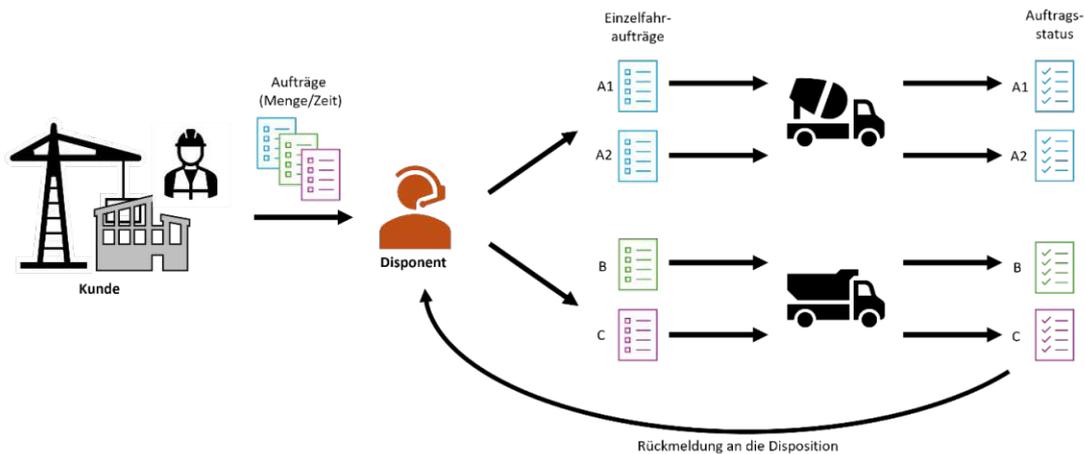


Abb. 4.2. Push-Prinzip in der Disposition im Bauwesen (In Anlehnung an *Sanladerer* [20, S. 25])

- dezentrale Pull-Disposition:

Innerhalb von Baustellen, insbesondere im Erdbaubereich, ist eine Push-gesteuerte Disposition der LKW kaum praktikabel. Dies liegt an den kurzen Transportwegen, den häufig wechselnden Lade- und Entladestellen sowie der Schwierigkeit, einzelne Fahraufträge zeitlich exakt zu planen. Bei der dezentralen Pull-basierten Disposition erfolgt die Zuweisung der Transportaufgaben nicht im Voraus, sondern vor Ort durch den Bauleiter oder Polier. Der Fahrer erhält lediglich einen zeitlichen Rahmen und den Einsatzort. Dieses Verfahren erhöht die Flexibilität und ermöglicht eine schnelle Anpassung an Baustellenanforderungen. Um die Effizienz des Materialtransports sicherzustellen, sollte der Fahrer sich möglichst ausschließlich auf seine Hauptaufgabe, den Transport von A nach B, konzentrieren können. Zusätzliche administrative Tätigkeiten oder unnötige Eingriffe in den Arbeitsablauf sollten vermieden werden, um eine hohe Transportleistung der Fahrzeuge zu gewährleisten und Stillstandzeiten zu reduzieren. In Abb. 4.3 ist das Funktionsschema des Pull-Prinzips dargestellt.

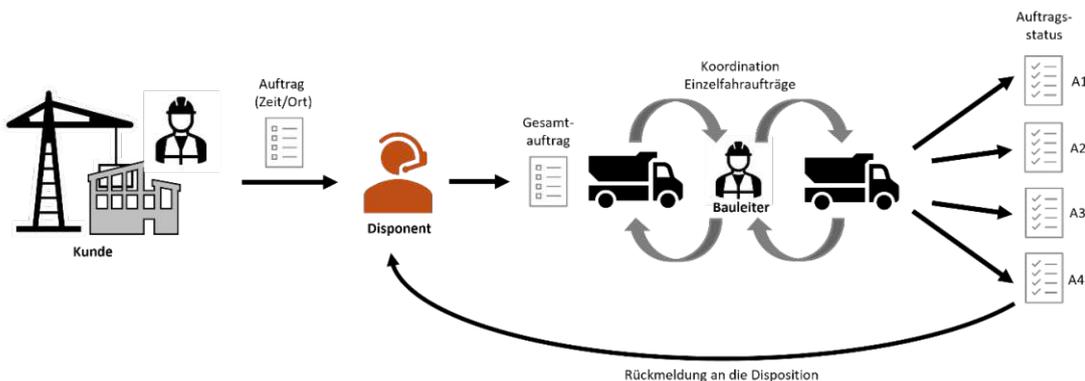


Abb. 4.3: Pull-Prinzip in der Disposition im Bauwesen (In Anlehnung an *Sanladerer* [20, S. 26])

4.6 Digitale Gerätedisposition

Die Digitalisierung hält zunehmend Einzug in die Disposition von Baugeräten und verändert bestehende Prozesse. In diesem Kapitel werden aktuelle technologische Entwicklungen vorgestellt, die den Dispositionsprozess unterstützen können. Dabei wird untersucht, welchen Mehrwert digitale Lösungen bieten, welche Herausforderungen sie mit sich bringen.

4.6.1 Planungsphase

Planungstool

In Studien wurden bereits digitale Tools entwickelt, die darauf abzielen, die Disposition von Baumaschinen in Bauprojekten zu optimieren. Dabei wurde festgestellt, dass traditionelle Planungsmethoden, die häufig auf Excel-Tabellen, WhatsApp-Nachrichten oder anderen manuellen Verfahren basieren, zu einer ineffizienten Ressourcennutzung, langen Stehzeiten und letztlich zu wirtschaftlichen Verlusten führen [24, Kap. 3].

Das vorgestellte Tool [24, Kap. 3] ist eine Web-Anwendung, die als geschlossene digitale Plattform konzipiert wurde und über einen virtuellen Browser genutzt werden kann. Es unterstützt die Echtzeit-Datenaktualisierung und ist für mobile Endgeräte, Tablets und Laptops optimiert. Die zentrale Verwaltung aller Baugeräte ermöglicht eine digitale Erfassung ihres aktuellen Status, etwa ob sie verfügbar oder in Wartung sind. Dadurch wird eine verbesserte Übersicht über den gesamten Gerätepool geschaffen, sodass potentielle Konflikte durch Mehrfachnutzung frühzeitig erkannt und vermieden werden können. Ein wesentlicher Bestandteil der Lösung ist der Einsatz der Critical-Chain-Methode, die gezielt Zeitpuffer berücksichtigt und sicherstellt, dass Engpässe bei der Ressourcenzuteilung vermieden werden. Die Methode orientiert sich an den tatsächlichen Verfügbarkeiten und Einschränkungen der Geräte, wodurch eine effizientere Disposition möglich wird. In der Studie wird aufgezeigt, dass diese Methode zu einer Steigerung der Geräteproduktivität um durchschnittlich 17 % führen kann. Ein weiterer Vorteil der digitalen Planung besteht in der deutlichen Verringerung der Stehzeiten von Geräten. Durch eine präzisere Disposition und kontinuierliche Kontrolle konnte in Fallstudien eine Reduktion der Gerätestehzeiten um 46 % sowie eine Senkung der finanziellen Verluste um 53 % nachgewiesen werden [24, Kap. 3].

Neben diesen wissenschaftlichen Erkenntnissen existieren bereits etablierte Softwarelösungen zur digitalen Disposition von Baugeräten, die ähnliche Funktionalitäten aufweisen. Diese Systeme ermöglichen eine herstellerunabhängige Integration aller gerätebezogenen Daten in einer zentralen Plattform, sodass Geräte verschiedener Hersteller in einer gemeinsamen Übersicht verwaltet werden können. Durch die automatische Erfassung von Leistungsdaten, Betriebsstunden und Standorten werden kontinuierliche Echtzeit-Datenaktualisierungen ermöglicht, wodurch Leistungskennzahlen der Geräte jederzeit abrufbar sind [25, Abs. 5]. Gleichzeitig sorgen visuelle Darstellungen der Geräteverfügbarkeit und automatisierte Dispositionsvorschläge für eine effiziente Einsatzplanung [26, Abs. 2], indem Überbuchungen vermieden und eine optimale Gerätezuweisung gewährleistet wird [26, Abs. 3].

Ein weiterer wesentlicher Vorteil besteht in der Integration mit bestehenden IT-Systemen wie ERP- oder Buchhaltungssoftware. Dadurch werden überflüssige Dateneingaben verhindert, was die betriebliche Effizienz steigert und den Informationsfluss innerhalb des Unternehmens verbessert [27, Abs. 18]. Zudem trägt die Optimierung der Ressourcennutzung dazu bei, Geräte gezielt einzusetzen und Leerläufe zu reduzieren, was nicht nur Betriebskosten senkt, sondern auch die Auslastung der Geräte erhöht [25, Abs. 5-7]. Ein entscheidender Aspekt dieser digitalen Lösungen ist der orts- und zeitunabhängige Zugriff, der es allen beteiligten Personen ermöglicht, jederzeit und von überall auf aktuelle Dispositionsdaten zuzugreifen. Dies erhöht die Flexibilität im Planungsprozess und erleichtert die Reaktion auf kurzfristige Änderungen, wodurch die gesamte Disposition transparenter und effizienter gestaltet wird [28, Abs. 4-10].

Künstliche Intelligenz und Simulation

KI kann gezielt bei der Disposition und Planung von Baugeräten unterstützen. Durch den Einsatz von KI und Optimierungsalgorithmen können sowohl die Gerätezuweisung als auch die Terminplanung in Bauprojekten erheblich verbessert werden. KI-Systeme analysieren dabei große Datenmengen und treffen auf Basis unterschiedlicher Einschränkungen fundierte Entscheidungen. Optimierte Algorithmen ermöglichen eine effiziente Zuweisung von Maschinen, was Verzögerungen und Kosten reduziert sowie Projektabläufe beschleunigt. Fallstudien belegen bereits, dass dieser innovative Ansatz die Gesamtleistung und Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten maßgeblich steigern kann [29, S. 2 f].

4.6.2 Transport

Die digitale Disposition ermöglicht eine effiziente Koordination sowohl interner Fahrer als auch externer Frächter. Durch ein zentrales Dispositionstool werden Transportaufträge präzise zugewiesen, während Fahrer über Transportanfragen in Echtzeit benachrichtigt werden und diese direkt in der App bearbeiten können. Diese Weiterentwicklung schafft eine verbesserte Kommunikationsgrundlage und ermöglicht eine präzise und transparente Transportkoordination. Die Möglichkeit, einen Transport zu starten und zu beenden, schafft Transparenz und aktualisierte Planungsinformationen für Disponenten [30, S. 8 ff], [31, S. 2 f]. Gerade bei Rücktransporten von Baugeräten, die eine besondere Herausforderung darstellen, da die genaue Position des abzuholenden Geräts präzise an die Disposition und anschließend an das Fahrpersonal übermittelt werden muss [21, S. 285], bietet die digitale Disposition einen entscheidenden Vorteil.

Die mobile Anbindung solcher Dispositionslösungen bietet erhebliche Vorteile: eine deutliche Verbesserung der Kommunikation zwischen Disponenten und Fahrern, schnelle Reaktionsmöglichkeiten auf kurzfristige Transportaufträge, Reduzierung von Leerfahrten sowie eine optimierte Ressourcennutzung durch Echtzeit-Tracking. Gleichzeitig bestehen allerdings auch Herausforderungen, darunter die Abhängigkeit von stabilen Internetverbindungen, die insbesondere in ländlichen Gebieten kritisch sein können, sowie potentielle Widerstände gegenüber der Digitalisierung bei weniger technikaffinen Fahrern. Zudem könnten datenschutzrechtliche Bedenken bezüglich der Echtzeitüberwachung auftreten, was eine transparente und sorgfältige Kommunikation und Regelung erfordert [31, S. 18 f].

4.6.3 Nutzungsphase

Für die Disposition von Baugeräten sind wichtige Informationen erforderlich, die kontinuierlich erfasst und ausgewertet werden müssen. Flottenmanagementsysteme sammeln dabei umfassende Betriebs- und Zustandsdaten, wie Standort, Betriebsstunden und Kraftstoffverbrauch, und speichern diese zentral in der Cloud. Diese Daten unterstützen nicht nur die Planung, Abrechnung und wirtschaftliche Analyse des Geräteeinsatzes, sondern ermöglichen auch den Einsatz von Technologien wie Geofencing, die sicherstellen, dass Geräte definierte Bereiche nicht verlassen [32, S. 38]. Telematik ergänzt diese Systeme, indem sie Echtzeitinformationen [32, S. 13] zu Standort, Betriebszeiten und Leistungsdaten liefert, was zu einer verbesserten Planung und höheren Nutzungseffizienz der Maschinen beiträgt. Zusätzlich unterstützt Telematik vorausschauende Wartungsstrategien, indem mithilfe von Sensordaten und KI-Nutzungsmuster erkannt, Wartungsbedarfe vorausgesagt und Maschinen effizienter eingesetzt werden können. KI-gestützte

Analysen helfen zudem, Maschinenverschleiß frühzeitig zu erkennen und ungeplante Stillstände zu minimieren [32, S. 38], [33, Kap. 3]. Trotz dieser Vorteile existieren Herausforderungen, insbesondere hinsichtlich der Datenqualität, Datensicherheit sowie fehlender einheitlicher Schnittstellen und standardisierter Datenformate, da herstellerspezifische Systeme oft inkompatibel sind [32, S. 83 f]. In diesem Kontext könnte die Entwicklung und Implementierung einheitlicher Schnittstellen und standardisierter Datenformate wesentlich dazu beitragen, die technischen Herausforderungen zu überwinden und die Verwaltung der Baugeräte zu optimieren [32, S. 109 f].

Ein möglicher Lösungsansatz für die Herausforderung der Interoperabilität und Datensicherheit könnte im Einsatz von Blockchain-Technologien liegen. Obwohl das Potential der Blockchain-Technologie im Bereich Logistik im Bauwesen bereits anerkannt ist, steckt die spezifische Forschung zur Geräteoptimierung durch Blockchain basierte Datenspeicherung und -verwaltung noch in den Anfängen. Die Speicherung relevanter Maschinen- und Einsatzdaten in der Blockchain könnte zukünftig zu einer höheren Transparenz, verbesserten Sicherheit und Interoperabilität beitragen. Allerdings ist derzeit die Forschung hierzu noch begrenzt, weshalb weitergehende Forschungen notwendig sind, um fundierte Aussagen über das konkrete Potential und die umfassende Umsetzbarkeit im Bauwesen treffen zu können [34, S. 501 f], [35, S. 334].

4.7 Zusammenfassung

Kapitel 4 beleuchtete ausführlich die Bedeutung und Besonderheiten der Disposition im Bauwesen. Da Projekte stark von Wetterbedingungen und Baufortschritt abhängen, sind die Prozesse dynamisch und erfordern eine enge Abstimmung zwischen allen Beteiligten. Hierbei ist eine effiziente Steuerung von Transportaufträgen notwendig. Der Aufgabenbereich eines Disponenten umfasst unter anderem die Auftragsannahme, Organisation von Transporten sowie die Zuteilung der Aufträge an Fahrer. Auf kleineren Baustellen kann dies auch dezentral von einem Bauleiter vor Ort erledigt werden, während bei größeren und komplexeren Projekten in der Regel eine zentrale Disposition sinnvoll ist. Diese wird meist von einem hauptverantwortlichen Disponenten an einer übergeordneten Stelle koordiniert. Darüber hinaus lassen sich zwei grundlegende Strategien unterscheiden: das Push-Prinzip, bei dem der Disponent eine vorab definierte Transportzuweisung übergibt, sowie das Pull-Prinzip, bei dem der Bauleiter oder Polier vor Ort selbstständig die Zuweisung vornimmt. Abschließend wird erläutert, wie in den Planungs-, Transport- und Nutzungsphasen laut Studien digitale Lösungen in der Gerätedisposition erforscht und vorgestellt werden, sowie welche aktuellen Lösungen bereits verfügbar sind.

5 Digitale Infrastruktur im Bauwesen

Die folgenden Abschnitte stellen mit ERP- und Telematiksystemen zwei zentrale Technologien vor, die im untersuchten Unternehmen zum Einsatz kommen. Ziel dieses Kapitels ist es, ein grundlegendes Verständnis ihrer Funktionsweise zu vermitteln, da sie zentrale Bestandteile der digitalen Systemlandschaft des Unternehmens bilden.

5.1 ERP-System

5.1.1 Definition und Konzept von ERP

Ein Enterprise Resource Planning-System (ERP) ist eine umfassende Softwarelösung, welche die betriebswirtschaftlichen Prozesse und Informationsflüsse innerhalb eines Unternehmens ganzheitlich unterstützt. ERP-Systeme dienen der Abbildung, Automatisierung und Integration sämtlicher Geschäftsabläufe wie Einkauf, Produktion, Verkauf, Rechnungswesen und Marketing auf Basis einer gemeinsamen und zentralisierten Datenbasis. Ziel eines ERP-Systems ist es, sämtliche Ressourcen im Unternehmen, beispielsweise Kapital, Personal, Material und Betriebsmittel, möglichst effizient und integriert zu planen und zu steuern [36, S. 10].

Historisch gesehen entwickelten sich ERP-Systeme aus Material Requirements Planning (MRP), welches sich auf die Materialbedarfsplanung konzentrierte. Später wurde daraus MRP II, welches zusätzlich zu Materialanforderungen auch finanzielle Ressourcen berücksichtigte. Erst um 1990 entstand durch technologische Fortschritte wie relationalen Datenbanken und grafischen Benutzeroberflächen der Begriff ERP, welcher schließlich die umfassende unternehmensweite Integration aller Geschäftsbereiche ermöglichte [36, S. 12].

Ein ERP-System setzt sich typischerweise aus mehreren Modulen zusammen, die aufeinander abgestimmt sind und unterschiedliche Unternehmensbereiche abdecken. Diese Module können je nach Unternehmensanforderungen individuell zusammengestellt und gegebenenfalls angepasst werden. Zu den typischen Modulen gehören unter anderem [36, S. 14], [37, S. 16 f]:

- Produktionsplanung und -steuerung
- Materialwirtschaft und Einkauf
- Vertrieb und Marketing
- Finanz- und Rechnungswesen
- Personalwirtschaft
- Kundenservice
- Qualitätssicherung

Aktuelle ERP-Systemanbieter sind SAP mit SAP S/4HANA, Microsoft mit Microsoft Dynamics 365 und Oracle mit Oracle NetSuite, die verschiedene Marktsegmente abdecken [36, S. 17].

5.1.2 Nutzen und Relevanz von ERP

Die Verwendung von ERP-Systemen bietet Unternehmen zahlreiche Vorteile, indem sie Geschäftsprozesse optimieren, automatisieren und integrieren. Die Hauptgründe für den Einsatz von ERP-Systemen lassen sich in verschiedene Kategorien einteilen:

- **Integration und Datenkonsistenz**
ERP-Systeme ermöglichen eine durchgängige Integration von Daten und Prozessen innerhalb eines Unternehmens. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Geschäftsbereiche wie Produktion, Einkauf, Vertrieb, Finanzwesen, Controlling und Personalwesen nicht mehr isoliert voneinander arbeiten („Insellösungen“), sondern gemeinsam auf eine zentrale Datenbasis zugreifen. Damit werden Informationsverluste und redundante Eingaben reduziert [36, S. 8 ff].
- **Kosten- und Zeitersparnis**
ERP-Systeme ermöglichen eine effizientere Abwicklung der Geschäftsprozesse, da Informationen nur noch einmalig eingegeben werden müssen und anschließend unternehmensweit verfügbar sind. Dadurch wird Zeit bei der Datenpflege eingespart und Doppelarbeiten entfallen [36, S. 8 ff], [38, S. 668].
- **Erhöhte Transparenz und Nachvollziehbarkeit**
ERP-Systeme ermöglichen eine wesentlich höhere Transparenz innerhalb der Organisation durch zentrale Datenhaltung und standardisierte Geschäftsprozesse. Management und Mitarbeiter haben jederzeit Zugriff auf aktuelle Informationen über den Zustand des Unternehmens, die aktuelle Produktionsauslastung oder die Finanzsituation [37, S. 14 ff].
- **Bessere Skalierbarkeit und Flexibilität**
Da ERP-Systeme als integrierte Standardsoftware angeboten werden, ist es für Unternehmen meist wirtschaftlicher, auf bestehende Lösungen zurückzugreifen als individuelle Systeme zu entwickeln. Durch die Modularität von ERP-Systemen können zudem nur jene Komponenten genutzt werden, die wirklich benötigt werden. Anpassungen erlauben, das System dennoch individuell an die Bedürfnisse des jeweiligen Unternehmens anzupassen [36, S. 8 ff]

Der Einsatz von ERP-Systemen ist für Unternehmen essentiell, um wettbewerbsfähig zu bleiben, Prozesse effizient zu gestalten und fundierte Entscheidungen zu treffen. Sie bieten Skalierbarkeit, Kosteneinsparungen und verbesserte Kontrolle über Geschäftsabläufe, was langfristig zur Unternehmensstabilität und -entwicklung beiträgt [36, S. 8 ff]. Trotz der zahlreichen Vorteile von ERP-Systemen bringen sie auch einige Herausforderungen mit sich. Zu den wichtigsten Nachteilen gehören:

- **Hohe Kosten und Aufwand:**
Die Einführung eines ERP-Systems ist teuer und zeitaufwendig. Neben den Lizenz- und Implementierungskosten sind auch Schulung und Wartung mit erheblichen finanziellen und personellen Aufwänden verbunden [38, S. 680 ff].
- **Widerstand im Unternehmen:**
ERP-Systeme erfordern oft tiefgreifende organisatorische Veränderungen, was zu

Widerständen bei Mitarbeitenden führen kann. Zudem sind Anpassungen an bestehende Prozesse oft erforderlich, was die Einführung erschwert [38, S. 680 ff].

- **Fehlende Standardprozesse:**

Es existiert keine einheitliche, standardisierte Implementierungsmethodik, was zu Inkonsistenzen und erhöhtem Risiko von Fehlschlägen führt. Viele Unternehmen kämpfen mit unerwarteten Herausforderungen bei der Implementierung [38, S. 680 ff].

5.1.3 Architektur eines ERP-Systems

Ein ERP-System besteht aus mehreren miteinander verknüpften Schichten, die eine effiziente Verwaltung und Verarbeitung von Unternehmensdaten ermöglichen. Die Datenhaltungsschicht bildet die Grundlage eines ERP-Systems, indem sie sämtliche Geschäfts- und Transaktionsdaten in relationalen oder Datenbanken speichert. Moderne Systeme nutzen spaltenbasierte Speicherung, um große Datenmengen effizient zu verarbeiten und Echtzeitanalysen zu ermöglichen. Auf diese Daten greift die darüberliegende Applikationsschicht zu, die als zentrale Steuerungseinheit fungiert. Hier werden sämtliche Geschäftsprozesse und Module, wie Finanzbuchhaltung, Produktionsplanung oder Lagerverwaltung, verarbeitet und koordiniert. Über interne Kommunikationsprozesse, Schnittstellen zur Datenübertragung und die zentrale Geschäftslogik kommunizieren die ERP-Module untereinander und stellen sicher, dass Unternehmensabläufe integriert und automatisiert ablaufen. Direkt darüber liegt die Adaptionsschicht, die das ERP-System an unternehmensspezifische Anforderungen anpasst. Hier werden Systemkonfigurationen, Workflows und Erweiterungen konfiguriert, um Standardprozesse flexibel zu modifizieren. Die oberste Ebene ist die Benutzungsschicht, die als Schnittstelle zum Endnutzer dient. Über verschiedene Anwendungen wie browserbasierte Programme, mobile Anwendungen oder klassische Desktop-Programme können Benutzer in Echtzeit auf das System zugreifen, Daten eingeben und Geschäftsprozesse verwalten [37, S. 14 ff]. Abb. 5.1 zeigt den Aufbau eines ERP-Systems und verdeutlicht die Struktur der einzelnen Schichten.

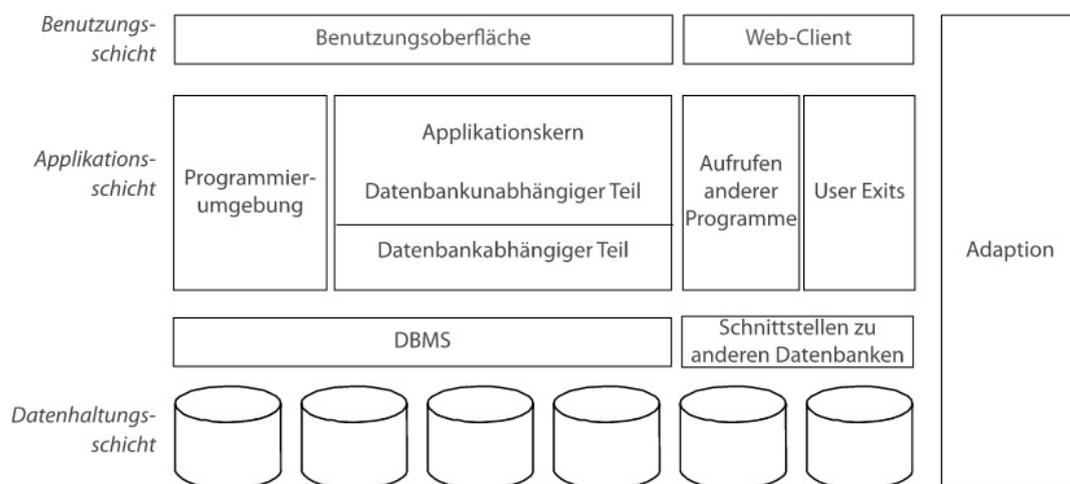


Abb. 5.1: Aufbau eines ERP-Systems [39, Abb. 2]

5.2 Telematiksystem

5.2.1 Definition und Konzept von Telematik

Die moderne Telematik hat ihre Anfänge in der Entwicklung von Kommunikations- und Steuerungssystemen, welche eine Datenübertragung über große Entfernungen ermöglichen. Ursprünglich fand die Telematik in den 1980er und 1990er Jahren vor allem in der Logistik und Verkehrstechnik Anwendung. Heute umfasst ihr Einsatzgebiet jedoch zahlreiche weitere Branchen, wie das Gesundheitswesen, das Bauwesen und das industrielle Flottenmanagement. Der Begriff „Telematik“ setzt sich aus „Telekommunikation“ und „Informatik“ zusammen und beschreibt die Verbindung von Computertechnik mit drahtloser Telekommunikation, um Informationen über umfangreiche Netzwerke hinweg effizient zu übertragen. Ziel ist es, dadurch unterschiedlichste öffentliche und geschäftliche Prozesse zu optimieren [40, S. 148]. Die Europäische Union definierte 1994 Telematik als die „getrennte oder gemeinsame Anwendung von Telekommunikationstechnik und Informatik“ [41, S. 139].

Seit dieser Definition entwickelte sich das Einsatzfeld der Telematik erheblich weiter und umfasst unterschiedlicher Anwendungsbereiche:

- **Flottenmanagement:** Hier dienen Telematiksysteme der Echtzeit-Überwachung und Steuerung von Fahrzeugflotten (Positionsübermittlung, Streckenverfolgung, Betriebsstatus der Fahrzeuge, Kraftstoffmanagement) [42, Kap. 3]
- **Verkehrssicherheit:** Systeme, das im Falle eines Unfalls automatisch Rettungskräfte alarmiert, sind mittlerweile gesetzlich vorgeschrieben. In der Kfz-Versicherungsbranche werden telematikbasierte Tarife genutzt, um Versicherungsprämien individuell anhand des Fahrverhaltens (PAYD: Pay As You Drive, PHYD: Pay How You Drive) festzulegen [41, S. 143].
- **Gesundheitswesen:** In der Telemedizin ermöglicht Telematik die Übertragung und Speicherung persönlicher Vitaldaten für medizinische Diagnosen und Überwachungszwecke (z. B. durch Health-Tracker, Smartwatches) [41, S. 145].
- **Energiesektor:** Durch intelligente Messgeräte (Smart Meter) ermöglicht Telematik eine effiziente Steuerung und Abrechnung des Energieverbrauchs [41, S. 147].

Mit dem Aufkommen von Big Data, KI und dem IoT spielt die Telematik eine noch zentralere Rolle in der Automatisierung und Vernetzung von Systemen. Besonders im Bauwesen und in der Industrie 4.0 werden intelligente Telematiklösungen die Effizienz und Sicherheit weiter verbessern [43, S. 51 ff].

5.2.2 Nutzen und Relevanz von Telematik

Telematik findet im Baubereich aus verschiedenen Gründen Einsatz und bietet zahlreiche Vorteile für die Betreiber und die gesamte Bauwirtschaft. Die Hauptgründe, warum Telematik speziell in der Bauwirtschaft genutzt wird, werden nachfolgend näher dargestellt:

- **Erhöhte Produktivität und Effizienzsteigerung:** Ein wesentlicher Grund für den Einsatz von Telematik ist die Steigerung der Produktivität und Effizienz im Bauwesen [42, Kap. 6]. Durch eine genaue Datenerfassung, Übertragung und Auswertung können Bauprozesse optimiert

und Stillstände reduziert werden. Die Verfügbarkeit der Echtzeit-Positionsdaten ermöglicht somit eine bessere Koordination und Disposition, was wiederum Kosten und unnötige Transporte reduziert. Die kontinuierliche Erfassung der Maschineneinsatzzeiten, der tatsächlichen Maschinenauslastung sowie der Arbeitsmodi ermöglicht es außerdem, zwischen produktiven und unproduktiven Betriebsphasen zu unterscheiden [42, Kap. 3], [43, S. 135].

- Reduzierung der Kosten:

Die Erfassung von Maschinendaten ermöglicht eine präzise Kontrolle des Kraftstoffverbrauchs und der Betriebszeiten. Durch gezielte Maßnahmen auf Basis dieser Informationen können Verbrauch und Verschleiß reduziert und somit Kosten eingespart werden [42, Kap. 3].

- Automatisierte und vereinfachte Abrechnung

Telematiksysteme ermöglichen eine automatisierte Erfassung von Betriebsstunden und Einsatzzeiten. Diese Daten können direkt in ERP- oder andere Verwaltungssoftware importiert und ohne Papierdokumente verarbeitet werden, wodurch die Verwaltungsabläufe stark vereinfacht und beschleunigt werden [42, Kap. 3].

- Standardisierung und Transparenz

Eine zentrale Herausforderung im Bauwesen ist die herstellerübergreifende Standardisierung der Maschinendatenschnittstellen. Durch den Einsatz von Telematiksystemen können standardisierte Schnittstellen geschaffen werden, die eine herstellerübergreifende Integration und eine vereinfachte Nutzung der Daten ermöglichen. Eine einheitliche und standardisierte Datenschnittstelle verbessert die Transparenz und Vergleichbarkeit der Daten und Prozesse auf der Baustelle [42, Abs. 1], [43, S. 135].

Allerdings sollten bei der Nutzung von Telematiksystemen auch gewisse Herausforderungen und Risiken bedacht werden. Insbesondere sind dabei folgende Punkte hervorzuheben [40, S. 150]:

- Kostenintensive Implementierung:

Die Anschaffung, Installation und kontinuierliche Betreuung der notwendigen Hard- und Software kann, besonders für kleinere Unternehmen, zu einer erheblichen finanziellen Belastung werden.

- Datenschutzbedenken:

Da Telematiksysteme umfassende Bewegungs- und Nutzerdaten erfassen, kann dies bei Mitarbeitern oder Kunden das Gefühl einer übermäßigen Überwachung hervorrufen.

- Risiko der Fahrerablenkung:

Die Nutzung von Telematiksystemen, vor allem durch visuelle Anzeigen, kann zu einer Ablenkung des Fahrers während der Tätigkeit führen und somit das Unfallrisiko erhöhen.

5.2.3 Funktionsprinzipien von Telematiksystemen

Der CAN-Bus (Controller Area Network) ist das am weitesten verbreitete Kommunikationssystem für die Vernetzung elektronischer Komponenten und Steuergeräte in modernen Baumaschinen. Maschinendaten, z.B. Betriebsstunden, Motorparameter, Kraftstoffverbrauch, Position, Druck und

Temperatur, werden durch Sensoren erfasst und via CAN-Bus an ein zentrales Gateway übertragen. Von dort gelangen die Daten an die Telematikeinheit, welche sie über Mobilfunk oder Satellit an zentrale Server weiterleitet [43, S. 10 f].

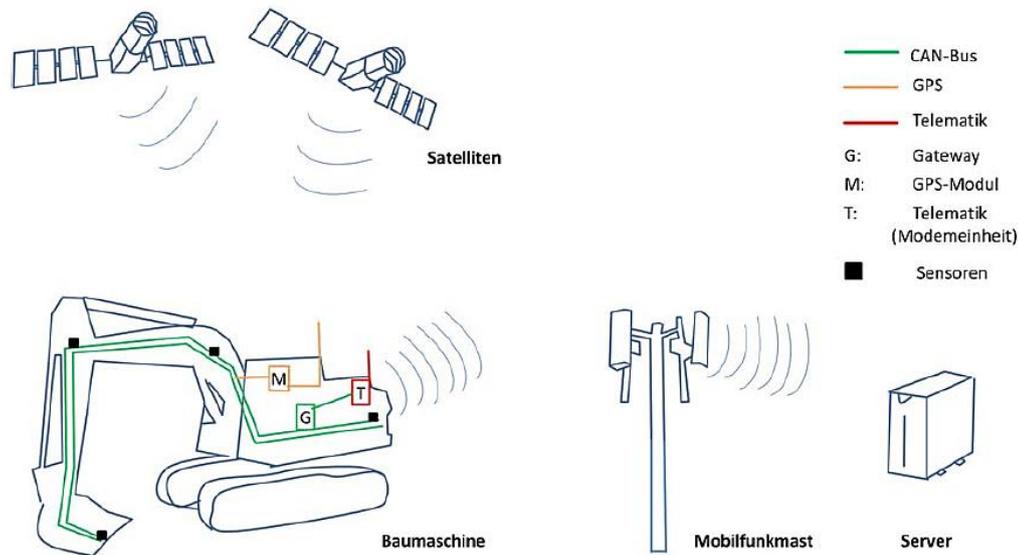


Abb. 5.2: Komponenten eines CAN-Bus Telematiksystems [43, S. 11]

Grundsätzlich besteht es aus folgenden Elementen [42, Kap. 2], [43, S. 10 f] (siehe Abb. 5.2):

- Sensoren: Erfassen maschinenbezogene Daten, wie Position, Betriebsstunden, Kraftstoffverbrauch, Maschinenzustände (z.B. Druck, Temperatur).
- CAN-Bus-System: Internes Kommunikationssystem innerhalb der Baumaschine. Überträgt zuverlässig die gesammelten Sensordaten zwischen verschiedenen elektronischen Komponenten.
- Telematikeinheit (Gateway): Empfängt die Daten vom CAN-Bus, bündelt sie und überträgt diese mittels Mobilfunk oder Satellitenkommunikation an zentrale Datenserver.
- Zentraler Datenserver (Cloud): Speichert und verarbeitet die übertragenen Maschinendaten sicher und zentral.
- Auswertungssystem (Software): Greift auf die gespeicherten Daten zu und analysiert sie, um z. B. Dispositionsentscheidungen zu treffen, Einsatzzeiten automatisiert abzurechnen oder Wartungstermine zu planen.

Optional können Daten und Informationen vom Server zurück an die Maschine übermittelt werden, um Fahrer zu informieren oder Maschineneinstellungen aus der Ferne anzupassen [43, S. 33]. Abb. 5.3 stellt die Übertragung der gewonnenen Daten vom Telematiksystem und deren Verbindung mit dem Auswertungssystem bildlich dar.

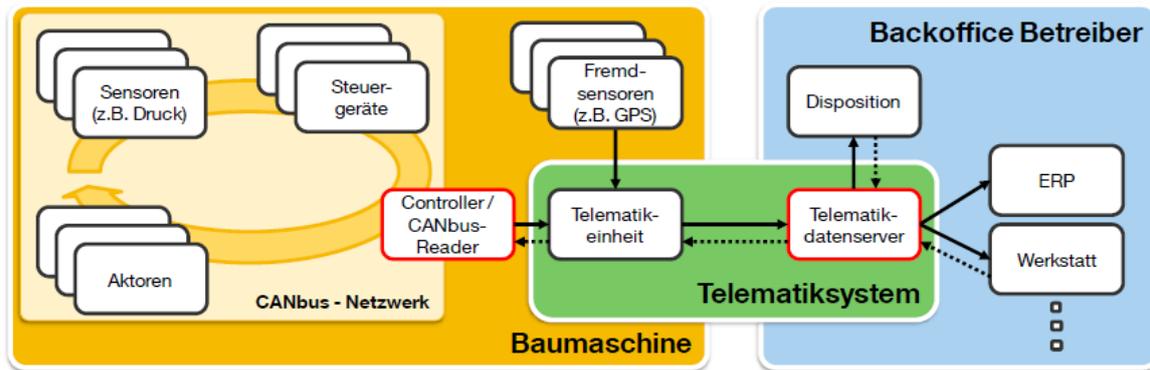


Abb. 5.3: Datenübertragung mittels CAN-Bus zwischen Baumaschine und Auswertungssystem (Backoffice Betreiber) [42, Abb. 1]

5.3 Zusammenfassung

ERP-Systeme integrieren alle relevanten Geschäftsbereiche und basieren meist auf modularen Strukturen, die individuell angepasst werden können. Dadurch entstehen konsistente Datenflüsse und Transparenz in Prozessen wie Einkauf, Produktion oder Lagerverwaltung. Dies fördert eine effizientere Planung und ermöglicht fundierte Entscheidungen. Allerdings erfordert die Implementierung erhebliche Ressourcen für Schulungen und Anpassungen. Telematik wiederum vereint Telekommunikation und Informatik, um Informationen in Echtzeit zu erfassen und zu übertragen. Insbesondere bei Fahrzeugflotten steigert sie Effizienz und Sicherheit, da Position und Zustand laufend überwacht werden. Dabei ist jedoch auf Datenschutz und mögliche hohe Investitionskosten zu achten. Ein typisches Beispiel für eine Telematik-Anwendung ist der CAN-Bus. Die Daten werden in standardisierten Botschaften übertragen, wodurch jedes Gerät nur die für es relevanten Informationen verarbeitet.

6 Prozesserhebung, Datenanalyse und Modellkonzeption

In diesem Kapitel werden die im Unternehmen erfassten Daten, die durch die Disposition von Geräten entstehen, analysiert, um fundierte Erkenntnisse für die Entwicklung eines optimierten Dispositionsprozesses zu gewinnen. Zunächst werden die Arbeitsabläufe mithilfe von BPMN-Modellen visualisiert, um die einzelnen Prozessschritte und deren Zusammenhänge zu verdeutlichen. Darauf aufbauend erfolgt eine systematische Darstellung der im Betrachtungszeitraum eingesetzten Baugeräte, einschließlich ihrer Einsatzhäufigkeit. Auf Basis dieser Analysen lassen sich Schwachstellen identifizieren sowie Optimierungspotentiale erkennen, aus denen konkrete Verbesserungsvorschläge entwickelt werden können. Zum Abschluss werden die Optimierungsvorschläge in den aktuellen Prozess eingebunden, um die daraus resultierenden Effizienzsteigerungen in der Gerätedisposition nachvollziehbar darzustellen.

6.1 Datenerhebung und Methodik

Bevor die Ergebnisse der Auswertung vorgestellt werden, wird zunächst die Herkunft der zugrunde liegenden Daten erläutert. Es handelt sich um historische Daten, die mit den im Betrieb eingesetzten Erfassungssystemen gesammelt wurden und die Grundlage für die durchgeführten Analysen bilden. Um die Daten gezielt analysieren zu können, ist es notwendig, sie in eine geeignete Form zu bringen. Dafür werden die Daten aus dem ERP-System exportiert und in eine gängige Tabellenkalkulationssoftware (Microsoft Excel) überführt, wodurch eine strukturierte Bearbeitung und die Filterung relevanter Informationen ermöglicht wird.

Aufgrund der großen Menge an Daten aus unterschiedlichen Zeiträumen und Kategorien ist eine Eingrenzung erforderlich. Diese dient zum einen dazu, präzisere Aussagen treffen zu können, und zum anderen dazu, den Analysezeitraum auf die Jahre 2021, 2022 und 2023 zu beschränken. Außerdem wird die Analyse auf drei Baugebiete² mit dem größten bekannten Datenbestand fokussiert. Durch diese Vorverarbeitung wird eine übersichtliche und aussagekräftige Datengrundlage geschaffen, die als Basis für die detaillierten Analysen dient.

Darauf aufbauend ist es entscheidend, die Auswahlkriterien für die Baugeräte festzulegen, die in die detaillierte Analyse einbezogen werden. Dafür werden gezielt Straßenbau- und Erdbaumaschinen ausgewählt, die einen Anschaffungswert von über 10.000 € aufweisen und mit einer Telematikeinheit ausgestattet sind. Diese Telematikeinheiten liefern wichtige Informationen von den Sensoren der Baugeräte (siehe Kapitel 5.2.). Diese Kriterien sorgen dafür, dass nur jene Geräte berücksichtigt werden, die ausreichend Daten liefern und dadurch aussagekräftige Auswertungen ermöglichen.

Um die Daten zu analysieren, werden sie in dieser Arbeit nach ihrem Datenmanagementsystem und dem Detailgrad der bereitgestellten Informationen kategorisiert. Abb. 6.1 veranschaulicht diese Abstufung des Detailgrades durch eine beispielhafte Darstellung.

² Im Kontext des Bauunternehmens stellen Baugebiete eigenständige, regional abgegrenzte Verwaltungseinheiten dar, die jeweils für die operative Abwicklung der innerhalb ihres Zuständigkeitsbereichs liegenden Baustellen verantwortlich sind. Jedes Baugebiet verfügt über einen zentralen Hauptstandort sowie über eigene Ressourcen in Form von Personal, Fahrzeugen und Baugeräten. Die Disposition dieser Ressourcen erfolgt in der Regel ausschließlich innerhalb des jeweiligen Baugebiets und nur in Ausnahmefällen findet eine gebietsübergreifende Disposition statt.

- Die erste Ebene umfasst sogenannte Buchungsdaten aus dem ERP-System, die hauptsächlich der kaufmännischen Bewertung der Baugeräte dienen. Dabei werden Gerätevermietung im System durch Tages-, Wochen-, Monats- und Blockmieten erfasst. Der Begriff Blockmiete bezeichnet die Verbuchung eines Geräts auf einen Bereich und dessen Kostenträger über einen festgelegten Zeitraum (meist über ein Jahr), ohne dass dabei detaillierte Informationen über den genauen Einsatzort oder die Einsatzzeiten des Geräts im ERP-System erfasst werden. Anhand der ERP-Daten lässt sich lediglich zwischen einem Lager- und einem Baustellenstandort unterscheiden. Eine genauere Differenzierung, etwa zur Abgrenzung Transportvorgänge oder Stillständen, ist hingegen nicht möglich. Während diese Mieten für die Kostenträger als Aufwand verbucht werden, stellt sie für das Gerätemanagement eine wirtschaftlich positive Buchung dar.
- Auf der nächsten Ebene bieten die von den Disponenten und Bauleitern geführten Tabellenblätter, die mithilfe von Microsoft Excel erstellt und verwaltet werden, einen höheren Detaillierungsgrad. Diese Tabellen dokumentieren die wöchentliche Zuweisung der Baugeräte zu den Standorten. Diese dynamischen Listen dienen nicht nur der Dokumentation, sondern auch der Planung und Koordination von Gerätetransporten. Durch regelmäßige Abstimmungen und Aktualisierungen wird eine effiziente Nutzung der Baugeräte sichergestellt. Weiterführende Erläuterungen finden sich in Kapitel 6.4.2.
- Die dritte Ebene besteht aus den Daten, die von den Telematikeinheiten erfasst werden. Diese Geräte zeichnen die exakten Betriebsstunden und die Kilometeranzahl der Baugeräte auf. Anhand dieser präzisen Daten kann genau nachvollzogen werden, ob ein Baugerät an einem bestimmten Standort in Verwendung war.

		Gerät A									
		Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	Tag 5	Tag 6	Tag 7	Tag 8	Tag 9	Tag 10
Ebene 1 (ERP-System)	Miete 1										
Ebene 2 (Tabellenblätter)	Baustelle 1							Baustelle 2			
Ebene 3 (Telematikdaten)		6,80 h	0,00 h	0,00 h	5,20 h	3,00 h	0,00 h	0,00 h	5,00 h	1,30 h	0,00 h

Abb. 6.1: Beispielhafte Darstellung des Detailgrades der erfassten Daten für ein Gerät

Um Optimierungspotentiale im Unternehmen zu identifizieren, ist es auch von essenzieller Bedeutung, die aktuellen Abläufe der Gerätedisposition genau zu verstehen. Deshalb werden für die Erstellung der Prozesse die Verantwortlichkeiten der Gerätedisposition klar definiert und die Abläufe so detailliert wie möglich beschrieben. Dies ermöglicht es, Schwachstellen leichter zu identifizieren und zielgerichtete Optimierungsvorschläge zu entwickeln. Wichtig ist es im ersten Schritt, die Arbeitsabläufe der zuständigen Mitarbeiter zu erfassen. Im Verlauf der Analyse wird ersichtlich, dass die Zuständigkeiten innerhalb des Unternehmens bereichsübergreifend organisiert sind, wodurch die Identifikation der richtigen Ansprechpartner notwendig ist.

6.2 Prozesse der Gerätedisposition

Nach Gesprächen mit der technischen Leitung des operativen Gerätemanagements sowie den Gerätedisponenten konnten im Zuge der Prozesserhebung zwei zentrale Abläufe im untersuchten Unternehmen identifiziert werden. Dabei handelt es sich um die Geräteacquisition und die reine Disposition, welche im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

6.2.1 Prozess des Geräteankauf bzw. Gerätemiete

Entscheidungen über Anpassungen im Fuhrpark, wie beispielsweise Aufstockung oder Austausch von Geräten, werden von mehreren möglichen Auslösern bestimmt. Grundsätzlich lassen sich drei verschiedene Auslöser identifizieren, die zu einer Geräteanschaffung führen können.

- 1) Der erste Auslöser liegt vor, wenn das operative Personal anhand einer vorausschauenden Ressourcenplanung feststellt, dass Geräte, für die zu erwartende „Auftragsauslastung“ über einen längeren Zeitraum nicht abrufbereit wären. In diesem Fall erfolgt eine schriftliche Bedarfsmeldung, die als „strategische Fuhrparkerweiterung“ bezeichnet wird. Diese Erweiterung dient dazu, durch gezielte Einkäufe auf zukünftige Anforderungen vorbereitet zu sein und die erwartete hohe Geräteauslastung sicherzustellen. Die neu angeschafften Geräte werden nach dem Einkauf direkt dem bestellenden Kostenträger als Miete zugewiesen, um eine sofortige Einsatzbereitschaft zu gewährleisten.
- 2) Ein weiterer Grund für den Kauf von Geräten besteht darin, dass ein Mietgerät in den Eigenfuhrpark übernommen werden soll, weil weiterhin Bedarf besteht. Dies wird als „Erweiterung“ bezeichnet und umfasst die Übernahme von Langzeitmietgeräten. Mietgeräte, die von Drittanbietern über einen bestimmten Zeitraum angemietet werden, gelten als Langzeitmietgeräte, wenn sie für einen Zeitraum von mehr als drei Monaten genutzt werden. Diese Geräte werden im ERP-System wie Eigengeräte mit einer Inventarnummer erfasst und mit einer Telematikeinheit ausgestattet. Dadurch können sie auch für andere Kostenträger disponiert werden und Gerätedaten gesammelt werden. Diese Daten dienen als Grundlage zur Entscheidung, ob ein Gerät übernommen werden soll. Dabei ist sicherzustellen, dass der Kostenträger das Gerät ausreichend nutzt, um die Investition zu rechtfertigen. Kurzzeitmietgeräte hingegen werden für kurzfristige Bedarfe eingesetzt, wie zum Beispiel für Aufgaben von kurzer Dauer, bei denen spezielle Geräte benötigt werden, oder im Falle des Ausfalls eines Eigengeräts. Diese Geräte werden nicht ins eigene ERP-System aufgenommen und verfügen daher nicht über detaillierte Nutzungsdaten. Gelegentlich werden sogenannte „Mietreports“ erstellt, die nur die Geräteart und die Mietdauer festhalten und daher nicht für eine effiziente Auswertung genutzt werden können. Solche Mietberichte werden nur bei Mietabschlüssen mit Rahmenvertragspartnern des Unternehmens erstellt.
- 3) Der dritte Auslöser für die Anschaffung eines neuen Geräts wird vom Gerätemanager initiiert. Der Gerätemanager ist zuständig für die reibungslose Nutzung der Geräte, einschließlich der Koordination von Service und Reparaturen, und hat stets einen Überblick über Gerätealter und Betriebsstunden. Sollte ein Gerät seine Lebensdauer erreicht haben oder eine Reparatur wirtschaftlich nicht sinnvoll sein, wird nach Abstimmung mit den operativen Nutzern entschieden, ob ein Ersatzgerät angeschafft werden soll. Ausgemusterte Geräte werden nach

erfolgreicher Eingliederung des Ersatzgeräts durch das sogenannte Ersatzgerät ersetzt, das dann die Stelle der Miete übernimmt.

Es fällt auf, dass trotz der anfänglichen Unterscheidung alle Anfragen nach einer Bedarfsmeldung denselben Prozess durchlaufen. Dieser Prozess umfasst eine gründliche Investitionsplanung durch die zuständigen Abteilungen und erfordert die Zustimmung der Geschäftsführung. Erst nach dieser Zustimmung wird der Fuhrpark modifiziert.

Das Ergebnis der Prozesshebung ist in Abb. 6.2 nach Regeln des BPMN dargestellt. Der Prozess ist in zwei Lanes unterteilt, die die Aufgaben der Verantwortlichen, einerseits der operativen Mitarbeiter (in Blau dargestellt) und andererseits des Gerätemanagements (in Grün dargestellt), zusammenfassen. Der Prozess hat zwei mögliche Startereignisse. Einerseits kann anhand einer Prognose der Auftragseingänge und der darauffolgenden Ressourcenplanung der Prozess von einem operativen Mitarbeiter gestartet werden. Sollte sich herausstellen, dass für die zu erwartenden Aufträge Baugeräte fehlen, wird eine Bedarfsmeldung erstellt – dies entspricht den Auslösern 1 bzw. 2. Eine Bedarfsmeldung wird auch erstellt, wenn ein angemietetes Gerät vorhanden ist und die Mietdauer verlängert werden muss. Handelt es sich bei dem vorhandenen Gerät um ein Eigengerät, kann dieses weiterhin genutzt werden. Die erstellten Bedarfsmeldungen werden dem Gerätemanagement zugestellt. Andererseits kann das Gerätemanagement den Prozess starten, beispielsweise wenn es aufgrund hohen Gerätealters oder hoher Reparaturkosten einen Austauschbedarf erkennt (Auslöser 3). Beide Startereignisse münden in ein gemeinsames inklusives Gateway³. Es kann somit eine Bedarfsmeldung eingehen und der Gerätemanager erkennt einen Austauschbedarf oder nur eines der beiden Ereignisse tritt auf. In jedem Fall folgt eine Abstimmung mit den operativen Mitarbeitenden. Dabei organisiert der zuständige Gerätemanager einen gemeinsamen Termin, bei dem alle Anforderungen besprochen werden. Nach erfolgreichem Gespräch wird der Bedarf in einem dafür vorgesehenen Investment-Tool festgehalten.

Nachdem die Bedarfe im Investment-Tool erfasst werden, wird anhand eingespielter Finanzdaten ein Investitionsbudget erstellt und von der Geschäftsführung freigegeben. Daraufhin ruft die operative Abteilung das Budget für die Anschaffung eines Baugeräts mittels erneuter Anforderung ab. Nach Freigabe durch die Geschäftsführung kann das Mietgerät übernommen und genutzt, oder bei einer Neuanschaffung, das Gerät bestellt werden. Bei der Ankunft des angeschafften Geräts wird es üblicherweise auf den zugehörigen Lagerplatz des Bestellers geliefert. Soll das Gerät jedoch sofort genutzt werden, kann es direkt auf die Baustelle geliefert werden.

³ Ein inklusives Gateway (OR-Gateway) ist ein BPMN-Steuerelement, das einen oder mehrere Pfade gleichzeitig aktivieren kann. Es wird eingesetzt, um flexible Entscheidungen abzubilden, bei denen mehrere Optionen gleichzeitig oder einzeln ausgewählt werden können [48, S. 40 ff].

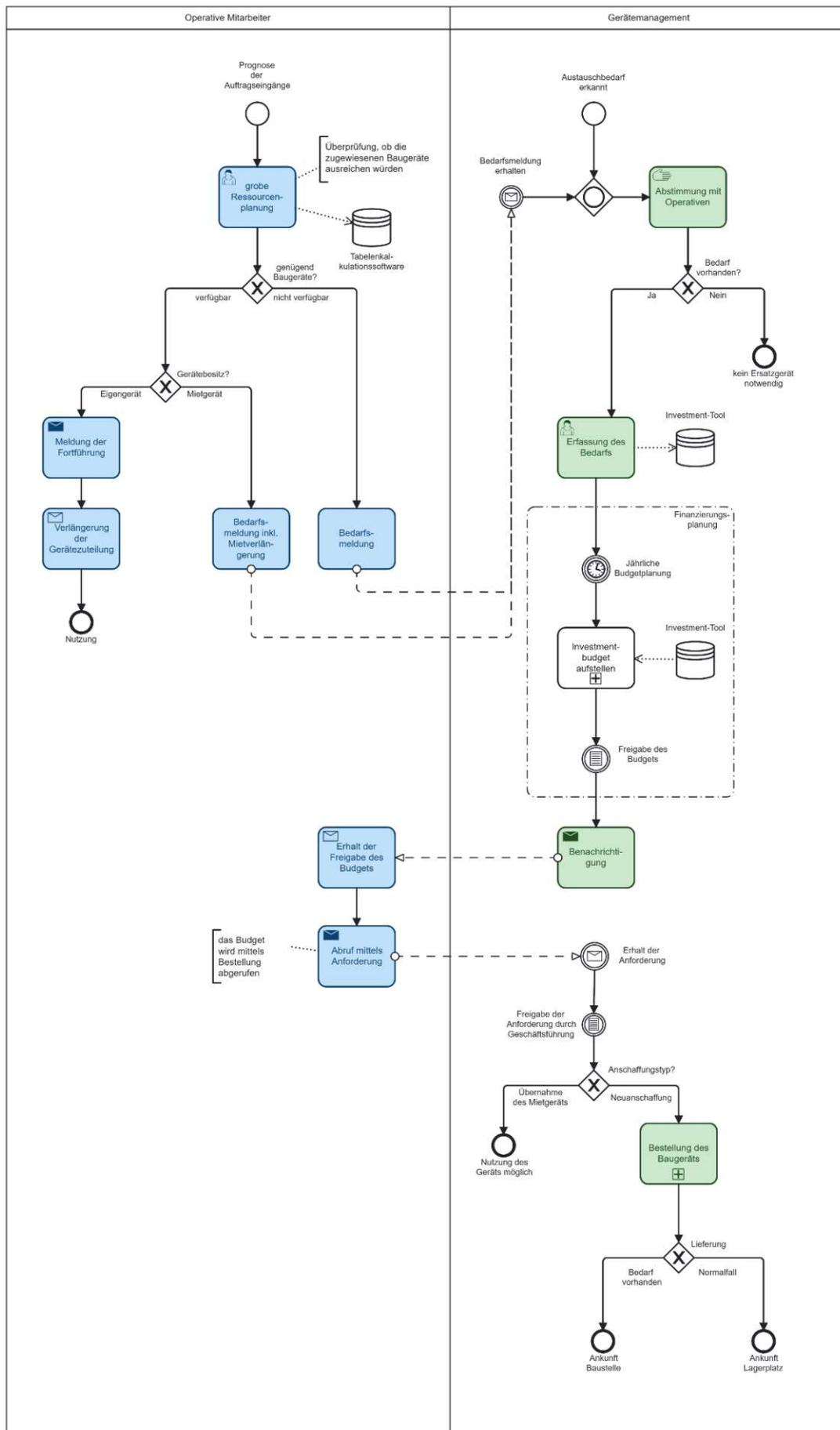


Abb. 6.2: Prozess zur Anpassung des Baugeräte-Fuhrparks durch operative Mitarbeiter (blau) und Gerätemanager (grün)

6.2.2 Prozess der Gerätedisposition

Wie in Kapitel 4.5.1 theoretisch beschrieben, wird auch im untersuchten Unternehmen zwischen zentraler und dezentraler Disposition unterschieden. Die jeweils angewandte Dispositionsstrategie hängt jedoch vom jeweiligen Baugebiet ab.

Abb. 6.3 zeigt beispielhaft die Unterschiede zwischen zwei Baugebieten: Während im Baugebiet 1 die Gerätedisposition zentral durch einen Disponenten erfolgt, ist die Disposition im Baugebiet 2 dezentral organisiert. In diesem Fall übernehmen Bauleiter oder Poliere die Verantwortung für die Disposition der Geräte auf ihren eigenen Baustellen. Häufig sind diesen Personen bestimmte Geräte fix zugeteilt, die ausschließlich ihrem Verantwortungsbereich unterliegen. Diese Geräte werden regelmäßig von einer Baustelle zur nächsten mitgeführt, wobei auch der Transport eigenständig organisiert wird (Anlehnung an dezentrale Pull-Disposition aus Kap 4.5.2). Wird ein zusätzliches Gerät für ein Bauvorhaben benötigt, fehlt in der dezentralen Struktur oft der Überblick darüber, ob ein passendes Gerät innerhalb des eigenen Baugebiets verfügbar ist. In solchen Fällen wird der Gerätemanager kontaktiert, um die Möglichkeiten abzustimmen und zu entscheiden, ob ein Gerät extern angemietet werden soll.

Im Baugebiet mit zentraler Disposition dient der Disponent hingegen als zentrale Anlaufstelle für alle Geräteanforderungen. Er hat einen kontinuierlichen Überblick über mehrere Baustellen und die dort eingesetzten Geräte und kann so gezielt auf Bedarfe reagieren sowie den termingerechten Transport koordinieren.

Da die dispositiven Abläufe zwischen den Baugebieten im Unternehmen nicht einheitlich geregelt sind, ist eine Zusammenarbeit zwischen zentral und dezentral organisierten Bereichen derzeit nicht möglich.

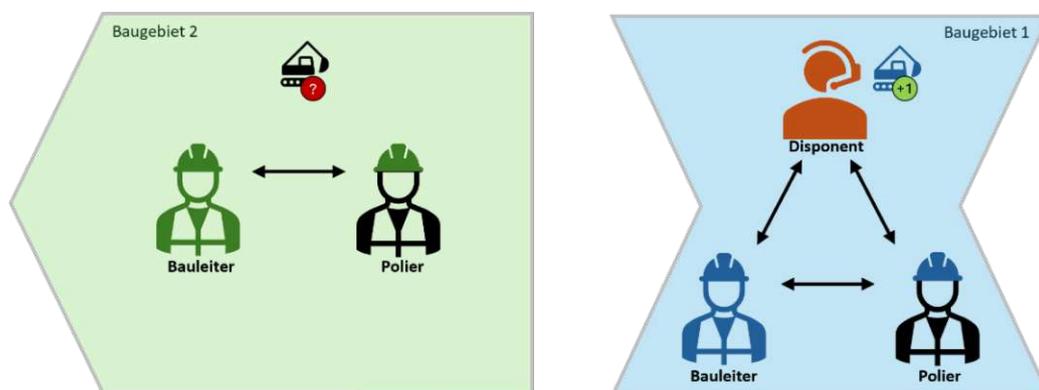


Abb. 6.3: Darstellung unterschiedlicher Dispositionsstrategien im Unternehmen

Zu beachten ist, dass es in den Baugebieten, insbesondere bei dezentral organisierter Disposition, häufig Mischformen und standortspezifische Eigenheiten gibt. Die nachfolgende Prozessdarstellung bezieht sich jedoch ausschließlich auf die zentrale Gerätedisposition im Unternehmen, da dieser Ablauf überwiegend einheitlich strukturiert ist. Der Prozess der Disposition beginnt mit einer detaillierten Ressourcenplanung, bei der der operative Mitarbeiter den Gerätebedarf seiner Baustellen feststellt. Falls ein Gerät benötigt wird, erfolgt die Bestellung⁴ beim Disponenten seines

⁴ Fachlich handelt es sich um eine Geräteanforderung, jedoch wird in dieser Arbeit zur Vereinheitlichung der Begriff „Bestellung“ verwendet

Baugebiets. Dabei ist es entscheidend, den Standort, den Zeitraum sowie die genaue Anwendung des Geräts präzise anzugeben, damit das passende Gerät bereitgestellt werden kann.

Wenn eine Bestellung beim Disponenten eingeht, überprüft dieser zunächst in den selbst geführten Tabellenkalkulationsblättern die Verfügbarkeit der Geräte im Baugebiet. Falls Unstimmigkeiten in den Tabellenkalkulationsblättern festgestellt werden, kann zusätzlich eine Überprüfung der Geräteverfügbarkeit über das ERP-System erfolgen. Wird ein passendes Gerät gefunden, reserviert der Disponent dieses im Tabellenkalkulationsblatt mit Angabe Baustellenbezeichnung und blockt somit den Zeitraum. Zeitnah vor der geplanten Nutzung des Geräts wird der Transport eingeplant. Ist im eigenen Baugebiet kein passendes Gerät verfügbar, wird der nächste Schritt eingeleitet und die Anfrage wird an den zuständigen Gerätemanager des Baugebiets weitergeleitet. Dieser prüft, ob ein Gerät entweder intern von einem anderen Baugebiet ausgeliehen oder bei einem externen Geräteverleiher angemietet werden kann. Für kurzfristige Bedarfe von weniger als einer Woche wird ein externes Gerät angemietet, da die Transportkosten zwischen Baugebieten in diesem Fall zu hoch wären und ein lokaler externer Mieter wirtschaftlich günstiger ist. Wird das Gerät für einen längeren Zeitraum benötigt, wird die Buchungssituation der Geräte in angrenzenden Baugebieten überprüft. Ist ein geeignetes Gerät verfügbar, wird der zuständige Gerätemanager kontaktiert. Wenn keine Nutzung geplant ist, kann das Gerät dem erforderlichen Baugebiet zugewiesen werden. Nach erfolgreicher Bestellung erhält der operative Mitarbeiter eine Bestätigung. Wurde die Anfrage zuvor vom Disponenten weitergeleitet, wird auch dieser über den erfolgreichen Abschluss der Bestellung informiert. Der Disponent trägt das neu zugewiesene Gerät anschließend in sein Tabellenkalkulationsblatt ein und blockt den entsprechenden Zeitraum ein. Nach dem Versand der Bestellbestätigung folgt die Planung des Gerätetransports. Dabei werden die Transportdetails, wie Beladeort, Entladeort, das spezifische Gerät und der Zeitraum in die Tabellenkalkulationssoftware eingetragen. Unmittelbar vor dem geplanten Nutzungsdatum wird der entsprechende Transport koordiniert. Sollte jedoch ein Gerät nur den Standort wechseln müssen, ohne dass die Buchung der Kostenstelle verändert wird, kann der Gerätebestellprozess übersprungen werden. In diesem Fall meldet der operative Mitarbeiter lediglich den erforderlichen Gerätetransport an.

Die beschriebenen Abläufe und Entscheidungen werden mithilfe BPMN modelliert, wie in Abb. 6.5 dargestellt. Der Prozess beginnt im Bereich der operativen Mitarbeitenden (Bauleiter und Poliere, blau dargestellt), wo zunächst im Rahmen der Ressourcenplanung der konkrete Gerätebedarf ermittelt, und die Bestellung vorgenommen wird, bevor diese zur weiteren Bearbeitung an das Gerätemanagement übermittelt wird. In Baugebieten mit eigenem Disponenten (orange dargestellt) erfolgt zunächst die Prüfung der Bestellung und der Verfügbarkeit der angefragten Geräte mithilfe eines laufend überarbeiteten Tabellenkalkulationsblatts, das bei Bedarf durch einen Abgleich mit den ERP-Daten ergänzt wird. Ist ein passendes Gerät für den gewünschten Zeitraum verfügbar, wird es dort als reserviert markiert. Wird kein geeignetes Gerät gefunden, wird die Bestellung an den Gerätemanager des jeweiligen Baugebiets weitergeleitet (grün dargestellt). Der Gerätemanager prüft unter Zuhilfenahme des ERP-Systems, ob in einem benachbarten Baugebiet ein geeignetes Gerät zur Verfügung steht. Nach erfolgreicher Abstimmung und Freigabe erfolgt die Reservierung, und der Gerätemanager oder der Disponent informiert die operativen Mitarbeitenden mittels einer Bestellbestätigung, während der Disponent parallel die Planungsdaten aktualisiert. Führt die Verfügbarkeitsprüfung des Gerätemanagers nicht zu einem positiven

Ergebnis, kommt es im BPMN-Modell zu einem Fehlerereignis. Anschließend entscheidet ein weiteres exklusives Gateway, ob ein Gerät angemietet oder angekauft wird, bevor schließlich eine Buchungsbestätigung versendet wird. Mit der Übermittlung dieser Bestätigung plant der Disponent abschließend den Transport des Geräts, wobei alle erforderlichen Maßnahmen koordiniert werden, um einen rechtzeitigen und sicheren Transport zu gewährleisten und so einen reibungslosen Einsatz auf der Baustelle zu ermöglichen.

6.3 Datenaufbereitung und -reduktion

Nachdem alle relevanten Daten extrahiert wurden, erfolgt ihre Aufbereitung und Analyse mithilfe von Microsoft Excel. Zunächst werden im Zuge der Aufbereitung die Daten einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, um deren Verlässlichkeit und Genauigkeit sicherzustellen. Dabei wird die Boxplot-Methode angewendet, um Ausreißer und ungewöhnliche Werte zu identifizieren und zu überprüfen [44, S. 22 ff]. Die Analyse konzentriert sich dabei auf die durchschnittlichen jährliche Vermietungstage der Baugeräte auf Baustellen laut ERP-System.

Der Boxplot wird für jede im ERP-System erfasste und relevante Gerätegruppe erstellt und nach spezifische Gerätearten unterteilt. Der Boxplot umfasst mehrere Linien, die zu beachten sind: Der Median (50. Perzentil) wird als Linie innerhalb der Box dargestellt, welche gemäß Abb. 6.4 den Interquartilsbereich zwischen dem 1.Quartil ($q_1 = 25.$ Perzentils) und dem 3.Quartil ($q_3 = 75.$ Perzentils) abdeckt. Die T-förmigen Whisker erstrecken sich bis den 1,5-fachen Abstands der Interquartilsbereich vom Median (oder Mittelwert) oder bis zum Maximal- bzw. Minimalwert der Daten. Punkte die außerhalb dieses Bereichs liegen, werden als Ausreißer bezeichnet und dadurch auch nicht in der weiteren statistischen Analyse berücksichtigt werden. [44, S. 22 ff]

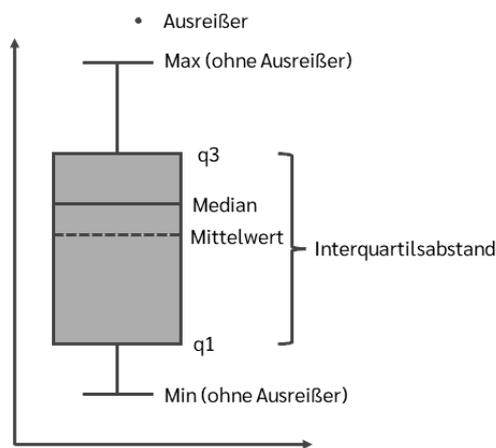


Abb. 6.4: Schematische Darstellung eines Boxplots [45, Abb. 5]

Durch diese Vorgehensweise wird eine präzise Darstellung des mittleren Bereichs (zentralen Tendenz) und der Streuung der Daten gewährleistet, während extrem abweichende Werte, die durch Geräte verursacht werden, die bereits eine hohe jährliche Mietdauer auf den Baustellen, bzw. aufgrund von Neuanschaffungen oder Ausmusterungen eine geringere Mietdauer aufweisen, ausgeschlossen werden.

In den folgenden Abbildungen sind die verschiedenen Gerätearten auf der Y-Achse dargestellt, während auf der X-Achse die Anzahl der Tage pro Jahr abgebildet ist. Der Interquartilsbereich (25.–75. Perzentil) deckt nur einen begrenzten Teil relevanter Geräte ab. Um einen größeren Anteil der Daten einzubeziehen und den Ausschluss von Randbereichen zu minimieren, wird für die weiterführende Analyse daher der Bereich zwischen dem 20. und 80. Perzentil betrachtet. Geräte oberhalb des 80. Perzentils (in den Boxplots durch die gestrichelte Linie P80 gekennzeichnet) weisen eine hohe Vermietung auf. Geräte mit einer geringen Anzahl an Vermietungstagen (unterhalb des 20. Perzentils) stellen hingegen häufig Sonderfälle dar, etwa aufgrund von Neuanschaffungen oder Ausmusterungen (in den Boxplots durch die gestrichelte Linie P20 gekennzeichnet).

Abb. 6.6 stellt die durchschnittlichen jährlichen Vermietungstage auf Baustellen laut ERP-System (gleichbedeutend mit Vorhaltetage) der Gerätegruppe „D.1 - Hydraulikbagger und Zubehör“ gemäß BGL dar. Erkennbar ist, dass die Gerätearten D105⁵ und D103 eine größere Spannweite der Vorhaltetage aufweisen als die Gerätearten D101 und D102. Die Geräteart D102 wurde weiter in ihre Gerätegrößen (Leistung) unterteilt, da es eine besonders große Anzahl an Geräten dieser Art gibt, was genauere Aussagen ermöglicht.

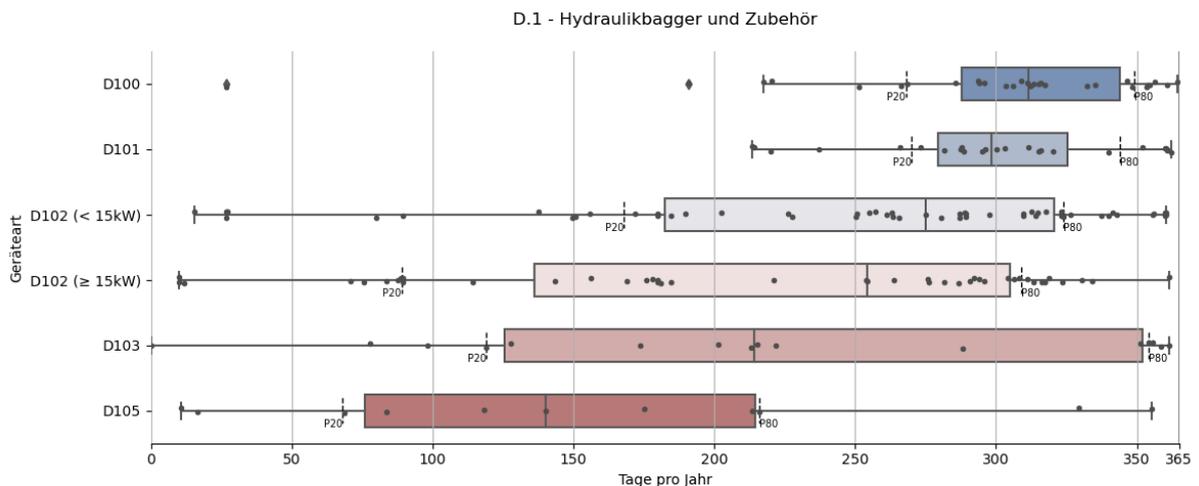


Abb. 6.6: D.1 – Hydraulikbagger und Zubehör: Tage auf Baustellen

In der Gerätegruppe „D.2 - Baggerlader und Zubehör“ existiert nach BGL nur eine Geräteart, die in Abb. 6.7 dargestellt wird. Diese Boxplot Auswertung zeigt die durchschnittlichen jährlichen Vorhaltetage der Geräteart D200. Der Medianwert liegt bei 274 Tagen pro Jahr auf der Baustelle laut ERP-System. Am unteren und oberen Rand des Boxplots finden sich jedoch einzelne Geräte, deren abweichende Vorhaltetage auf Besonderheiten in einzelnen Jahren oder spezifische Einsatzbedingungen hinweisen.

⁵ Im Folgenden wird darauf hingewiesen, dass die Bezeichnungen der Gerätearten (z. B. D100, D101, D102, D103, D105, usw.) ursprünglich aus der BGL-Liste stammen, in welcher sie als D.1.00, D.1.01, D.1.02, D.1.03, D.1.05, usw. aufgeführt sind. Bei den Exporten aus dem ERP-System entfällt allerdings der Punkt, sodass beispielsweise aus D.1.05 die Bezeichnung D105 wird. Die jeweilige Gerätegröße wird zudem über einen Bindestrich an die Gerätebezeichnung angehängt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Einheitlichkeit wird diese vereinfachte Schreibweise (ohne Punkt und mit Bindestrich) für die Auswertung beibehalten.

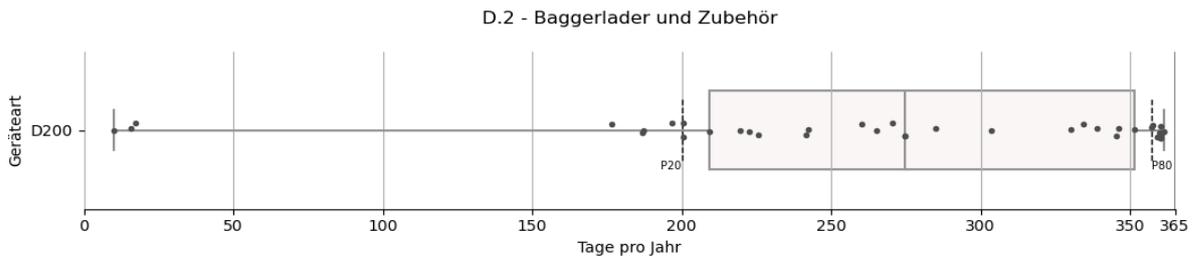


Abb. 6.7: D.2 – Baggerlader und Zubehör: Tage auf Baustellen

Wie bei der Geräteart D102 wird auch die Geräteart D310 in zwei Gerätegrößen unterteilt. Dabei ist in Abb. 6.8 zu erkennen, dass Frontlader mit Reifengestell (D310) bis 55 kW im Vergleich zu den anderen zwei Gerätearten in dieser Gruppe, durchschnittlich mehr Tage auf der Baustelle aufweisen.

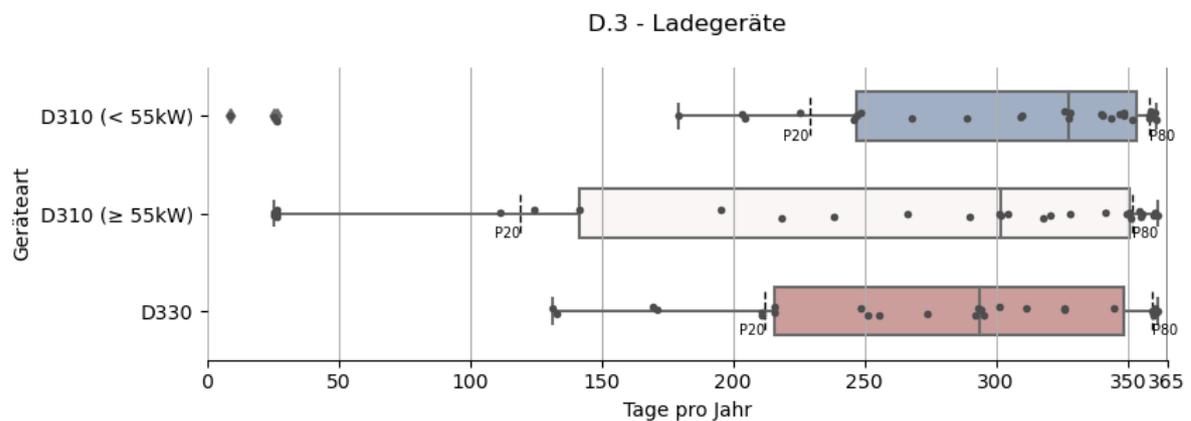


Abb. 6.8: D.3 – Ladegeräte: Tage auf Baustellen

In Abb. 6.9 werden die Vorhaltetage laut ERP-System der Muldenhinterkipper und Vorderkipper (Dumper) der Geräteart D640 in drei verschiedene Leistungsklassen unterteilt: unter 3 t, zwischen 3 t und 6 t, und über 6 t. Die Abbildung zeigt, dass größeren Geräte (über 6 t) eine breitere zeitliche Verteilung der Vorhaltetage aufweisen.

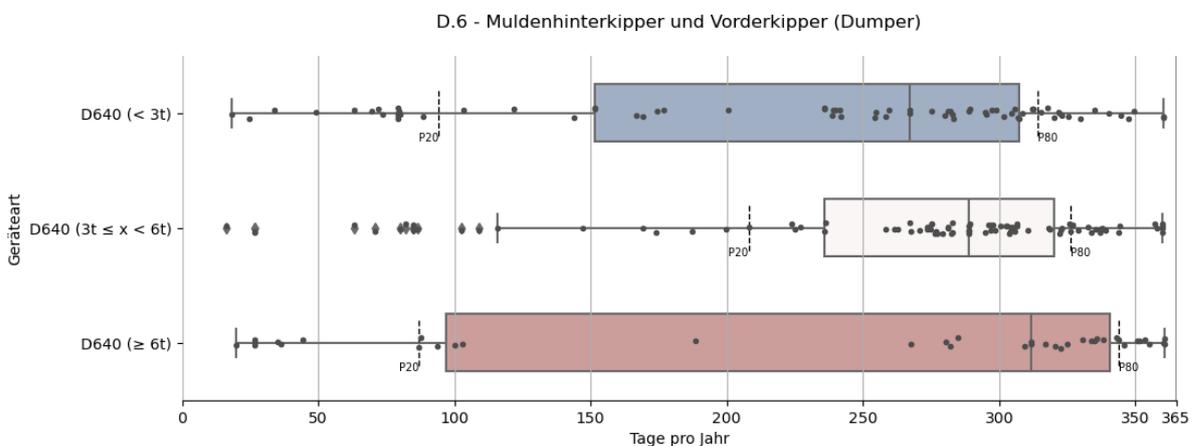


Abb. 6.9: D.6 – Muldenkipper und Vorderkipper (Dumper): Tage auf Baustellen

Die Gruppe der Verdichtungsgeräte weist eine Vielzahl an zugehörigen Geräten auf. Auch hier ist in Abb. 6.10 für die Geräteart D830 zu erkennen, dass die durchschnittlichen Vorhaltetage abhängig von der Leistung variieren können.

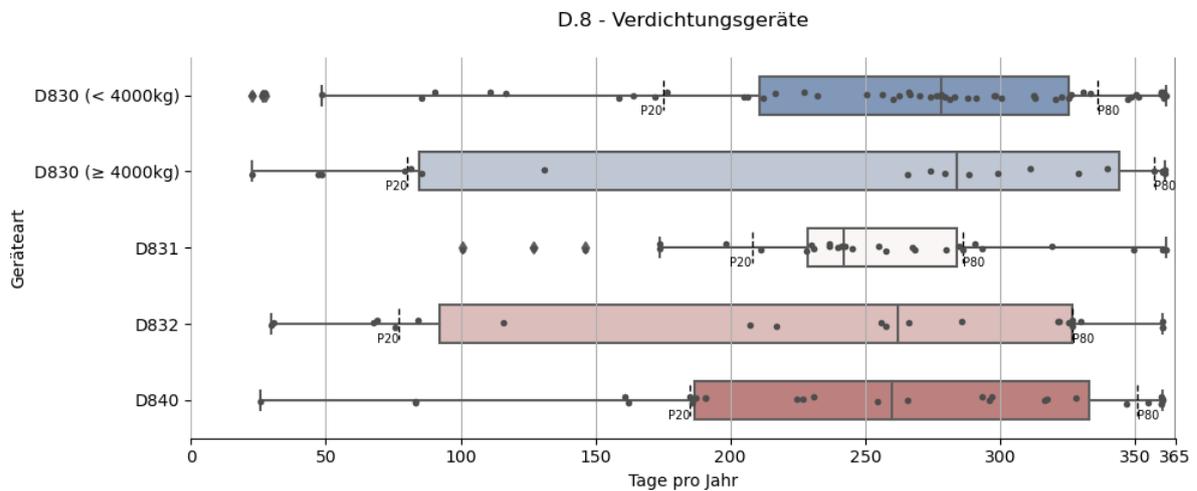


Abb. 6.10: D.8 – Verdichtungsgeräte: Tage auf Baustellen

Bei Betrachtung der Gerätegruppe E3 (Straßenbaugeräte) gemäß BGL ist zu erkennen, dass deutlich weniger Geräte vorhanden sind. Dadurch fällt die Verteilung breiter aus, da die Nutzung dieser Geräte stark schwankt: Einige Maschinen werden regelmäßig eingesetzt, andere bleiben über längere Zeit ungenutzt. Auch der Interquartilsbereich weist im Vergleich zum Großteil der Erdbaugeräte eine größere Spannweite zwischen dem 1. und 3. Quartil auf. In Abb. 6.11 ist zu erkennen, dass die Nutzung der Geräte innerhalb der Gerätegruppe E3 sehr unterschiedlich ausfällt. Es gibt viele Geräte, die nur selten vermietet oder genutzt werden, und einige wenige, die sehr häufig im Einsatz sind. Besonders bei der Geräteart E300 zeigt sich, dass überwiegend Geräte mit niedrigen durchschnittlichen jährlichen Vorhaltetagen vertreten sind.

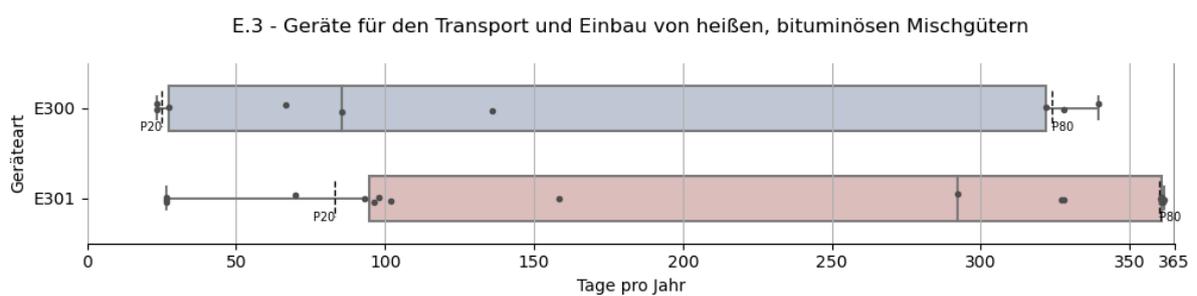


Abb. 6.11: E.3 – Geräte für Transport und Einbau von heißen Mischgütern: Tage auf Baustellen

Die zuvor beschriebene Situation bei der Gerätegruppe E3 lässt sich ebenfalls bei der Gerätegruppe E5 beobachten. In Abb. 6.12 wird deutlich, dass viele Geräte dieser Gruppe nur in geringem Maße genutzt werden, was die große Spannweite sowie die stark variierenden durchschnittlichen jährlichen Vorhaltetage erklärt.

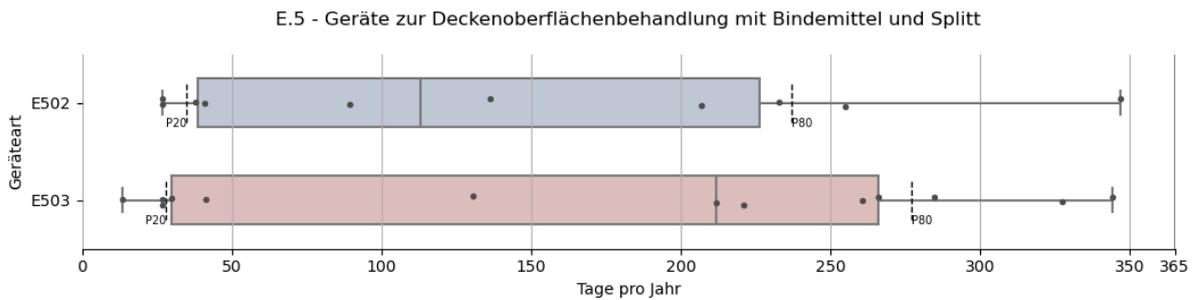


Abb. 6.12: E.5 – Geräte zur Deckenoberflächenbehandlung mit Bindemittel und Splitt: Tage auf Baustellen

Der Boxplot erweist sich somit als geeignete Methode zur übersichtlichen Darstellung der Verteilung der durchschnittlichen jährlichen Vorhaltetage. Durch die zuvor beschriebene Eingrenzung der Daten und den Fokus auf den zentralen Bereich der Nutzung lassen sich gezielt Geräte mit erkennbarem Optimierungspotential identifizieren. Die so definierte, eingeschränkte Geräteanzahl bildet den Ausgangspunkt für die weiteren Auswertungen in den folgenden Kapiteln.

6.4 Gegenüberstellung der gesammelten Daten

Um die Unterschiede in der Auslastung von Baugeräten bestmöglich zu analysieren, werden die Daten in dieser Arbeit nach ihrem Datenmanagementsystem und dem Detailgrad der erfassten Informationen differenziert. In Kapitel 6.1 wurden die verschiedenen Datenmanagementsysteme beschrieben. Diese umfassen die Buchungsdaten aus dem ERP-System, die detaillierten Aufzeichnungen aus den Tabellenblättern der Disponenten sowie die präzisen Telematikdaten der Geräte. Im folgenden Kapitel wird nun detailliert auf diese Daten eingegangen, um deren Bedeutung für die Optimierung der Gerätedisposition zu verdeutlichen und konkrete Optimierungspotentiale zu identifizieren.

6.4.1 Daten aus dem ERP-System

Im ERP-System werden alle Eigengeräte sowie Langzeitmietgeräte des Unternehmens zentral erfasst. Diese zentrale Datenbank dient als Sammelstelle für alle relevanten Informationen zu den Geräten des Unternehmens. Die Verwaltung und Aktualisierung dieser Daten obliegt den Gerätemanagern, die dafür sorgen, dass die Daten, falls nicht automatisiert, stets auf dem neuesten Stand sind. Für jedes Gerät werden sowohl technische als auch kaufmännische Daten erfasst. Zu den technischen Daten gehören unter anderem Gewicht und Leistung der Geräte. Darüber hinaus werden außerdem im ERP-System Daten aus der BGL, die kaufmännisch relevant sind, wie Anschaffungskosten und Abschreibungsdetails, hinterlegt, um eine umfassende wirtschaftliche Bewertung der Geräte zu ermöglichen. Zusätzlich zu den technischen und kaufmännischen Daten werden über eine Schnittstelle auch Telematikdaten, wie Betriebsstunden und Kilometeranzahl der Geräte, gespeichert. Diese Daten werden kontinuierlich aktualisiert, um einen genauen Überblick über die Nutzung der Geräte zu erhalten.

Da es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war, die Daten direkt im ERP-System zu filtern und zu analysieren, wurden die benötigten Informationen mithilfe mehrerer .xlsx-Exporte bereitgestellt. Diese Exporte entsprechen exakt den im ERP-System vorhandenen Originaldaten und

wurden anschließend in ein geeignetes Format überführt. Für die Bearbeitung werden folgende Daten aus dem ERP-System benötigt und aufbereitet:

- 1) Zunächst ist es erforderlich, alle Geräte aus dem ERP-System zu exportieren, um einen Überblick über die im Unternehmen verfügbaren Geräte zu erhalten. Aufgrund der großen Datenmenge ist es notwendig, die Daten nach bestimmten Kriterien zu filtern. Dabei werden die Daten entsprechend den Anforderungen, die zu Beginn von Kapitel 3 definiert wurden, eingegrenzt. Insbesondere werden die Spalten mit der BGL-Bezeichnung, dem Anschaffungswert und der Kennzeichnung, ob die Geräte mit einer Telematikeinheit ausgestattet sind, berücksichtigt. Anschließend erfolgt eine Filterung basierend auf den definierten Eigenschaften, wodurch ausschließlich die relevanten Geräte identifiziert werden können.
- 2) Der zweite Export dient dazu, die Buchungsinformationen der Vermietungen der zuvor eingegrenzten Geräte aus dem ERP-System zu erhalten. Abb. 6.13 zeigt einen Auszug aus dem überarbeiteten ERP-Export. Insbesondere die Equipmentnummer des Geräts, die BGL-Bezeichnung, der Standort sowie das Zugangs- und Abgangsdatum sind für die weitere Auswertung relevant. Anhand der Standortbezeichnung kann unterschieden werden, ob es sich um eine Baustelle oder einen Lagerplatz handelt. Die aus den Daten berechnete durchschnittliche jährliche Vorhaltezeit der Geräte wird anschließend für die im Kapitel 6.3 beschriebene Boxplot-Methode verwendet.
- 3) Der letzte Export aus dem ERP-System umfasst die Telematikdaten der Geräte, deren Bedeutung für die Auswertung in Kapitel 6.4.3 näher beschrieben wird.

Durch die verschiedenen Exporte aus dem ERP-System werden die notwendigen Datengrundlagen geschaffen, um die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Analysen und Auswertungen durchzuführen.

Empfänger	Name des Empfängers	Equipment	Bezeichnung technisches Objekt	Katalognummer	Zugangsdatum	Datum Abgang	Tage
Empfänger 1	Baustelle 1	*****001	VIBROWALZENZUG BW-177BVC-5 BOMAG	D831-0800	15.02.2021	07.04.2021	50
Empfänger 2	Baustelle 2	*****658	RAUPENBAGGER TB235 TAKEUCHI	D102-0022	15.02.2021	08.07.2021	141
Empfänger 3	Baustelle 3	*****300	RAUPENBAGGER R944-C-LITRONIC LIEBHERR	D100-0190	15.02.2021	25.02.2021	10
Empfänger 4	Baustelle 4	*****919	RAUPENBAGGER ECR235EL VOLVO	D100-0129	15.02.2021	08.04.2021	51
Empfänger 5	Baustelle 5	*****428	VORDERKIPPER-4X4 3001 WACKER NEUSON	D640-0030	15.02.2021	11.03.2021	24
Empfänger 6	Baustelle 6	*****730	KOMPAKT LADER-RAUPE TL12V2 TAKEUCHI	D330-0083	15.02.2021	11.05.2021	84
Empfänger 6	Baustelle 6	*****598	RAUPENBAGGER TB230A TAKEUCHI	D102-0018	15.02.2021	07.06.2021	110
Empfänger 7	Lager	*****111	RAUPENBAGGER ECR235EL VOLVO	D100-0129	16.02.2021	22.02.2021	6
Empfänger 7	Lager	*****423	BINDEMITTELSPRITZGERAET VSM-A STI STEYR	E503-0200	16.02.2021	24.02.2021	8
Empfänger 7	Lager	*****648	VORDERKIPPER-4X4 DV-90 WACKER NEUSON	D640-0090	16.02.2021	02.03.2021	14
Empfänger 8	Baustelle 7	*****740	RAUPENBAGGER TB216 TAKEUCHI	D102-0011	16.02.2021	24.03.2021	36
Empfänger 7	Lager	*****445	VIBROGRABENWALZE RT-82SC2 WACKER NEUSON	D840-0150	17.02.2021	02.03.2021	13
Empfänger 7	Lager	*****967	VIBROWALZENZUG BW-213DH-4 BOMAG	D831-1490	17.02.2021	23.02.2021	6
Empfänger 7	Lager	*****968	VIBROWALZENZUG BW-219DH-4 BOMAG	D831-1920	17.02.2021	10.03.2021	21
Empfänger 9	Baustelle 8	*****012	BAGGERLADER 3CX-SM-ECO-EASY JCB	D200-0068	17.02.2021	31.03.2021	41
Empfänger 10	Baustelle 9	*****036	VIBROWALZENZUG BW-213DH-5 BOMAG	D831-1570	17.02.2021	23.09.2021	214
Empfänger 11	Baustelle 10	*****972	VORDERKIPPER-4X4 4001 WACKER NEUSON	D640-0040	17.02.2021	16.03.2021	27
Empfänger 11	Baustelle 10	*****610	VORDERKIPPER-4X4 AKR-550 PAUS	D640-0055	17.02.2021	22.06.2021	123
Empfänger 12	Baustelle 11	*****940	SCHWARZDECKENFERTIGER-LUFT S1303-3I VEOG	E300-0045	18.02.2021	04.03.2021	14
Empfänger 7	Lager	*****969	VORDERKIPPER-4X4 4001 WACKER NEUSON	D640-0040	18.02.2021	01.03.2021	13
Empfänger 7	Lager	*****511	VORDERKIPPER-4X4 1501 WACKER NEUSON	D640-0015	18.02.2021	23.03.2021	33
Empfänger 7	Lager	*****422	BINDEMITTELSPRITZGERAET VSM-A STI STEYR	E503-0200	18.02.2021	24.02.2021	6

Abb. 6.13: Screenshot aufbereiteter Export der Buchungsinformationen der Mieten aus dem ERP-System

6.4.2 Daten aus der Tabellenkalkulationssoftware

Geräte aus dem eigenen Baugebiet werden in der Regel von den operativen Einheiten oder den Disponenten, gegebenenfalls gemeinsam, in Tabellenkalkulationsblättern verwaltet und für die Baustellen disponiert. Diese Listen unterscheiden sich häufig je nach Baugebiet und werden teilweise sogar innerhalb der Bauleitung unterschiedlich geführt. Die Einteilung der Geräte erfolgt häufig in gemeinsamen Bauleitersitzungen, in denen Disponenten und Bauleiter den Einsatz sowie den Transport der Geräte koordinieren. Diese Abstimmungen sind entscheidend, um eine optimale Ressourcennutzung und eine reibungslose Planung sicherzustellen. In Baugebieten ohne Disponenten, wie im Prozess in Kapitel 6.2.2 dargestellt, wird die Gerätekoordination hingegen direkt durch das operative Personal beziehungsweise den zuständigen Gerätemanager durchgeführt.

Der erste Schritt besteht darin, die Tabellenkalkulationstabellen der verschiedenen Baugebiete gründlich zu analysieren und für die Auswertung zu standardisieren. Da jedes Baugebiet über eigene Tabellenkalkulationsblätter verfügt, ist eine Vereinheitlichung erforderlich, um die relevanten Informationen extrahieren zu können. Eine Gemeinsamkeit aller Planungen besteht darin, dass jeder Tag (entspricht einer Zelle im Tabellenkalkulationsblatt), der eine relevante Information enthält, farblich markiert wird. Dadurch können die Daten mithilfe eines Makros in Microsoft Excel gefiltert und in einer zusätzlichen Tabelle zusammengeführt werden. Diese Tabelle umfasst die Bezeichnung der Geräte, die zugehörige Inventarnummer sowie die Buchungsinformationen, bestehend aus der Bezeichnung des Standorts sowie des Zugangs- und Abgangsdatums. Abb. 6.14 und Abb. 6.15 zeigen exemplarisch zwei Tabellenkalkulationsblätter aus unterschiedlichen Baugebieten, die diese Hervorhebungsmethode veranschaulichen. In Abb. 6.14 ist erkennbar, dass die Planung horizontal erfolgt, wobei die einzelnen Tage als Spalten dargestellt sind und die Geräte zeilenweise disponiert werden. In Abb. 6.15 hingegen erfolgen die Einteilung und Planung vertikal, sodass die Tage untereinander angeordnet sind und die Geräte entsprechend den jeweiligen Zeiträumen zugewiesen werden. Diese unterschiedlichen Darstellungsweisen verdeutlichen die Notwendigkeit einer einheitlichen Strukturierung für eine effiziente Auswertung.

Der Prozess der Zusammenführung der Daten ist essenziell, um eine verlässliche Datenbasis zu schaffen. Dabei liegt ein besonderer Fokus darauf, eine klare Unterscheidung zwischen Lager- und Baustellenstandorten zu gewährleisten, da dies für die Analyse und weitere Prozessschritte von zentraler Bedeutung ist. Zusätzlich müssen abweichende Angaben, die in einigen Tabellenkalkulationslisten vermerkt sind, wie beispielsweise "Urlaub" und "Reparatur", in die Auswertung integriert werden. Für die Analyse werden Urlaubstage als Stehzeiten der Geräte klassifiziert, da die Maschinisten, die diese Geräte bedienen, in diesen Zeiträumen nicht einsatzbereit sind. Reparaturtage werden hingegen vereinfacht als Baustellentage klassifiziert, da die Geräte in diesen Zeiträumen weder einsatzbereit waren noch anderweitig genutzt werden konnten.

Ein weiterer entscheidender Schritt ist die Überprüfung der in den Tabellenkalkulationslisten aufgeführten Geräte. Da diese Listen von den Disponenten geführt und regelmäßig aktualisiert werden, sind sie anfällig für Fehler und erfordern eine besonders sorgfältige Pflege. Bei der Überprüfung stellte sich heraus, dass Inventarnummern teilweise nicht korrekt waren. In einigen Fällen werden die Nummern von bereits ausgemusterten Geräten nicht durch die aktuellen Nummern der neuen Geräte ersetzt. Dieser Umstand führt dazu, dass veraltete Informationen in den Listen verbleiben, was die Genauigkeit der Daten und die darauf basierenden Entscheidungen

beeinträchtigen kann. Um diese Fehler zu korrigieren, ist eine umfassende Bereinigung der Listen erforderlich, die sicherstellt, dass nur die tatsächlich verfügbaren Geräte in den Datensätzen berücksichtigt werden. Dieser aufwendige Bereinigungsprozess ist notwendig, um eine solide Grundlage für die weiteren Analysen zu schaffen und sicherzustellen, dass die gewonnenen Erkenntnisse auf verlässlichen Daten basieren.

GERÄTE	MASCINIST	KW: 35							KW: 36							KW: 37							KW: 38						
		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
		30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
GROSSFERTIGER:																													
DYNAPAC SD2500CS *****655	Sch. (Hu.)	Fl. Sch.																											
VÖGELE S1800-3i *****843	Fl. (Fu.)	Fl.		Aufh.	Fl. Fu.																								
VÖGELE S1800-3i *****716	Fu. (Ma.)				Arbeits	Fl.																							
VÖGELE Radfertiger	Amstellen																												
DYNAPAC SD1800W *****890	Radfertiger	Fl.																											
Überregionales Gerät																													
VÖGELE S1900-3i																													
MINIFERTIGER																													
Vögele SB800	HKL K.																												
DYNAPAC F1200CS		Fl.	Fl.																										
DYNAPAC F1200CS		Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.	Sch.		
Stapler - LKW	M																												
WALZEN:																													
BW 120 AC5 (KSG) (Kombi) *****185	Sch.	Fl. Sch.																											
BW 154 AC (Kombi) *****98509	Sch.	Fl. Sch.																											
BW 120 AC5 (KSG) (Kombi) *****911	Fl.	Fl.																											
BW 138 AC-5 (KSG) (Kombi) *****673	Fl.	Fl.																											
BW 120 AC (KSG) (Kombi) *****840	Fu.	Fl. Fu.																											
BW 154 AC (Kombi) *****613	Fu.	Fl. Fu.																											
BW 120 AC (KSG) *****759	Reserve																												
BW 154 APO-4l (Glatt/Glatt) *****685	oszellierend	BL-Wieselburg																											
BW 154 AP (Glatt/Glatt) *****588	W - ****	BL-Wieselburg																											
BW 154 AP (Glatt/Glatt) *****9827	W - ****																												
BW 154 AP (Glatt/Glatt)	Bomag Leihgerät																												

Abb. 6.14: Gerätedisposition mittels Tabellenkalkulationsblatt von Baugebiet 1

Geräteinteilung

6

Walzen

Lohnw.	Datum	W 8	W 2	W 3	W 4	W 5	W 9	W 80			
		Hamm HD 8-VV	Hamm HD 10 C-VV	Hamm							
		A	A	A	A	A	A	A/E			
	Ger.Nr.:	*****202	*****002	*****003	*****506	*****507	*****251	*****480			
	Zustand:	1	2	2	2	2	1	3			
15	MO 12.04.21	Ra. W14	Fl. W10	Rep.	Sö.	Mi.	Ka.	Re. W2			
K	DI 13.04.21										
	MI 14.04.21										
	DO 15.04.21										
	FR 16.04.21										
16	Mo 19.04.21	Ra. W14	Fl. W10	Ra. W14	Sö.	Mi.	Ka.	Re. W2			
L	Di 20.04.21										
	Mi 21.04.21										
	Do 22.04.21										
	Fr 23.04.21										
17	MO 26.04.21	Ra. W14	Fl. W10	Ra. W14	Sö.	Mi.	Ka.	Re. W2			
K	DI 27.04.21										
	MI 28.04.21										
	DO 29.04.21										
	FR 30.04.21										
18	MO 03.05.21	Ra. W14	Fl. W10	Ra. W14	Sö.	Mi.	Ka.	Re. W2			
L	DI 04.05.21										
	MI 05.05.21										

Abb. 6.15: Gerätedisposition mittels Tabellenkalkulationsblatt von Baugebiet 2

6.4.3 Daten aus den Telematikeinheit

Daten wie Betriebsstunden, GNSS-Positionen (Global Navigation Satellite System) und Kilometeranzahlen werden tagesaktuell erfasst und über Telematikeinheiten bereitgestellt. Die Betriebsstunden und zurückgelegten Kilometer werden über den gesamten Tag hinweg gesammelt.

Einmal täglich erfolgt die Übertragung dieser gesammelten Telematikdaten über eine Schnittstelle an das ERP-System. In der ERP-Datenbank werden somit die über den gesamten Tag akkumulierten Betriebsstunden eines Geräts gespeichert. Folglich gibt es an einem bestimmten Tag für ein Gerät keine doppelten Einträge. Diese Informationen werden kontinuierlich im ERP-System gespeichert, um sie für weitere Analysen heranziehen zu können. Um die benötigten Informationen für die Auswertung zu erhalten, wurden die relevanten Daten mittels .xlsx-Exporten aus dem ERP-System extrahiert und aufbereitet. Ein beispielhafter Auszug aus dem Export der Telematikdaten, der für die spätere Bearbeitung verwendet wird, ist in Abb. 6.16 dargestellt.

Equipment	Meßposition	Meßbeleg	Meßpunkt	Wochentag	Frei	Datum	Meßzeitpunkt	Meßw/GesamtSt.	ME Beleg	Differenz	MerkmEinheit	Angelegt am	Uhrzeit	Angelegt von	Text
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7286857	142563	Montag		15.02.2021	23:59:00	1 087,03 std		0,05 std		16.02.2021	04:11:05	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7314807	142563	Dienstag		23.02.2021	23:59:00	1 087,04 std		0,01 std		24.02.2021	04:10:13	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7319431	142563	Mittwoch		24.02.2021	23:59:00	1 087,08 std		0,04 std		25.02.2021	04:07:59	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7346697	142563	Mittwoch		03.03.2021	23:59:00	1 087,36 std		0,28 std		04.03.2021	04:09:55	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7351793	142563	Donnerstag		04.03.2021	23:59:00	1 094,24 std		6,88 std		05.03.2021	04:08:39	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7364074	142563	Montag		08.03.2021	23:59:00	1 098,61 std		4,37 std		09.03.2021	04:13:08	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7369266	142563	Dienstag		09.03.2021	23:59:00	1 103,54 std		4,93 std		10.03.2021	04:10:04	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7402544	142563	Mittwoch		10.03.2021	23:59:00	1 104,42 std		0,88 std		11.03.2021	04:09:11	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7420014	142563	Montag		15.03.2021	23:59:00	1 106,29 std		1,87 std		16.03.2021	04:09:29	*****	
*****531	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7425461	142563	Dienstag		16.03.2021	23:59:00	1 109,23 std		2,94 std		17.03.2021	04:10:00	*****	
*****566	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7615209	175406	Dienstag		09.02.2021	23:59:00	572,73 std		0,02 std		21.04.2021	04:12:57	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7292713	238470	Dienstag		16.02.2021	23:59:00	149,61 std		0,75 std		17.02.2021	04:11:58	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7312295	238470	Donnerstag		18.02.2021	23:59:00	149,81 std		0,20 std		23.02.2021	04:13:05	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7312296	238470	Montag		22.02.2021	23:59:00	150,73 std		0,92 std		23.02.2021	04:13:05	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7316915	238470	Dienstag		23.02.2021	23:59:00	151,87 std		1,14 std		24.02.2021	04:11:42	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7321543	238470	Mittwoch		24.02.2021	23:59:00	153,45 std		1,58 std		25.02.2021	04:09:14	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7326301	238470	Donnerstag		25.02.2021	23:59:00	154,64 std		1,19 std		26.02.2021	04:14:14	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7330722	238470	Freitag		26.02.2021	23:59:00	156,27 std		1,63 std		27.02.2021	04:10:57	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7338986	238470	Montag		01.03.2021	23:59:00	157,92 std		1,65 std		02.03.2021	04:12:33	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7343919	238470	Dienstag		02.03.2021	23:59:00	158,73 std		0,81 std		03.03.2021	04:10:38	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7348979	238470	Mittwoch		03.03.2021	23:59:00	159,13 std		0,40 std		04.03.2021	04:11:49	*****	
*****649	M2M_BETRIEBSSTUNDEN	7354112	238470	Donnerstag		04.03.2021	23:59:00	159,25 std		0,12 std		05.03.2021	04:10:15	*****	

Abb. 6.16: Beispielhafter Auszug aus dem Export der Telematikdaten aus dem ERP-System (Screenshot)

Ein wesentlicher Schritt besteht darin, die Daten so zu bereinigen und zu strukturieren, dass nur die für die Analyse relevanten Informationen verwendet werden. Dabei wird ausschließlich berücksichtigt, ob an einem Tag Betriebsstunden erfasst wurden, unabhängig von deren Umfang. Ein Tag mit sechs Stunden Einsatz wird somit genauso gezählt wie ein Tag, an dem das Gerät nur eine halbe Stunde genutzt wurde. Um die Verteilung der täglichen Betriebsstunden besser zu veranschaulichen, wird sie in verschiedene Zeitintervalle (siehe Abb. 6.17) eingeteilt. Abb. 6.17 zeigt, dass 14,8 % der Tage weniger als 0,25 Betriebsstunden pro Tag aufwiesen. Da aus den Telematikdaten nicht ersichtlich ist, zu welchem Zweck die erfassten Betriebsstunden angefallen sind und auch keine ergänzenden Informationen vorliegen, kann nicht unterschieden werden, ob das Gerät produktiv im Rahmen des Bauvorhabens genutzt wurde oder ob die erfassten Stunden durch unproduktive Vorgänge, wie etwa das Umsetzen des Geräts auf einen Stellplatz, entstanden sind. Aufgrund dieser Einschränkung erfolgt die Bewertung der Gerätenutzung ausschließlich auf Tagesbasis.

Darüber hinaus ist es erforderlich, zwischen Betriebsstunden zu unterscheiden, die auf der Baustelle und im Lager entstanden sind. Hierzu wird ein Abgleich der Telematikdaten mit den ERP-Buchungsdaten durchgeführt, um die jeweiligen Nutzungszeiträume korrekt zuzuordnen. Diese Methode ermöglicht es, die Betriebsstunden mit spezifischen Einsatzorten zu verknüpfen. Es ist jedoch nicht möglich, diese Analyse mithilfe der detaillierteren geführten Tabellenkalkulationslisten durchzuführen, da diese Listen nicht jedes Baugerät enthalten. Dies führt zu einer Einschränkung, die eine einheitliche Auswertung erschwert und den Fokus auf die Telematik- und ERP-Daten als Hauptquellen lenkt.

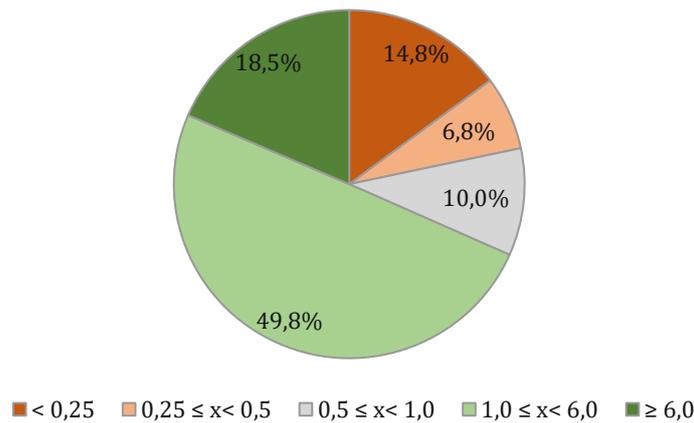


Abb. 6.17: Prozentuale Verteilung der täglichen Betriebsstunden aller Geräte in verschiedenen Zeitintervallen (h/Tag)

6.4.4 Gegenüberstellung

Tab. 6.1 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der Daten aus den verschiedenen Datenmanagementsystemen. Die erste Spalte der Tabelle enthält die Gerätearten, die auch in den Boxplots verwendet wurden, während die zweite Spalte die Anzahl der Geräte je Geräteart angibt. Anschließend werden die durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen aus den jeweiligen Datenmanagementsystemen dargestellt. Die dritte Spalte zeigt die Werte gemäß ERP-System, die vierte Spalte jene aus der Tabellenkalkulationssoftware (TBKS). Ein wichtiger Vergleich erfolgt in der darauffolgenden Spalte, in der der prozentuale Unterschied der Vorhaltetage zwischen TBKS und ERP aufgeführt ist. Danach folgen die durch Telematikeinheit erfassten Einsatztage, gefolgt von einer Spalte, die den prozentualen Unterschied zwischen den Telematikdaten oder den ERP-Daten zeigt. In der Spalte TBKS kann der Wert „NaN“ (Not a Number) erscheinen, was darauf hinweist, dass für das betreffende Gerät in der Tabellenkalkulationssoftware keine Daten erfasst wurden. Dieser Eintrag kennzeichnet fehlende Informationen und dient dazu, die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Nach der Zusammenführung der Daten aus den verschiedenen Tools werden diese vereinheitlicht, um sie miteinander vergleichen zu können. Diese Vereinheitlichung erfolgt auf Basis der durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen: der Vorhaltetage laut ERP-System, der Vorhaltetage laut TBKS (auch als „Dispositionstage“ bezeichnet) und der Einsatztage laut Telematikeinheit. Für den ersten Schritt genügt diese Durchschnittsbildung, da sie ermöglicht, die Optimierungspotentiale besser zu verdeutlichen und darzustellen.

Die Entscheidung, die durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen zu analysieren, basiert darauf, dass Optimierungspotentiale insbesondere in der Anzahl der Tage auf der Baustelle zu finden sind. Ziel der Analyse ist es, diese Potentiale sichtbar zu machen und aufzuzeigen, in welchem Umfang die verplanten Tage von den tatsächlichen Einsatztagen abweichen.

Es ist zu beachten, dass einige Gerätearten nicht in der TBKS erfasst werden. Dies kann verschiedene Gründe haben:

- In bestimmten Baugebieten liegen keine Daten vor, weil historische Listen der TBKS fehlen. In diesen Fällen entsprechen die ERP-Daten den fehlenden TBKS-Listen, da diese regelmäßig anhand der ERP-Buchungen aktualisiert werden.

- Einige Gerätearten werden ausschließlich über das ERP-System disponiert, sodass keine separate Erfassung in TBKS-Listen erfolgt.

Tab. 6.1: Vergleich der durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen für die untersuchten Gerätearten

Geräteart	Geräteanzahl	ERP	TBKS	zu ERP	Telematik	zur Referenz
D100	18	311	200	-36%	146	-53%
D101	14	301	186	-38%	145	-52%
D102 (< 15kW)	33	266	129	-52%	110	-58%
D102 (≥ 15kW)	27	224	165	-26%	89	-60%
D103	9	212	NaN	-	84	-61%
D105	7	145	153	6%	52	-64%
D200	22	277	174	-37%	121	-56%
D310 (< 55kW)	18	315	NaN	-	152	-52%
D310 (≥ 55kW)	17	279	NaN	-	135	-52%
D330	15	283	NaN	-	110	-61%
D640 (< 3t)	43	249	NaN	-	98	-61%
D640 (3t ≤ x < 6t)	55	285	NaN	-	123	-57%
D640 (≥ 6t)	24	265	NaN	-	110	-58%
D830 (< 4.000 kg)	36	275	152	-45%	83	-70%
D830 (≥ 4.000 kg)	11	244	99	-59%	83	-66%
D831	18	249	156	-37%	95	-62%
D832	13	255	88	-65%	82	-68%
D840	18	255	NaN	-	56	-78%
E300	5	128	50	-61%	73	-43%
E301	8	187	53	-72%	110	-41%
E502	6	124	21	-83%	48	-62%
E503	7	166	NaN	-	4	-97%

In Abb. 6.18 wird der Unterschied in der Genauigkeit der Daten verdeutlicht. Mit zunehmendem Detaillierungsgrad der Daten ist ein Rückgang der erfassten Tage der Baugeräte erkennbar. Besonders deutlich wird dies bei den Telematikdaten, die nahezu halb so viele Tage ausweisen wie die ERP-Buchungsdaten. Während die Telematikdaten die tatsächlichen Bewegungen der Geräte erfassen, weisen die weniger detaillierten Buchungsdaten im ERP-System eine deutlich höhere Anzahl an Vorhaltetagen auf. Ein ähnliches Muster zeigt sich beim Vergleich der Tage zwischen der TBKS und dem ERP-System.

Eine genauere Analyse der Tab. 6.1 zeigt auch, dass bestimmte Gerätearten besonders hohe prozentuale Abweichungen zwischen den Telematikdaten und den ERP-Daten aufweisen. Besonders auffällig ist die Geräteart D830 (< 4.000 kg), bei der die Telematikdaten 70 % weniger Tage auf Baustellen ausweisen als die ERP-Daten. Insbesondere bei den Gerätearten D830, D831 und D832 beträgt die Abweichung mehr als 60 %. Ein Vergleich der Telematikdaten mit den Werten aus der TBKS zeigt, dass die Dispositionstage für die Gerätearten D830 (< 4.000 kg) und D831 nahezu doppelt so hoch wie die tatsächlich erfassten Einsatzstage auf der Baustelle gemäß Telematikdaten sind. Dies verdeutlicht, dass trotz einer detaillierteren Erfassung in der TBKS weiterhin eine erhebliche Abweichung zum tatsächlichen Betrieb besteht.

Eine besonders große Differenz zwischen Vorhalte- und Einsatztagen ist bei der Geräteart E503 zu beobachten. Hier beträgt die Differenz 97 %, was entweder auf fehlerhafte oder unvollständige Daten zurückzuführen ist. Falls die erfassten Daten korrekt sind, würde dies auf ein erhebliches

Optimierungspotential für diese Geräteart hindeuten. Da es sich hierbei nur um sieben Geräte handelt, ist dieser Wert für die weitere Auswertung von geringer Relevanz.

Die Analyse zeigt, dass erhebliche Unterschiede in der Genauigkeit der erfassten Daten bestehen. Insbesondere weichen die Einsatztage der Geräte deutlich von der ursprünglichen Planung ab. Diese Abweichungen deuten darauf hin, dass Optimierungspotentiale bestehen könnten, die möglicherweise durch eine Anpassung des Dispositionsprozesses oder den Einsatz eines präziseren Planungstools erschlossen werden können.

6.5 Theoretisches Optimierungspotential der gegenwärtigen Situation

Dieser Abschnitt widmet sich einer detaillierten Analyse der Optimierungspotentiale im bestehenden IST-Prozess. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Identifizierung von Schwachstellen und der Entwicklung möglicher Lösungen, um die Effizienz und Effektivität der Abläufe zu steigern. Besonders im Fokus stehen hierbei digitale Technologien und innovative Ansätze, die sich mit dem aktuellen Stand der Technik realisieren lassen. Ziel ist es, Schwachstellen zu erkennen und durch den Einsatz moderner Tools die Abläufe effizienter und zukunftssicher zu gestalten.

Bereits bei der Erstellung des aktuellen IST-Prozesses wurden mehrere Schwachstellen und Optimierungspotentiale erkannt. Diese betreffen vor allem die Nutzung von Daten, die fehlende zentrale Steuerung sowie die Kommunikation zwischen den Beteiligten. Im Folgenden werden die Schwachstellen sowie deren Auswirkungen näher beschrieben.

1) Dezentrale Datenspeicherung und fehlende Integration

Ein wesentlicher Schwachpunkt liegt in der dezentralen Speicherung der relevanten Daten. Informationen zu Geräten, deren Standorte und Verfügbarkeiten werden an mehreren Orten abgelegt und teilweise in unterschiedlichen Systemen verwaltet. Dies erschwert nicht nur die Transparenz, sondern macht es für die Disponenten nahezu unmöglich, schnell auf vollständige und aktuelle Daten zuzugreifen. Die fehlende zentrale Zusammenführung dieser Daten führt dazu, dass Disponenten oft zeitaufwendig Informationen aus verschiedenen Quellen zusammensuchen müssen. Dabei entsteht ein erhöhtes Risiko für Fehler, insbesondere wenn Aktualisierungen nur in einem System vorgenommen werden, während andere Systeme nicht angepasst werden. Da die Pflege und Synchronisation der Daten in den Tabellenkalkulationsblättern häufig in der Verantwortung der Disponenten liegen, kommt es immer wieder zu Inkonsistenzen. Dies kann zu Fehlentscheidungen aufgrund unvollständiger oder veralteter Informationen führen, die den gesamten Bauablauf negativ beeinflussen. Geräte bleiben möglicherweise ungenutzt, was zu ineffizienten Einsätzen und unnötigen Kosten führt.

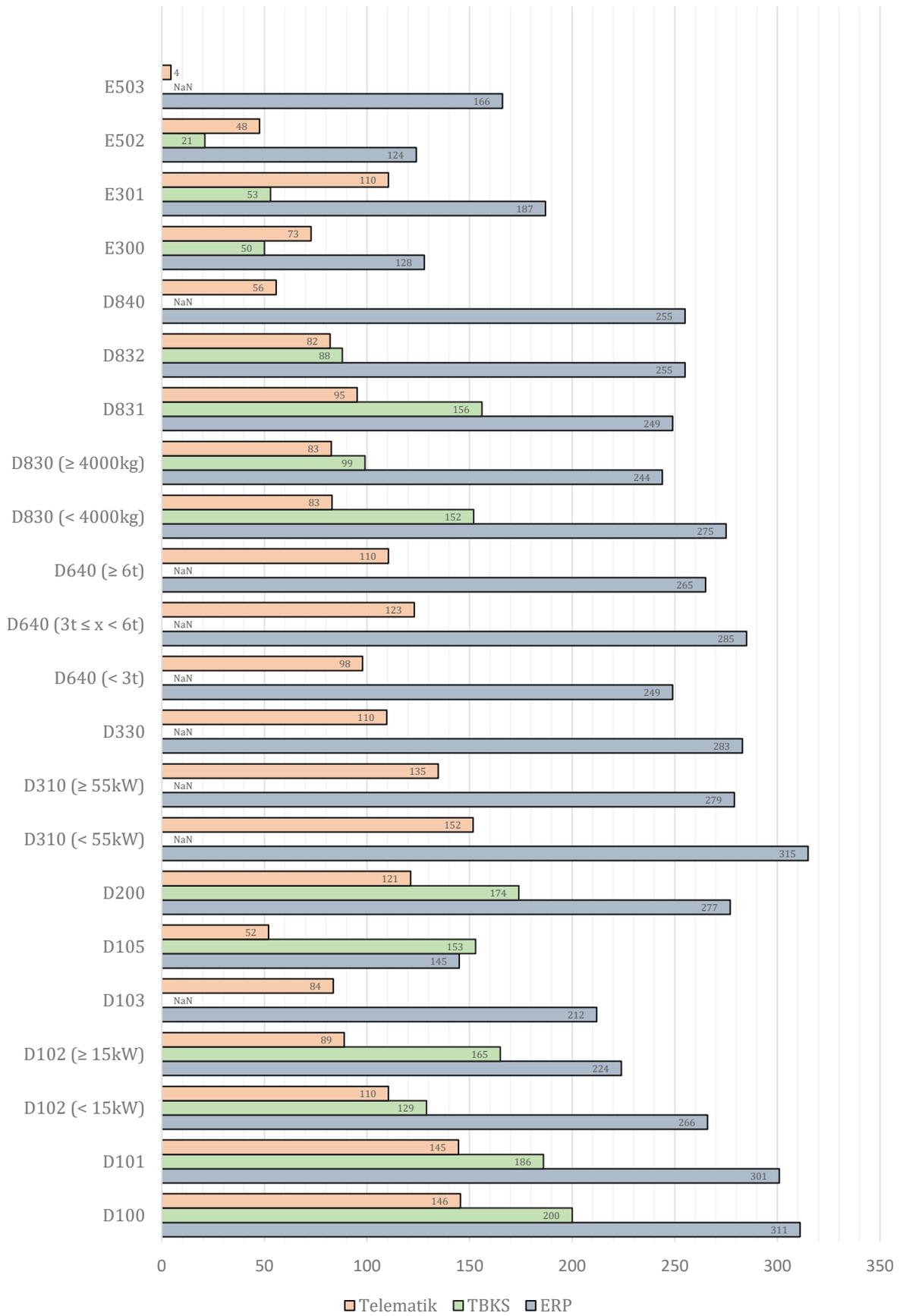


Abb. 6.18: Balkendiagramm der durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen

2) **Unstrukturierte Kommunikation**

Die Kommunikation zwischen Disponenten und dem operativen Personal, sofern es in dem jeweiligen Baugebiet eine separate Dispositionsstelle gibt, erfolgt bisher nur begrenzt und lässt in ihrer Häufigkeit sowie Genauigkeit Raum für Verbesserungen. In vielen Baugebieten wird die Geräteanforderungen oft direkt vom operativen Personal selbst abgewickelt. Im besten Fall wird das Anliegen an einen Gerätemanager weitergegeben. Der Austausch beschränkt sich häufig auf wöchentliche Bauleitersitzungen oder vereinzelte Telefonate, in denen Transporte und Baugeräteanforderungen besprochen werden. Dies reicht jedoch nicht aus, um aktuelle Planungsänderungen, Freimeldungen der Baugeräte oder dringende Anforderungen zeitnah zu berücksichtigen. Ein häufiger und detaillierter Informationsaustausch wäre notwendig, um die Disposition der Baugeräte optimal zu gestalten und schnell auf unerwartete Änderungen reagieren zu können. Die derzeitige Situation führt dazu, dass wichtige Informationen verspätet weitergegeben werden, was die Disponenten daran hindert, proaktiv zu handeln. Stattdessen arbeiten sie oft reaktiv, was die Flexibilität und Effizienz der Gerätedisposition einschränkt. Zusätzlich bleiben durch die seltene und teilweise oberflächliche Kommunikation potentielle Optimierungsmöglichkeiten ungenutzt. Eine intensivere Abstimmung könnte dazu beitragen Stehzeiten der Geräte zu reduzieren und eine gezieltere Planung zu ermöglichen.

3) **Mangelhafte Umsetzung der gebietsübergreifenden Disposition**

Ein weiteres Problem im Dispositionsprozess ist die unzureichende Zusammenarbeit zwischen den Baugebieten. Geräte werden in der Regel ausschließlich innerhalb des eigenen Baugebiets genutzt, und bei Engpässen greifen Disponenten oft auf externe Gerätevermieter zurück, anstatt Geräte aus benachbarten Baugebieten anzufordern. Ein wesentlicher Grund dafür sind die unterschiedlichen Prozesse und Abläufe in den einzelnen Baugebieten, die eine reibungslose Kooperation deutlich erschweren. Häufig ist kein standardisierter Prozess eingeführt, der einen direkten Zugriff auf detaillierte Informationen zu Geräten in anderen Baugebieten ermöglicht. Stattdessen müssen Verantwortliche zeitaufwändig beim jeweiligen Gerätemanager oder beim dortigen Disponenten nachfragen, was den Prozess verlangsamt und die Effizienz mindert. Erschwert wird die Situation zusätzlich, wenn in einem Baugebiet kein Disponent vorhanden ist. In diesem Fall fehlen oft wesentliche Informationen, die eine übergreifende Zusammenarbeit erst ermöglichen würden. Diese eingeschränkte Transparenz führt nicht nur zu erhöhten Stehzeiten und einer geringeren Auslastung der Geräte, sondern erschwert auch die Zusammenarbeit zwischen Baugebieten. Der aktuelle Prozess ist wenig vernetzt und unterstützt die Zusammenarbeit über operative Verwaltungsgrenzen hinweg kaum. Hinzu kommt, dass fehlende standardisierte Abläufe den Austausch zusätzlich erschweren und Verzögerungen begünstigen. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, sollte der Austausch von Geräten zwischen Baugebieten vereinfacht und stärker gefördert werden. Transparente und einheitliche Dispositionsprozesse würden es den Disponenten ermöglichen, auf Ressourcen übergreifend zuzugreifen, ohne aufwändige Rückfragen stellen zu müssen. Dadurch ließe sich nicht nur die Geräteauslastung deutlich verbessern, sondern auch die Zusammenarbeit zwischen den Baugebieten stärken, was langfristig zu einem effizienteren und kostengünstigeren Einsatz der Geräte führt.

4) **Unzureichende Nutzung der Telematik-Daten**

Ein weiteres Problem zeigt sich darin, dass die Daten aus den Telematikeinheiten der Baugeräte zwar im ERP-System vorliegen, jedoch nicht aktiv in die tägliche Geräteplanung einfließen. Informationen wie die aktuellen Geräte-Standorte oder Auslastungsgrade werden nicht systematisch ausgewertet, obwohl sie wichtige Hinweise für eine effizientere Planung liefern könnten. Hinzu kommt, dass häufig eine umfassende Datenanalyse fehlt, um die erfassten Informationen gezielt aufzubereiten und für Entscheidungen nutzbar zu machen. Zudem gestaltet sich der Zugriff auf die vorhandenen Daten oft umständlich und wenig benutzerfreundlich. Entscheidungen zur Geräteplanung basieren daher häufig auf unvollständigen Informationen, was zu einer ineffizienten Nutzung und höheren Stehzeiten führt. Ohne eine klare und übersichtliche Aufbereitung der relevanten Daten fehlt den Verantwortlichen eine verlässliche Entscheidungsgrundlage, die eine zielgerichtete und strukturierte Disposition ermöglichen würde.

5) **Fehlende Struktur und Anbindung der Daten**

Die aktuell in Tabellenkalkulationssoftware gepflegten Informationen sind nicht ausreichend strukturiert, um sie nahtlos in andere Softwarelösungen zu integrieren. Es fehlen standardisierte Datenformate und dadurch Schnittstellen, die eine automatische Auswertung von Buchungsdaten ermöglichen. Stattdessen müssen Daten manuell exportiert und aufwendig aufbereitet werden, was einen erheblichen Zeitaufwand mit sich bringt. Dadurch ist ein konstantes Controlling nicht realisierbar. Analysen und Auswertungen werden nur sporadisch durchgeführt, da die manuelle Verarbeitung zeitintensiv ist. Dies beeinträchtigt nicht nur die Transparenz, sondern auch die Möglichkeit, Prozesse effizient zu steuern. Ohne eine zentrale und automatisierte Lösung fehlt der Überblick über den aktuellen Stand der Geräte, da diese manuell aufbereitet und nur unregelmäßig aktualisiert werden. Die Transparenz leidet, weil relevante Informationen nicht in Echtzeit verfügbar sind und die manuelle Verarbeitung das Risiko erhöht, dass Daten unvollständig, veraltet oder fehlerhaft sind. Die Verarbeitung bezieht sich hierbei auf die automatische Übertragung, Analyse und Darstellung der Daten. Eine Softwarelösung mit klar definierten Schnittstellen könnte die Daten nahtlos aus verschiedenen Quellen zusammenführen, strukturieren und in einer nutzerfreundlichen Form aufbereiten. Dadurch wäre nicht nur der Zeitaufwand für die Datenerfassung geringer, sondern auch die Entscheidungsfindung auf Basis aktueller und konsistenter Informationen erheblich verbessert.

Auf Basis der analysierten Schwachstellen im aktuellen IST-Prozess wird deutlich, dass gezielte Maßnahmen erforderlich sind, um die Effizienz zu steigern und bestehende Herausforderungen zu bewältigen. Dabei zeigt sich, dass insbesondere digitale Lösungen ein großes Potential bieten, um Transparenz zu schaffen, Prozesse zu vereinfachen und die Zusammenarbeit zwischen den Beteiligten zu fördern. Durch den Einsatz moderner Software können nicht nur operative Abläufe verbessert, sondern auch langfristige Optimierungen erreicht werden. Im Folgenden werden konkrete Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt, die darauf abzielen, die identifizierten Schwachstellen nachhaltig zu überbrücken und den Bauablauf effizienter zu gestalten.

1) **Flexible und bedürfnisorientierte Planungssoftware**

Eine zentrale und flexible Planungssoftware ist entscheidend, um eine gemeinsame und effiziente Planung der Baugeräte sicherzustellen. Aktuell führen unterschiedliche Ansätze, wie individuelle Listen, Prozesse und Bestellformulare in den Baugebieten, zu Ineffizienzen und mangelnder Übersicht. Ein Planungstool, das an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst werden kann, fördert die Akzeptanz und sorgt dafür, dass alle Beteiligten gerne damit arbeiten. Durch intuitive Benutzeroberflächen, anpassbare Planungsvorlagen und die Möglichkeit zur gemeinsamen Planung in Echtzeit wird Transparenz geschaffen und die Zusammenarbeit erleichtert. Dadurch kann verhindert werden, dass weiterhin uneinheitliche Listen und Prozesse verwendet werden, die den Überblick erschweren und die Effizienz mindern. So fühlen sich alle Nutzer abgeholt und motiviert, aktiv zur zentralen Planung beizutragen.

2) **Zentrale Datenspeicherung und automatischer Datenaustausch**

Eine zuverlässige zentrale Datenspeicherung und ein automatischer Datenaustausch sind nur mit einem passenden Planungstool für die Geräte-Disposition umsetzbar. Dieses Tool sorgt dafür, dass alle relevanten Daten, wie Stammdaten aus dem ERP-System oder Echtzeit-Telematikdaten der Geräte, automatisch und konsistent synchronisiert werden. Um dies zu ermöglichen, müssen die auszutauschenden Daten in einem einheitlichen Format vorliegen. Dazu ist eine Standardisierung der Daten erforderlich, bei der die Informationen aus dem ERP-System und den Telematikdaten in ein für das Planungstool lesbares Format konvertiert werden. Das Planungstool sorgt dafür, dass die Daten aus den verschiedenen Systemen nahtlos miteinander verbunden und zuverlässig übertragen werden. Es koordiniert also die Kommunikation zwischen den Systemen, sodass die Daten korrekt ausgetauscht und verarbeitet werden können. Durch diese Standardisierung und Automatisierung wird nicht nur die Zusammenführung unterschiedlicher Datenquellen vereinfacht, sondern auch die Transparenz im gesamten Prozess verbessert.

3) **Benutzerfreundliche Datenvisualisierung**

Ein geeignetes Planungstool ist nicht nur entscheidend, um die Daten aus verschiedenen digitalen Quellen zusammenzuführen, sondern auch, um diese in einer benutzerfreundlichen Form darzustellen und ihre Nutzung für fundierte Entscheidungen zu fördern. Die reine Verfügbarkeit von Daten reicht oft nicht aus, vielmehr spielen ihre Aufbereitung und Visualisierung eine zentrale Rolle, um die Entscheidungsfindung effizient zu unterstützen. Dazu sollte das Planungstool Auffälligkeiten wie Abweichungen oder kritische Werte schnell und übersichtlich sichtbar machen. Dies kann durch farbliche Hervorhebungen, Symbole oder Markierungen geschehen, die Trends und Abweichungen im Verhältnis zu vordefinierten Schwellenwerten verdeutlichen. Die Echtzeitdaten der Geräte werden in speziell dafür vorgesehenen Feldern hinterlegt, die sie klar von anderen Informationen abgrenzen. So lassen sich diese Daten gezielt auswerten und für die Auswahl des wirtschaftlich optimalen Geräts nutzen. Ergänzend dazu bietet das Tool interaktive Funktionen wie Filter- und Sortieroptionen, um spezifische Daten auf Knopfdruck anzuzeigen. Durch eine benutzerfreundliche Visualisierung werden Disponenten aktiv dabei unterstützt, schnell und sicher fundierte Entscheidungen zu treffen.

4) Einbindung operativer Mitarbeiter in die Planungssoftware

Eine weitere wichtige Nutzergruppe, die in die Planungssoftware integriert werden könnte, sind die operativen Mitarbeiter. Diese Gruppe spielt eine zentrale Rolle im täglichen Betrieb und könnte durch den direkten Zugriff auf die Software aktiv in die Planung eingebunden werden. Diese operativen Mitarbeiter hätten die Möglichkeit, eigenständig Bedarfe für Baugeräte zu melden und Geräte nach der Nutzung freizugeben. Damit könnten sie direkt an der Verwaltung und Optimierung des Gerätebestands mitwirken. Dies würde nicht nur die Kommunikation zwischen operativen Mitarbeitern und Disponenten verbessern, sondern auch einen Echtzeit-Überblick über die aktuellen Gerätebuchungen schaffen. Die Mitarbeiter könnten beispielsweise sehen, welche Geräte aktuell in ihrem Verantwortungsbereich sind, wie lange die Mietdauer eines Geräts noch läuft und welche Geräte bald zurückgegeben werden müssen. Durch diese Transparenz entsteht ein besseres Zeitgefühl für die Nutzung und Verfügbarkeit der Geräte. Operative Mitarbeiter könnten so frühzeitig auf Änderungen reagieren und diese proaktiv an die Disponenten zurückmelden. Gleichzeitig würde die visuelle Darstellung in der Planungssoftware durch Zeitachsen, Mietdauern oder Statusanzeigen helfen, eine bessere Übersicht zu behalten. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch diese Funktionen ein einheitlicher Prozess für die Bedarfsmeldung, Bestellbestätigung und Freimeldung von Geräten geschaffen wird. Dieser standardisierte Ablauf minimiert Missverständnisse und erleichtert die Nachverfolgung von Prozessen. Die einheitliche Planung ermöglicht zudem eine verbesserte Abstimmung zwischen den Beteiligten. Disponenten, operative Mitarbeiter und weitere Verantwortliche können auf Basis derselben aktuellen Informationen Entscheidungen treffen und gemeinsam planen. Dadurch wird sichergestellt, dass alle Beteiligten auf einem gemeinsamen Nenner sind und effizienter zusammenarbeiten. Diese Integration unterstützt somit nicht nur die Flexibilität und Transparenz, sondern trägt auch zu einer erhöhten Prozessqualität bei.

5) Fehlerfreie Bestellungen durch digitale Formulare

In der aktuellen Praxis erfolgen Bedarfsmeldungen bzw. Gerätebestellungen häufig telefonisch oder per E-Mail. Diese Vorgehensweise birgt mehrere Herausforderungen: Informationen können bei der mündlichen Kommunikation unvollständig oder missverständlich übermittelt werden, was zu Fehlern bei der Bestellung führen kann. Zudem muss der Disponent zwischen verschiedenen Medien wechseln, um die Anfragen zu bearbeiten und die Daten manuell in den aktuellen geführten Disposition-Listen übertragen. Dieser manuelle Prozess ist zeitaufwendig, fehleranfällig und führt zu uneinheitlichen Abläufen. Ein einheitliches Bestellformular innerhalb der Planungssoftware könnte diese Probleme lösen, indem alle relevanten Informationen standardisiert und strukturiert von den Bestellern erfasst werden. Das Formular könnte Pflichtfelder enthalten, die sicherstellen, dass keine wesentlichen Details, wie Gerätetyp, Einsatzort, benötigte Dauer oder spezielle Anforderungen, fehlen. Darüber hinaus ermöglicht die zentrale Eingabe in der Software eine automatische Weiterverarbeitung der Daten, ohne dass Disponenten diese manuell übertragen müssen. Durch die Integration des Formulars in das Planungstool können die Bedarfsanforderungen direkt an den Disponenten übermittelt werden, wodurch der Wechsel zwischen unterschiedlichen Kommunikationskanälen entfällt. Außerdem reduziert der automatisierte Prozess nicht nur

den Zeitaufwand, sondern minimiert auch potentielle Fehler, da die Daten einheitlich und systematisch erfasst werden.

6) **Automatische Benachrichtigungen zur Unterstützung der Freimeldung von Geräten**

Ein weiteres zentrales Verbesserungspotential, das durch eine geeignete Planungssoftware realisiert werden könnte, ist die automatische Benachrichtigung operativer Mitarbeiter, wenn ein Gerät über einen bestimmten Zeitraum ungenutzt bleibt. Diese Funktion ist besonders wichtig, da operative Mitarbeiter im Tagesgeschäft häufig stark ausgelastet sind und möglicherweise nicht bemerken, dass ein Gerät aktuell länger ungenutzt steht. Die Benachrichtigungen sollen dazu beitragen, ungenutzte Ressourcen besser zu identifizieren und die Freimeldung solcher Geräte zu erleichtern, ohne zusätzlichen Aufwand oder Druck zu erzeugen. Die Warnmeldungen könnten automatisch ausgelöst werden, sobald ein festgelegter Zeitraum der Inaktivität überschritten wird. Diese Zeitspanne könnte individuell angepasst werden, um den spezifischen Anforderungen und dem Arbeitsalltag auf der Baustelle zu entsprechen. Die Benachrichtigung kann je nach den Arbeitsgewohnheiten der Mitarbeiter über verschiedene Kanäle erfolgen, etwa als visueller Hinweis in der Planungssoftware, per E-Mail mit detaillierten Informationen oder durch eine Textnachricht für Mitarbeiter, die selten digital arbeiten. Es ist wichtig, dass diese Benachrichtigungen nicht als zwingende Aufforderung zur sofortigen Freimeldung des Geräts verstanden werden, sondern vielmehr als eine freundliche Erinnerung dienen. Ziel ist es, den operativen Mitarbeitern eine einfache Möglichkeit zu geben, durch eine kurze Rückmeldung den Status des Geräts zu aktualisieren. Diese Funktion würde die Kommunikation zwischen den operativen Mitarbeitern und den Disponenten stärken. Sobald ein Gerät freigemeldet wird, könnte es an einem anderen Einsatzort geplant werden, wodurch eine effizientere Nutzung der Baugeräte ermöglicht wird. Zusammengefasst stellt diese Funktion sicher, dass ungenutzte Geräte schneller erkannt und ihre Verfügbarkeit besser genutzt wird ohne zusätzlichen Druck auf die operativen Mitarbeiter auszuüben, sondern durch einen praktischen und unterstützenden Ansatz.

7) **Automatische Warnmeldungen bei Geräteinaktivität**

Die Unterstützung der Freimeldung der Baugeräte kann nicht nur auf die operativen Mitarbeiter beschränkt bleiben, sondern auch die Disponenten einbeziehen. Die Planungssoftware könnte so gestaltet werden, dass auch Disponenten nach einem bestimmten Zeitraum der Nichtnutzung eines Geräts automatisch eine Benachrichtigung erhalten. Diese Benachrichtigung könnte beispielsweise in Form eines visuellen Hinweises oder einer Meldung innerhalb der Software erfolgen, kombiniert mit einer Kennzeichnung des betroffenen Geräts. Eine solche Funktion würde den Disponenten darauf aufmerksam machen, dass ein Gerät ungenutzt wird. Dadurch wird der Disponent proaktiv dazu angeregt, die Situation zu prüfen und sich bei den zuständigen operativen Mitarbeitern über den Status des Geräts zu erkundigen. Diese direkte Kommunikation könnte helfen, mögliche Missverständnisse oder Verzögerungen zu klären und frühzeitig Maßnahmen für eine effizientere Nutzung des Geräts einzuleiten.

8) **Effiziente Kommunikation**

Aktuell erfolgt die Kommunikation zwischen den Beteiligten häufig uneinheitlich. Während einige telefonisch kommunizieren, nutzen andere E-Mails oder andere Medien. Diese Vielfalt erschwert nicht nur die Abstimmung, sondern führt auch zu Unklarheit und

Fehleranfälligkeit, da Informationen verloren gehen oder unvollständig weitergegeben werden können. Eine standardisierte Kommunikation, die durch die digitale Anpassung der Prozesse ermöglicht wird, schafft Klarheit, Effizienz und eine gemeinsame Grundlage, die alle Beteiligten nutzen können. Gleichzeitig ermöglicht sie die Nutzung weiterer digitaler Lösungen, indem die erfassten Daten strukturiert verfügbar gemacht werden. Die Einführung standardisierter Kommunikationsprozesse, beispielsweise durch einheitliche digitale Bedarfs- und Freimeldungen, Bestellbestätigungen und Statusberichte, sorgt für klare und nachvollziehbare Abläufe. Alle relevanten Informationen werden in der Planungssoftware erfasst und können zentral abgegriffen werden. Dadurch wird sichergestellt, dass Disponenten, Geräteverantwortliche und operative Mitarbeiter mit denselben aktuellen Daten arbeiten. Zusätzlich können diese Daten für weiterführende Analysen genutzt werden. Beispielsweise könnten die standardisierten Daten in Controlling-Reports einfließen, um zukünftige Bedarfe präziser zu planen und die Grundlagen für die Anschaffung neuer Geräte zu schaffen. Workflows können hinterlegt werden, um automatisch Bestellungen an Geräteverleiher oder Transportmeldungen per Mausklick an die zuständigen Personen zu senden. Standardisierte Kommunikation fördert nicht nur Effizienz, sondern bildet auch die Grundlage für den Einsatz moderner digitaler Lösungen. Vereinheitlichte Abläufe sorgen für eine nahtlose Datenerfassung, die sowohl den aktuellen Betrieb optimiert als auch langfristige Verbesserungen ermöglicht. Durch die Integration automatisierter Workflows wird zudem die Kommunikation beschleunigt und einfacher gestaltet.

Die Analyse des IST-Prozesses hat deutlich gezeigt, dass in mehreren Bereichen Optimierungspotentiale bestehen, insbesondere in der Datennutzung, der zentralen Steuerung und der Kommunikation zwischen den Beteiligten. Alle identifizierten Schwachstellen im Prozess beeinträchtigen die Effizienz und Effektivität der Abläufe und erfordern gezielte Maßnahmen, die in Form der vorliegenden Verbesserungsvorschläge konkretisiert werden. Jeder dieser Vorschläge kann einer oder mehreren Schwachstellen zugeordnet werden. Diese Zuordnung wird in Tab. 6.2 dargestellt und zeigt auf, welche Schwachstellen mit welcher Lösung behoben werden.

Die vorgestellten Verbesserungsmöglichkeiten bieten Ansätze, um die identifizierten Herausforderungen zu überwinden. Durch standardisierte Prozesse, den Einsatz moderner Planungssoftware und die Einführung automatisierter Workflows können Transparenz geschaffen, Fehler reduziert und die Zusammenarbeit erleichtert werden. Diese Maßnahmen schaffen nicht nur kurzfristige Verbesserungen, sondern tragen auch dazu bei, die Abläufe zukunftssicher zu gestalten.

Tab. 6.2: Zuordnung der Verbesserungsvorschläge zu den Schwachstellen

Schwachstelle	Verbesserungsvorschlag
1) Dezentrale Datenspeicherung und fehlende Integration	2) Zentrale Datenspeicherung und automatischer Datenaustausch 3) Benutzerfreundliche Datenvisualisierung 5) Fehlerfreie Bestellungen durch digitale Formulare
2) Unstrukturierte Kommunikation	1) Flexible und bedürfnisorientierte Planungsmöglichkeiten 4) Einbindung operativer Mitarbeiter in die Planungssoftware 5) Fehlerfreie Bestellungen durch digitale Formulare 6) Automatische Benachrichtigungen zur Unterstützung der Freimeldung von Geräten 7) Automatische Warnmeldungen bei Geräteinaktivität 8) Effiziente Kommunikation
3) Mangelhafte Umsetzung der gebietsübergreifenden Disposition	1) Flexible und bedürfnisorientierte Planungsmöglichkeiten 2) Zentrale Datenspeicherung und automatischer Datenaustausch 3) Benutzerfreundliche Datenvisualisierung 8) Effiziente Kommunikation
4) Unzureichende Nutzung der Telematikdaten	2) Zentrale Datenspeicherung und automatischer Datenaustausch 3) Benutzerfreundliche Datenvisualisierung
5) Fehlende Struktur und Anbindung der Daten	2) Zentrale Datenspeicherung und automatischer Datenaustausch 5) Fehlerfreie Bestellungen durch digitale Formulare

6.6 Umsetzung der Optimierungspotentiale im IST-Prozess

In diesem Kapitel wird erläutert, wie der bestehende IST-Prozess durch die zuvor identifizierten Optimierungspotentiale angepasst werden kann. Ziel ist es, Schwachstellen gezielt durch den Einsatz digitaler Tools und durch eine Optimierung der Abläufe zu beheben. Zu diesem Zweck wurde ein neuer Prozess der Disposition der Baugeräte entwickelt, der den bestehenden Prozessablauf neu strukturiert und an das im Unternehmen genutzte Planungstool anpasst. Dabei berücksichtigt der Prozess sowohl die aktuellen Funktionalitäten als auch potentielle zukünftige Erweiterungen, die aktuell zwar noch nicht umgesetzt sind, jedoch realisierbar sind. Durch diese Anpassungen entsteht ein optimierter Ablauf, der im Folgenden als IDEAL-Prozess bezeichnet wird. Dieser orientiert sich an den zuvor definierten Zielen und deckt sowohl die bestehenden Anforderungen als auch mögliche zukünftige Entwicklungen ab.

Abb. 6.21 präsentiert ein Prozessmodell, das einen idealen Ablauf der zentralen Gerätedisposition darstellt und im Folgenden detailliert beschrieben wird. Wie der im Kapitel 6.2.2 beschriebene IST-Prozess, basiert auch der optimierte Prozess auf einer zentralen Disposition. Im Unterschied zur aktuellen Situation (siehe Abb. 6.3) wird jedoch der Ansatz verfolgt, eine einheitlich organisierte zentrale Disposition für alle betrachteten Baugebiete umzusetzen. Abb. 6.19 zeigt zwei mögliche Varianten der Umsetzung: Die erste Möglichkeit besteht darin, jedem Baugebiet einen eigenen Disponenten zuzuordnen. Dadurch kann die Zusammenarbeit innerhalb des Baugebiets verbessert werden. Die zweite Option sieht eine zentrale Dispositionsstelle für zwei oder mehrere Baugebiete vor. Zu beachten ist jedoch, dass durch die Zusammenlegung ein höherer Arbeitsaufwand entstehen kann. In solchen Fällen könnte die zentrale Stelle von mehreren Disponenten gemeinsam betreut oder auf Baugebiete mit vergleichsweise geringem Transport- und Projektaufwand beschränkt werden.

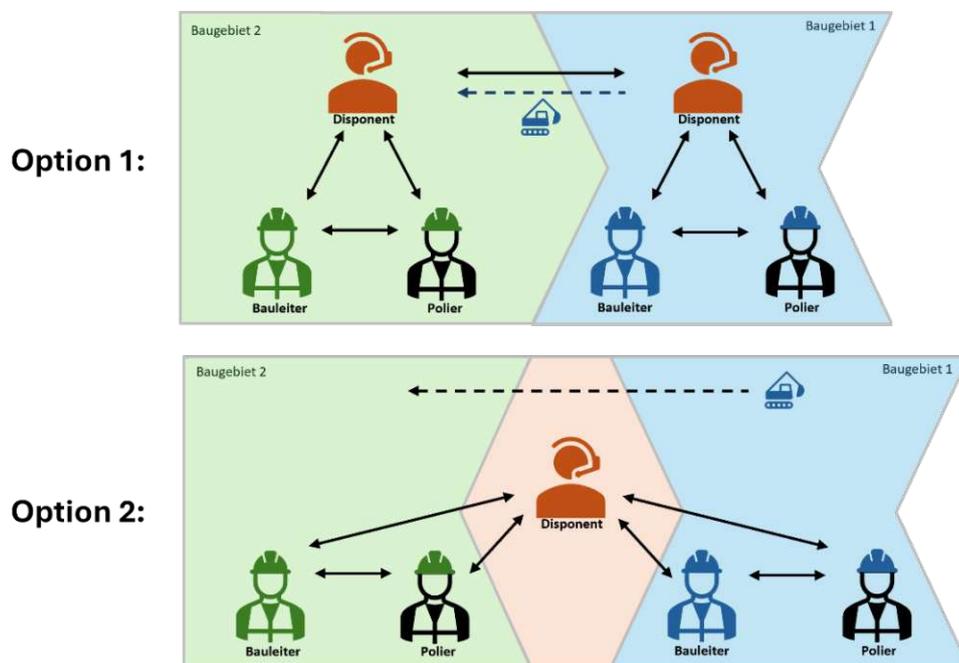


Abb. 6.19: Varianten zur Umsetzung einer einheitlichen zentralen Disposition in Baugebieten

Der IDEAL-Prozess ist in zwei Lanes unterteilt, welche die Aufgaben der operativen Mitarbeitenden (blau dargestellt), des Gerätemanagements (grün dargestellt) und des Disponenten (orange dargestellt) voneinander abgrenzen. Aufgaben, die automatisch durch ein digitales Tool ausgeführt werden, sind in Violett dargestellt. Die nachfolgenden Abbildungen veranschaulichen den beschriebenen IDEAL-Prozess und dienen der detaillierten Darstellung seiner einzelnen Prozessschritte. Zu Beginn einer geplanten Gerätebestellung erfolgt, analog zum bestehenden IST-Prozessablauf, eine Ressourcenplanung. Im Rahmen dieser Planung ermittelt der operative Mitarbeiter den Bedarf an Geräten, die für die weitere Ausführung des Bauprojekts notwendig sind. Hierzu verwendet er ein Planungstool, das so konfiguriert ist, dass die Eingabe und Planung einfach sowie effizient erfolgen. Beim Einstieg in das Tool gelangt der Benutzer zu einem Balkenplan, der die zeitliche Abfolge der Planung visualisiert (siehe Abb. 6.20). Alle aktuell laufenden Projekte des Benutzers werden dargestellt, sodass er durch einen einfachen Klick in die Planung einen Gerätebedarf generieren kann. Durch die Auswahl der betreffenden Tage öffnet sich ein Pop-Up

Fenster, in dem der Gerätebedarf eingegeben und somit die erforderlichen Informationen für die Gerätebestellung erfasst werden.

Polier/Baustellenname	Kostenstelle	Woche 9 - 24 Februar 2025							Woche 10 - 03 März 2025						
		Mo. 24	Di. 25	Mi. 26	Do. 27	Fr. 28	Sa. 1	So. 2	Mo. 3	Di. 4	Mi. 5	Do. 6	Fr. 7	Sa. 8	
1 Testbaustelle 1	Z999999999	Bauzeit 07.01.2025 - 19.03.2025													
		Vorderkipper > 4 to Nutzlast													
		BOMAG BW-120AD-4 Tandem-Vibrationswalze (glatt-glatt) > 2,5-4 to													
2 Testbaustelle 2	Z999999999	Bauzeit 30.01.2025 - 10.04.2025													
		BOMAG BW-120AD-4 Tandem-Vibrationswalze (glatt-glatt) > 2,5-4 to													
3 Testbaustelle 3	Z999999999								Bauzeit 03.03.2025 - 14.05.2025						
									Kettenbagger > 4-8 to						

Abb. 6.20: Darstellung einer möglichen Planungsansicht für den operativen Mitarbeiter

Abb. 6.22 veranschaulicht einen Vorschlag einer derartigen Eingabemaske. Es erweist sich als wesentlich, den Aufbau einfach und intuitiv zu gestalten und zugleich alle relevanten Informationen für einen reibungslosen Prozessablauf zu integrieren. Abhängig von der erforderlichen und ausgewählten Geräteart passen sich die Optionen für Zusatzgeräte und zusätzliche Ausrüstungen an. Zudem erfolgt die Angabe des Entladeorts sowie gegebenenfalls des Beladeorts, sofern das Gerät lediglich umdisponiert wird und beim gleichen Besteller verbleibt. Die Auswahl der Baustelle erfolgt aus einer hinterlegten Liste, wobei auch die zuständigen operativen Mitarbeiter angezeigt werden. Ändert sich während der Bearbeitung der Bestellung oder während der Nutzung der Bestellstatus, besteht am unteren Ende der Maske die Möglichkeit, die entsprechenden Informationen an den zuständigen Mitarbeiter zu übermitteln.

Sind alle Pflichtfelder wie der bestellte Standort und die Geräteart ausgefüllt, speichert das System den Bedarf. Das Programm verarbeitet diesen und leitet ihn als Bestellung an den Disponenten weiter. Der Disponent wird entweder über das Planungstool oder per E-Mail benachrichtigt, sodass er erfährt, dass eine neue Bestellung eingegangen ist. Die Bestellung wird vom Disponenten im gleichen Planungstool wie der operative Mitarbeiter bearbeitet, der ein an seine Arbeitsweise angepasstes Ansichtsfenster nutzt, um schnell und präzise zu planen. Die Bestellung wird entweder als Liste angezeigt oder in einem Balkenplan grafisch dargestellt. Durch einen Doppelklick öffnet der Disponent die Bestellung und greift auf die gleiche Eingabemaske zu, wobei die mitgegebenen Anforderungen einsehbar sind. Der erste Abschnitt der Bestellmaske, wie in Abb. 6.22 dargestellt, wird vom Disponenten ausgefüllt. Um eines entsprechenden Geräts zuzuordnen, wird eines aus der Liste der möglichen und vorgeschlagenen Geräte ausgewählt. Das Planungstool schlägt dem Disponenten, wie in Abb. 6.23 wiedergegeben, auf Basis entsprechender Faktoren Geräte vor, um eine optimierte Disposition zu ermöglichen. Dabei werden Informationen zur aktuellen technischen Auslastung, zur Anzahl der Tage, seit denen das Gerät inaktiv ist, zum aktuellen Standort des Geräts und zur Entfernung zum bestellten Standort dargelegt. Diese Informationen sollen die Entscheidung erleichtern, welches Gerät eingesetzt wird.

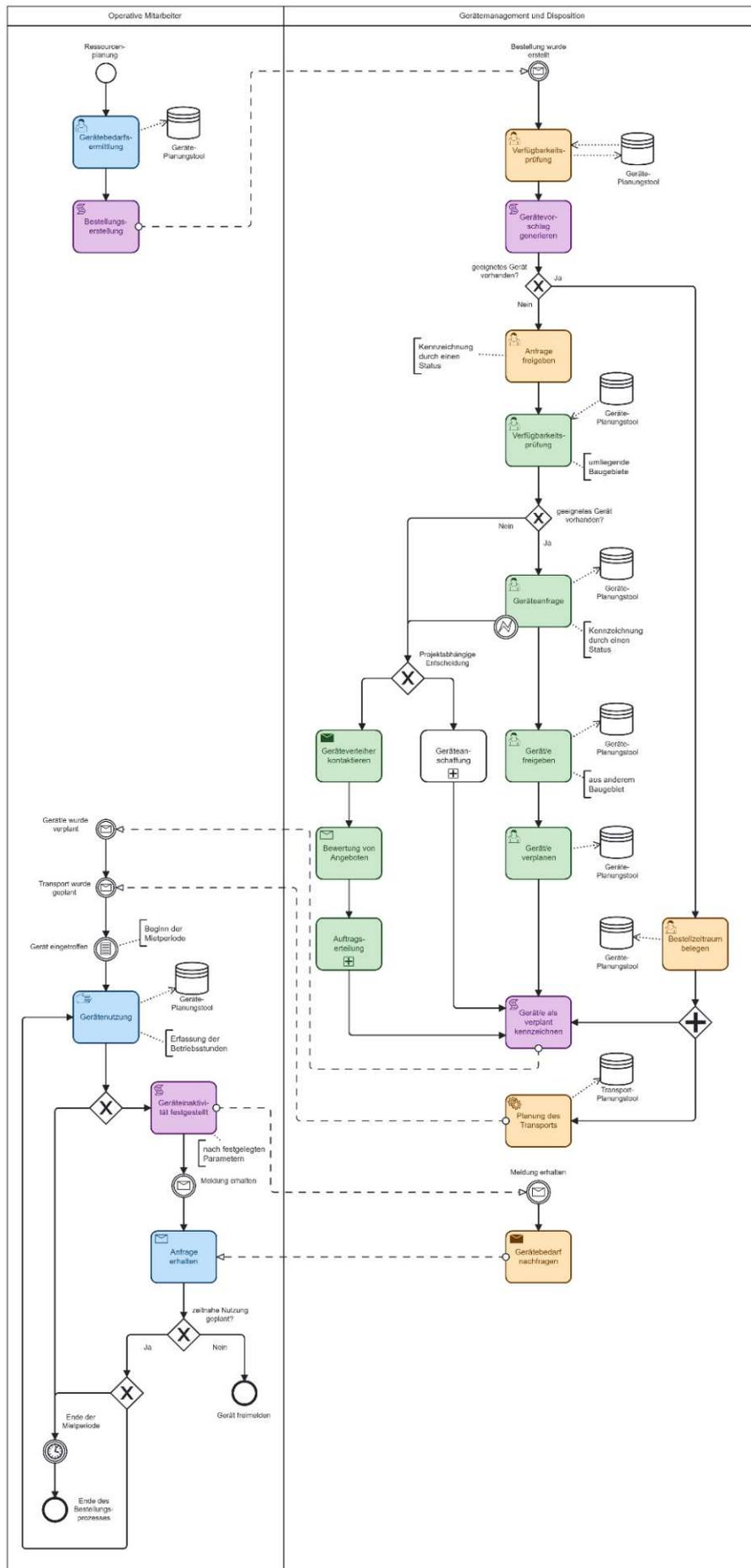


Abb. 6.21: Prozessmodell eines möglichen IDEAL-Prozesses

Abb. 6.22: beispielhafte Darstellungsform für eine Geräteanforderung

Ist ein geeignetes Gerät vorhanden, erfolgt dessen Auswahl und Zuordnung zur entsprechenden Baustelle. Anschließend informiert eine automatische Benachrichtigung den Besteller darüber, welches Gerät für den festgelegten Zeitraum zugeteilt wird. Falls kein Gerät verfügbar ist, leitet das System die Anfrage an den Gerätemanager weiter, indem für die Bestellung ein entsprechender Status gesetzt wird.

Gerätename	Auslastung	inaktiv seit	aktueller Standort	Entfernung zum bestellten Standort
BOMAG BW-120AD-4	65%	8d	Lagerplatz	45,29km
BOMAG BW-120AD-4	34%	4d	Baustelle	85,29km
BOMAG BW-120AD-4	85%	1d	Baustelle	185,29km
BOMAG BW-120AD-4	63%	2d	Baustelle	18,29km
BOMAG BW-120AD-4	48%	2d	Lagerplatz	45,29km

Abb. 6.23: Screenshot eines Gerätevorschlags im Geräte-Planungstool

Der Gerätemanager arbeitet im gleichen Planungstool. Der Prozess des Gerätemanagers entspricht dem IST-Prozess, wobei die Abwicklung nicht mehr über das ERP-System, sondern über

das Geräte-Planungstool erfolgt. Dadurch wird gewährleistet, dass alle Beteiligten über dieselben Daten und Informationen verfügen und von einer einheitlichen Grundlage ausgehen. Ein wesentlicher Vorteil besteht darin, dass alle Zuständigen über ein gemeinsames Tool arbeiten, wodurch die Kommunikationswege kurz gehalten werden. Eine Kommunikation über zusätzliche Kommunikationskanäle (z. B. Telefon oder E-Mail) erfolgt nur in dringenden Fällen, da alle Beteiligten jederzeit den aktuellen Planungsstand einsehen können. Wird ein passendes Gerät gefunden, setzt der Gerätemanager im entsprechenden Prozesspfad den Bestellstatus auf verplant, sodass sowohl der operative Mitarbeiter als auch der Disponent darüber informiert werden, dass ein passendes Gerät zugeteilt wurde. Durch diese Kennzeichnung kann der Disponent den Transport des Geräts planen. Der Transport wird anschließend durch eine spezialisierte Software, die ausschließlich für den Transport zuständig ist, verplant. Alle notwendigen Daten werden mit dem Setzen des entsprechenden Status automatisch an das Transport-Planungstool übermittelt. Wird der Transport des Geräts erfolgreich geplant, erfolgt wieder eine Statusübermittlung an das Geräte-Planungstool, wodurch der Besteller die notwendigen Transportdetails erhält. Dabei ist es wesentlich, dass beide Tools über dieselben Stammdaten verfügen, um Fehler und Missverständnisse zu vermeiden und eine reibungslose Funktion der Schnittstelle sicherzustellen. Die separate Planung erfolgt, da das Transport-Planungstool über erweiterte Möglichkeiten verfügt, den Transport und die zugehörigen Prozesse abzubilden.

Erreicht das Gerät den Einsatzort und wird in Betrieb genommen, sendet eine Schnittstelle zum Telematiksystem Betriebsstunden und den aktuellen Standort des Geräts an das Geräte-Planungstool. Legt das Planungstool anhand festgelegter Leistungsparameter eine Inaktivität in der Nutzung des Geräts fest, wird sowohl der Disponent als auch der Besteller durch eine Benachrichtigung oder durch eine Kennzeichnung des Geräts im Planungstool informiert. Ziel besteht darin, den Disponenten aktiv darauf hinzuweisen, sodass beim operativen Personal erfragt wird, ob das Gerät weiterhin benötigt wird oder ob eine zwischenzeitliche anderweitige Nutzung möglich ist. Der Besteller erhält die Benachrichtigung des Planungstools entweder in der Planung oder als Pop-up-Nachricht auf dem Mobiltelefon. Dies ist besonders für Mitarbeiter vorteilhaft, die nicht durchgängig Zugriff auf das Planungstool haben. Stellt sich nach Rückfrage heraus, dass das Gerät aktuell nicht benötigt wird, meldet der operative Mitarbeiter das Gerät frei oder der Disponent passt den Planungsbalken im Planungstool entsprechend an. Wird das Gerät weiterhin benötigt, durchläuft es denselben Prozess der Prüfung der Inaktivität, bis entweder die Mietzeit endet oder das Gerät freigemeldet wird.

6.7 Zusammenfassung

Im Kapitel 6 wird zunächst ein Überblick über die vorhandene Datenlandschaft in der Gerätedisposition des Unternehmens gegeben. Dabei wird deutlich, dass die Gerätedaten in verschiedenen Softwaresystemen erfasst und gespeichert werden. Diese unterschiedliche Speicherung führt dazu, dass dieselben Informationen in den einzelnen Systemen teilweise widersprüchlich vorliegen, was die Planung und Steuerung erheblich erschwert.

Nach dieser einleitenden Darstellung folgt eine detaillierte Analyse der aktuellen Prozesse im Bereich des Geräteankaufs und der Gerätedisposition. Dabei werden die am Prozess beteiligten Beteiligte sowie die im Unternehmen genutzten Systeme zur Gerätedisposition vorgestellt. Nach der Ermittlung des IST-Prozesses wird zunächst mithilfe einer Boxplot-Methode die Anzahl der

zu analysierenden Geräte reduziert, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Dabei werden Geräte, die entweder häufig oder nur selten genutzt wurden, von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Dadurch liegt der Fokus auf Geräten mit durchschnittlichen Vorhaltetagen.

Im weiteren Verlauf des Kapitels wird erläutert, wie die Daten der zuvor eingegrenzten Geräte aus den Softwaresystemen des Dispositionsprozesses erfasst und für die Analyse aufbereitet wurden. Die verschiedenen Datensätze werden miteinander verglichen, um Abweichungen zwischen den Einsatztagen gemäß Telematikdaten und den im ERP-System verplanten Tagen zu identifizieren. Dabei wird gezeigt, dass die tatsächliche Anzahl der Einsatztage nahezu um die Hälfte von den im ERP-System hinterlegten Werten abweicht. Diese erhebliche Differenz verdeutlicht das Problem der fehlenden Datenintegration und betont das vorhandene Verbesserungspotential. In diesem Zusammenhang werden mehrere Schwachstellen festgestellt. Für jede dieser Schwachstellen werden konkrete Verbesserungsvorschläge erarbeitet, die einerseits den gesamten Prozessablauf optimieren und andererseits den Einsatz eines zentralen digitalen Tools zur Vereinheitlichung der Datengrundlage vorsehen. Eine übersichtliche Tabelle fasst die Vorschläge zusammen und ordnet sie den jeweiligen Schwachpunkten zu, sodass klar wird, welche Maßnahme zur Behebung welcher Schwachstelle dient.

Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die erarbeiteten Optimierungsvorschläge systematisch auf die bestehenden Prozesse angewendet. Daraus entsteht ein IDEAL-Prozessmodell, das den gewünschten Zustand darstellt. Dieses Modell basiert auf einer einheitlichen Speicherung der Daten und einem konsistenten Informationsfluss, was zu einer erheblichen Verbesserung der Dispositionsprozesse führen soll. Beispielhafte Darstellungen veranschaulichen, wie die optimierten Abläufe künftig aussehen könnten und welche Vorteile sich daraus ergeben.

Zusammenfassend zeigt Kapitel 6 nicht nur die Schwächen der bisherigen Prozesslandschaft auf, sondern liefert auch konkrete Ansätze zu deren Behebung. Die gewonnenen Erkenntnisse und erarbeiteten Vorschläge bilden die Grundlage für eine umfassende Prozessoptimierung, die zu einer höheren Transparenz und Effektivität im Dispositionsprozess führt. Nachfolgend wird in Kapitel 7 anhand von Simulationen untersucht, ob diese Maßnahmen tatsächlich zu Optimierungen im Dispositionsprozess führen.

7 Effizienzbewertung des IDEAL-Modells

In diesem Kapitel wird erläutert, wie auf Basis realer, vergangener Dispositionsdaten des Unternehmens ein Algorithmus entwickelt werden konnte, der den idealen Dispositionsprozess simuliert und die möglichen Optimierungspotentiale anhand quantitativer Kennzahlen aufzeigt. Dabei werden die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Prozessverbesserungen berücksichtigt, um die sich daraus ergebenden Potentiale zu quantifizieren. Der Einsatz eines solchen Algorithmus ermöglicht es, die Auswirkungen einer digitalen Anpassung der Prozesse zu simulieren und verschiedene Szenarien auf Grundlage historischer Daten zu analysieren. Zwar existieren bereits digitale Tools, die in Echtzeit die Disposition von Geräten und Ressourcen unterstützen. Diese sind jedoch primär auf die aktuelle oder zukünftige Planung ausgerichtet. Rückblickende Simulationen mit historischen Daten sowie eine Bewertung ihrer Auswirkungen werden nur eingeschränkt oder nicht angeboten. Daher wird in dieser Arbeit ein eigener Algorithmus entwickelt, der auf vergangenen Dispositionsdaten basiert und definierte Parameter sowie Planungsgrenzen einbezieht. Diese Parameter orientieren sich an den Entscheidungen, die Disponenten in der aktuellen Praxis treffen oder treffen sollten. Dadurch wird eine realitätsnahe Bewertung der Optimierungspotentiale ermöglicht, bevor digitale Planungstools tatsächlich implementiert werden. Die im vorangegangenen Kapitel identifizierten Optimierungspotentiale werden dabei vereinfacht, jedoch praxisnah integriert. Es ist hervorzuheben, dass jede Simulation nur eine Annäherung an die Realität darstellt und nicht alle Einflüsse der tatsächlichen Betriebsituation vollständig abbilden kann. Dennoch bieten die gewählten Parameter und der entwickelte Algorithmus einen fundierten Eindruck davon, welche Effizienzgewinne und Optimierungsmöglichkeiten voraussichtlich realisierbar sind. Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die potentiellen Einsparungen, die sich aus den Optimierungen ergeben, analysiert und bewertet.

7.1 Einfluss des IDEAL-Modells

Ein zentrales Element, das in die Entwicklung des Algorithmus eingeflossen ist, stellt das im Kapitel 6.6 beschriebene IDEAL-Modell dar. Im Fokus des Modells steht die Optimierung der Geräteplanung, die durch die mit der Digitalisierung einhergehende Automatisierung und den verbesserten Datenzugang unterstützt wird. Die Nutzung aktueller Telematikdaten, die jederzeit den Status und Standort der Geräte aufzeigen, ermöglicht es, Anpassungen frühzeitig vorzunehmen und Maßnahmen rechtzeitig einzuleiten. Darüber hinaus trägt das Modell durch eine optimierte Darstellung der Planung und die Generierung proaktiver Warnhinweise dazu bei, Konflikte im Zeitplan frühzeitig zu erkennen. Diese Warnungen erhöhen die Aufmerksamkeit der Disponenten und des operativen Personals und ermöglichen eine schnelle Reaktion auf veränderte Gegebenheiten. Zusätzlich fördert das IDEAL-Modell eine verbesserte Kommunikation und Abstimmung zwischen den Beteiligten, wodurch Geräte schneller freigemeldet werden können, um für neue Einsätze verfügbar zu sein. Die genannten Potentiale fließen in die Entwicklung des Algorithmus ein und werden teilweise durch definierte Parameter implementiert, um die simulierten Szenarien möglichst realitätsnah abzubilden.

7.2 Datenaufbereitung

Für die Berechnung der Potentiale wird, um die Datenmenge zu begrenzen und präzisere Aussagen treffen zu können, eine spezifische Geräteuntergruppe laut BGL analysiert: „D.8.3 – Vibrationswalzen, Walzenzüge und Kombiwalzen“ gemäß BGL. Diese Geräte weisen im Unternehmen im Vergleich zu anderen Geräteuntergruppen sehr hohe Differenzen bei den Buchungstagen zwischen den ERP-Daten und den Telematikdaten auf (siehe Abb. 6.18). Ein Grund hierfür ist, dass einige Geräte dieser Gruppe im Unternehmen als „Partiegeräte“ klassifiziert sind. Als Partiegeräte werden Baugeräte bezeichnet, die einer festen Baupartie zugeordnet sind und entsprechend dem Bedarf dieser Partie genutzt werden. Diese Geräte sind somit fix einer spezifischen Einheit zugeteilt. Nach der Anwendung der Boxplot-Methode (siehe Kapitel 6.3) umfasst diese Geräteuntergruppe insgesamt 78 Maschinen, die sich wie folgt aufteilen: 47 Geräte der Art D830 (Tandem-Vibrationswalze), darunter 36 Geräte mit einer Größe unter 4.000 kg und 11 Geräte mit einer Größe von 4.000 kg oder mehr. Die verbleibenden Geräte verteilen sich auf 18 Maschinen der Art D831 (Vibrationsglattwalze, Walzenzug) und 13 Maschinen der Art D832 (Vibrationskombiwalze). Die große Anzahl an Geräten innerhalb der Geräteuntergruppe D.8.3 bietet eine ausreichende Datengrundlage, um präzise Berechnungen durchzuführen und aussagekräftige Bewertungen zu ermöglichen. Um diese Potentiale gezielt zu untersuchen, werden die ERP-Daten und Telematikdaten im nächsten Schritt ausschließlich auf diese 78 Geräte gefiltert. Da die Gerätegrößen innerhalb der aktuellen Gerätegruppierung stark variieren, erfolgt eine zusätzliche Unterteilung in Gerätegrößen – analog zur Gruppierung, wie sie im Planungstool des Unternehmens von den operativen Mitarbeitern geführt wird. Die Unterteilung in Gerätegrößen erlaubt eine gezielte Zuordnung, sodass immer das bestellte Gerät in der erforderlichen Größe zum Einsatz kommt. Somit wird sichergestellt, dass jede Bestellung von einem Gerät abgewickelt wird, das optimal für den jeweiligen Einsatz auf der Baustelle geeignet ist. Tab. 7.1 fasst abschließend die genaue Unterteilung der Gerätegrößen für jede Geräteart zusammen und gibt die jeweilige Anzahl der Geräte an.

Tab. 7.1: Übersicht der Gerätegrößen und zugehörigen Geräteanzahl

Geräteart	Gerätegröße	Anzahl
D830	≤ 2.500 kg	10
D830	$2.500 < x \leq 4.000$ kg	26
D830	$4.000 < x \leq 7.000$ kg	7
D830	> 7.000 kg	4
D831	$5.000 < x \leq 10.000$ kg	7
D831	$10.000 < x \leq 16.000$ kg	3
D831	> 16.000 kg	8
D832	≤ 5.000 kg	12
D832	> 5.000 kg	1

Um die vorhandenen Daten für den Algorithmus nutzen zu können, müssen sie zunächst so aufbereitet werden, dass sie präzise Ergebnisse liefern und Fehlerquellen minimiert werden. Die Telematikdaten bilden dabei die Basis für die Berechnung der Potentiale. Sie zeigen eindeutig, an welchen Tagen die Geräte tatsächlich genutzt werden und verdeutlichen damit den tatsächlichen Bedarf während dieser Zeiträume. Wie bereits in Kapitel 6.4.3 erläutert, ist es im ersten Schritt

notwendig, Betriebsstunden auf Baustellen von denen in Lager zu trennen. Lagerstandorte gelten in dieser Arbeit nicht als Einsatzorte, sondern dienen lediglich als Stellplätze sowie zur Reparatur und Wartung der Baugeräte und müssen daher nicht in die aktive Einsatzplanung einbezogen werden. Die dort erfassten Telematikdaten werden der Einfachheit halber als Bewegungs- oder Rangierarbeiten interpretiert, sodass den Betriebsstunden keine Lagerstandorte zugeordnet werden müssen. Für Baustellenstandorte erfolgt hingegen ein Abgleich der Telematikdaten mit den ERP-Buchungsdaten, um die jeweiligen Einsatzzeiträume korrekt zu bestimmen. Diese Zuordnung wird mithilfe von Microsoft Excel realisiert, wobei mehrere Tabellenblätter und eigens erstellte Excel-Makros zum Einsatz kommen. Die ERP-Daten und die Telematikdaten liegen jeweils in separaten Tabellenblättern vor. Bei der Aufbereitung der Daten werden die Lager-Standorte jedoch zuerst aus den relevanten Listen entfernt, damit im nächsten Schritt nur die tatsächlich benötigten Baustellendaten übrigbleiben. Im „ERP-Blatt“ werden die Daten in Spalten strukturiert, die unter anderem die Identifikationsnummern der Baugeräte, die Zuordnung zur Geräteart, die Standortbezeichnungen, die Kostenstellen der Standorte sowie die Zugangs- und Abgangszeitpunkte der Baugeräte zu den jeweiligen Standorten enthalten. Im „Telematik-Blatt“ sind hingegen die Spalten auf die Identifikationsnummern der Geräte und den Erfassungszeitpunkt der Betriebsstunden begrenzt. Das verwendete Makro durchläuft jede Zeile im „Telematik-Blatt“, entnimmt die jeweilige Identifikationsnummer und das Datum und sucht diese Informationen im „ERP-Blatt“. Auf diese Weise werden den Betriebsstunden im „Telematik-Blatt“ die entsprechenden Einsatzorte und Geräteart zugeordnet, die im ERP-System dokumentiert sind. Diese Verknüpfung ist notwendig, da die Telematikdaten allein keine Auskunft darüber geben, für welches Projekt die Betriebsstunden angefallen sind. Eine detailliertere Analyse mithilfe Tabellenkalkulationslisten ist nicht möglich, da wie schon in Kapitel 6.4.2 erwähnt, diese nicht alle Baugeräte umfassen.

Da die hier verwendeten Telematikdaten keinen Rückschluss auf den tatsächlichen geografischen Standort wiedergeben, müssen den jeweiligen Standortbezeichnungen zunächst geografische Koordinaten (Längen- und Breitengrade) zugeordnet werden. Diese werden mithilfe von Google Maps ermittelt, um eine möglichst präzise Positionsbestimmung zu gewährleisten. Auf Grundlage der Kostenstelle und der zugehörigen Standortbezeichnung kann im ERP-System zwar häufig eine genaue Adresse gefunden werden, jedoch existieren Standorte, die sogenannte Sammelkostenstellen sind. Diese lassen sich keinem eindeutig definierten Projektort zuordnen und tragen häufig allgemeine Bezeichnungen wie beispielsweise „Straßenbauarbeiten 1040 Wien“. Unter einer solchen Sammelkostenstelle können sich mehrere Kleinbaustellen im selben Einsatzgebiet verbergen. In diesen Fällen wird eine geschätzte Koordinate innerhalb des jeweiligen Einsatzgebiets verwendet, was zwangsläufig zu Ungenauigkeiten in der Berechnung der Transportwege führen kann. Zum einen können die realen Entfernungen in der Praxis kürzer oder länger ausfallen, zum anderen kann sich der tatsächliche Standort innerhalb eines Buchungszeitraums einer Sammelkostenstelle auch mehrmals ändern. Diese Aspekte verdeutlichen, wie wesentlich eine höhere Transparenz und Genauigkeit der Dispositionsdaten für eine effiziente Planung ist. Grundsätzlich wären Telematikeinheiten in der Lage, exakte Koordinaten zu erfassen. In der vorliegenden Arbeit werden jedoch aus Datenschutzgründen für Sammelkostenstellen nicht die tatsächlich ermittelten Standortdaten genutzt, sondern ausschließlich die geschätzten Koordinaten in den jeweiligen Einsatzgebiete verwendet.

Nachdem das „Telematik-Blatt“ mit den erforderlichen Informationen befüllt wurde, sollten die Datensätze strukturiert vorliegen und die Identifikationsnummer des Geräts, den Erfassungszeitpunkt der Betriebsstunden, die Zuordnung zur entsprechenden Geräteart und der Gerätegröße, die Bezeichnung des Standortes sowie den Längen- und Breitengrad des jeweiligen Einsatzortes umfassen (siehe Abb. 7.1). Im nächsten Verarbeitungsschritt werden diese Einträge mittels eines Python-Skripts zu zusammenhängenden Zeiträumen gruppiert. Dabei werden für Geräte mit gleicher Identifikationsnummer und identischen Koordinaten aufeinanderfolgende Einsatzstage in gemeinsamen Zeiträumen zusammengefasst. Nicht direkt aufeinanderfolgende einzelne Tage werden dadurch auch als einzelnen Tage verzeichnet. Diese Zusammenführung verringert die Gesamtanzahl der Datensätze und vereinfacht so spätere Berechnungen und beschleunigt die Simulation, da die Daten in kompakteren Blöcken verarbeitet werden können. Anschließend werden die aufbereiteten Daten in CSV-Dateien überführt. Für jede Gerätegröße wird eine separate CSV-Datei erstellt, die ausschließlich die relevanten Standortbezeichnungen, Einsatzzeiträume sowie die zugehörigen Längen- und Breitengrade enthält. Insgesamt entstehen somit neun CSV-Dateien. Aus der Sicht eines Disponenten repräsentieren diese Datensätze den tatsächlichen Bedarf: Sie liefern eine präzise Übersicht darüber, wann und wo ein bestimmtes Gerät benötigt wird. Diese detaillierte Bedarfsdarstellung bildet eine solide Basis für die automatisierte Planung des Geräteeinsatzes durch den Algorithmus.

Equipment	Art	Gerätegröße	Datum	Baustelle	Breitengrad	Längengrad
30001*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	26.01.2021	Baustelle 1	48,56*****	14,46*****
30001*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	28.01.2021	Baustelle 2	48,31*****	14,32*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	01.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	03.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	04.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	08.02.2021	Baustelle 4	48,21*****	14,26*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	08.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	09.02.2021	Baustelle 4	48,21*****	14,26*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	09.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30029*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	09.02.2021	Baustelle 5	47,15*****	14,41*****
30001*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	09.02.2021	Baustelle 2	48,31*****	14,32*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	15.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30029*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	15.02.2021	Baustelle 5	47,15*****	14,41*****
30010*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	16.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30019*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	16.02.2021	Baustelle 6	47,96*****	16,79*****
30029*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	16.02.2021	Baustelle 5	47,15*****	14,41*****
30019*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	17.02.2021	Baustelle 6	47,96*****	16,79*****
30029*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	17.02.2021	Baustelle 5	47,15*****	14,41*****
30019*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	18.02.2021	Baustelle 6	47,96*****	16,79*****
30019*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	22.02.2021	Baustelle 3	48,46*****	13,44*****
30019*****	D831	5000 $x \le 10000\text{kg}$	22.02.2021	Baustelle 6	47,96*****	16,79*****

Abb. 7.1: Auszug aus dem „Telematik-Blatt“ (Screenshot)

7.3 Plausibilitätsprüfung vor der Simulation

Bevor die Simulation gestartet werden kann, erfolgt eine kurze Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse. Hierfür werden die gefilterten Telematikdaten dahingehend analysiert, wie viele Geräte pro Tag gleichzeitig Betriebsstunden aufweisen und dabei auch tatsächlich im Einsatz waren. Zusätzlich wird die Anzahl der Tage betrachtet, an denen diese maximale Geräteanzahl erreicht wurde. Diese Werte dienen als Mindestanforderung für die Geräteanzahl, die nach der Simulation vorhanden sein muss. Liegt das simulierte Ergebnis unter diesem Mindestwert, würde dies bedeuten, dass nicht für jeden Einsatzstag ausreichend Geräte zur Verfügung standen. Anhand dieses

Mindestwerts lässt sich daher abschätzen, ob die Simulation plausibel ist, da Ergebnisse unterhalb dieses Wertes unrealistisch wären. Darüber hinaus bietet diese Methode eine frühe Einschätzung darüber, ob die tatsächliche Anzahl der Geräte über den Betrachtungszeitraum hinweg überhaupt notwendig war.

In Abb. 7.2 ist ein Säulendiagramm dargestellt, das die Anzahl zeitgleich eingesetzter Geräte (x-Achse) in Relation zur Häufigkeit der Einsatztage (y-Achse) zeigt. Die Balken geben die absoluten Häufigkeiten (also die Anzahl der Tage mit jeweils x eingesetzten Geräten) wieder. Aus dem Säulendiagramm geht hervor, dass an den meisten Tagen eine Anzahl von etwa 3 bis 5 Geräten zeitgleich im Einsatz war, was auf einen deutlichen Schwerpunkt in diesem Bereich hinweist. Insgesamt lässt sich aus dieser Verteilung ableiten, dass es sowohl Phasen mit minimalem Gerätebedarf als auch Abschnitte mit mittlerem Gerätebedarf gibt. Auffällig ist, dass an nur sehr wenigen bis gar keinen Tagen mehr als acht Geräte gleichzeitig zum Einsatz kamen.

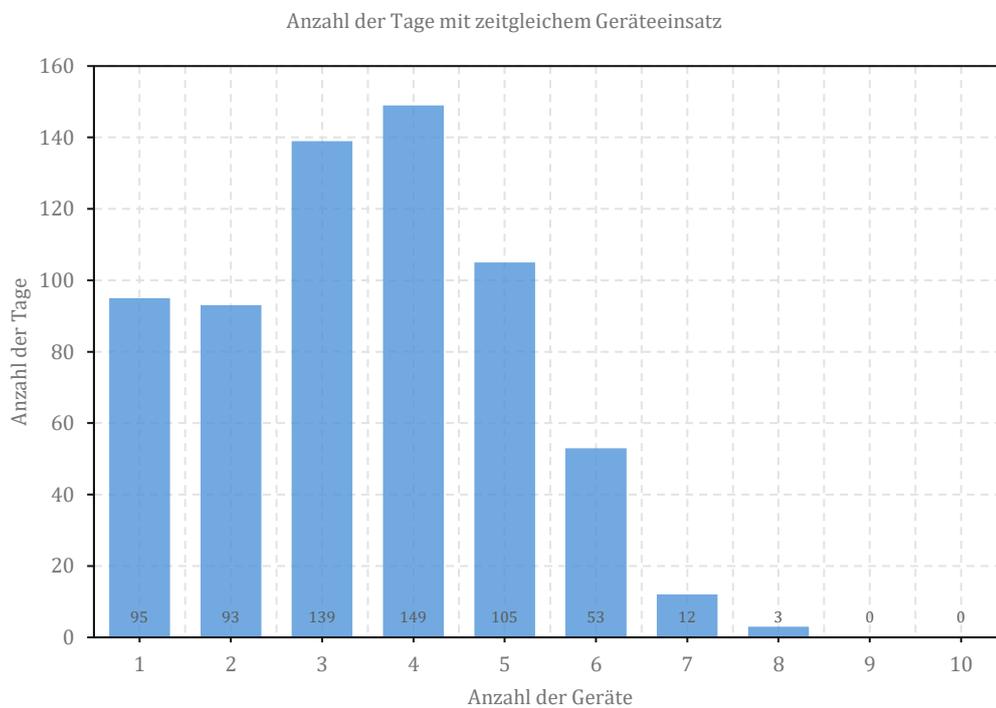


Abb. 7.2: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 (≤ 2.500 kg), mit maximal 10 Geräten

Ähnlich verhält es sich bei der Gerätegröße über 2.500 kg bis 4.000 kg, wie in Abb. 7.3 dargestellt. Statt der erwarteten 26 Geräte wurden tatsächlich nur maximal 19 Geräte zeitgleich genutzt. Bemerkenswert ist, dass im betrachteten Zeitraum von 3 Jahren lediglich ein Tag verzeichnet wurde, an dem 25 Geräte gleichzeitig eingesetzt wurden. Zudem liegt die tatsächliche Anzahl der genutzten Geräte stets unter dem maximal möglichen Wert von 26, was darauf hindeutet, dass nicht alle 26 Geräte gleichzeitig benötigt oder im Einsatz waren. Insgesamt verdeutlicht der Graph, dass nur in Ausnahmefällen eine sehr hohe Kapazität abgerufen wird, während an den meisten Tagen lediglich eine mittlere bis geringe Anzahl von Geräten verwendet wird.

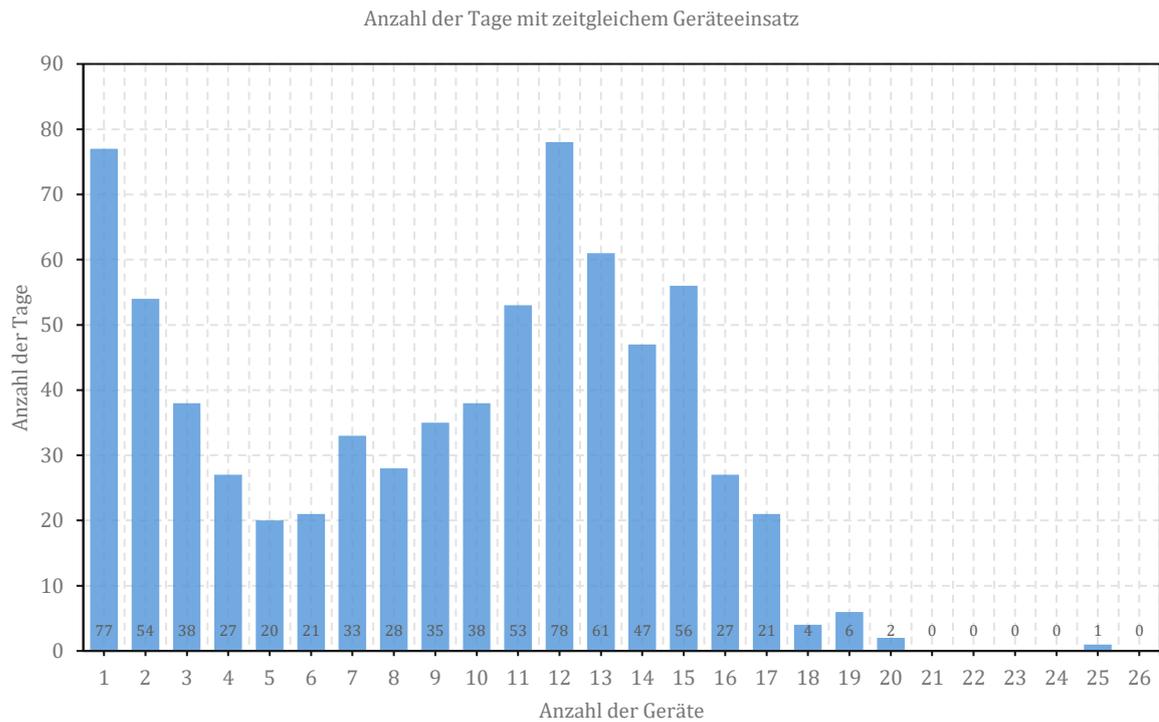


Abb. 7.3: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg), mit maximal 26 Geräten

In Abb. 7.4 ist zunächst erkennbar, dass sich der Hauptanteil der Einsatztage der Geräteart D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg) auf 2 bis 4 Geräte konzentriert und ein Einsatz größerer Gerätezahlen eher selten auftritt. Anschließend zeigt Abb. 7.5 (D830 (> 7.000 kg)) ein deutlich anderes Muster: Hier ist die Anzahl der Tage mit nur einem eingesetzten Gerät am höchsten und nimmt mit steigender Gerätezahl kontinuierlich ab. Dieser ausgeprägte Abwärtstrend ist in den übrigen Diagrammen derselben Geräteart nicht in gleicher Form zu beobachten, da dort meist ein Schwerpunkt im mittleren Bereich liegt. Somit weist Abb. 7.5 auf ein eher gleichförmiges Muster hin, während Abb. 7.4 eine stärker verteilte Nutzung im mittleren Gerätespektrum erkennen lässt.

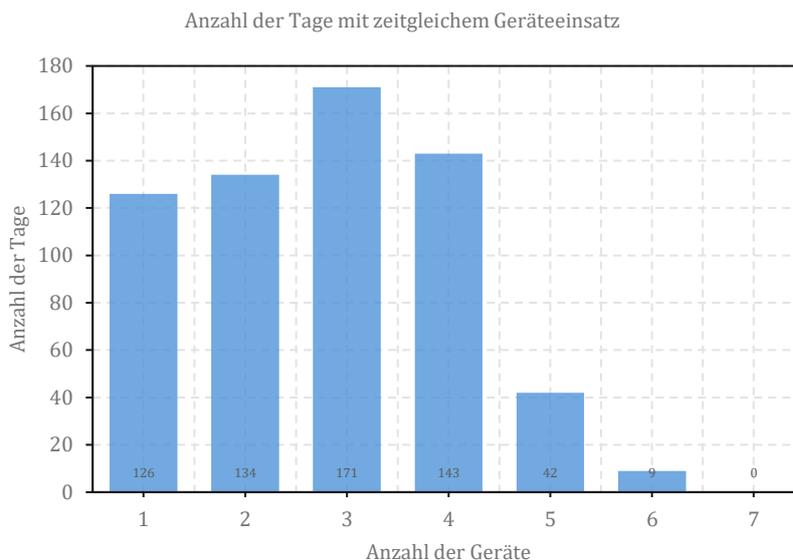


Abb. 7.4: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg), mit maximal 7 Geräten

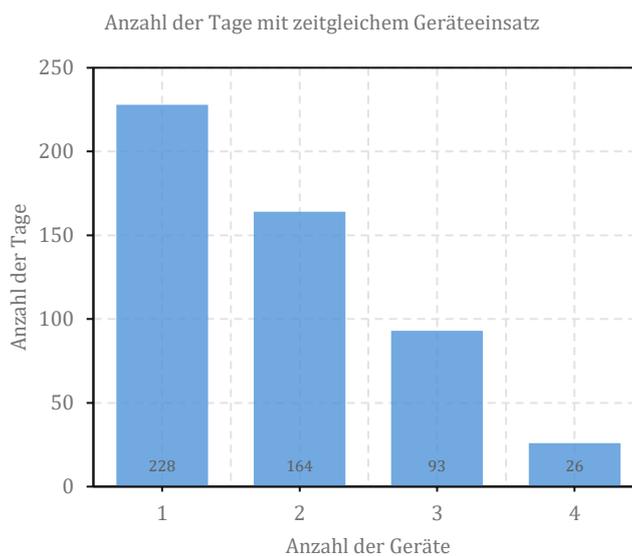


Abb. 7.5: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 (> 7.000 kg), mit maximal 4 Geräten

Abb. 7.6 zeigt die Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg). Hier ist erkennbar, dass die Anzahl der Tage mit nur einem Gerät zunächst am höchsten ist und bei zwei Geräten nur geringfügig abnimmt, bevor sie bei drei Geräten deutlich zurückgeht und anschließend wieder ansteigt. In dieser Gerätegröße werden jedoch alle sieben verfügbaren Geräte mehrfach gleichzeitig eingesetzt. In Abb. 7.7, welche die Kategorie D831 ($10.000 < x \leq 16.000$ kg) darstellt, ist hingegen ein durchgängiger Abwärtstrend zu beobachten, in der lediglich drei Geräte vertreten sind. Im Unterschied zur Geräteart D830, bei der nie alle vorhandenen Geräte zeitgleich benötigt wurden, lässt sich für beide D831-Kategorien erkennen, dass im betrachteten Zeitraum tatsächlich alle Geräte zum Einsatz kamen. Ein offensichtliches Einsparungspotential ist daher in diesen Fällen nicht mehr erkennbar.

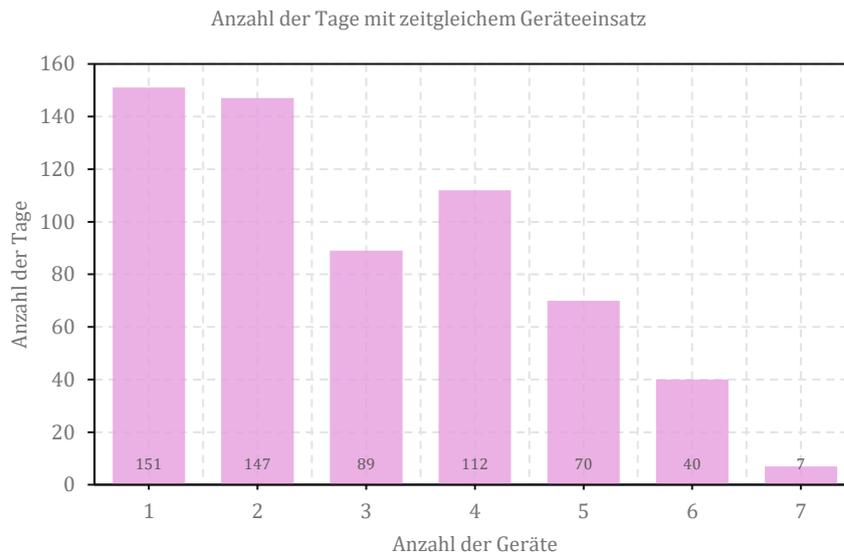


Abb. 7.6: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 (5.000 < x ≤ 10.000 kg), mit maximal 7 Geräten

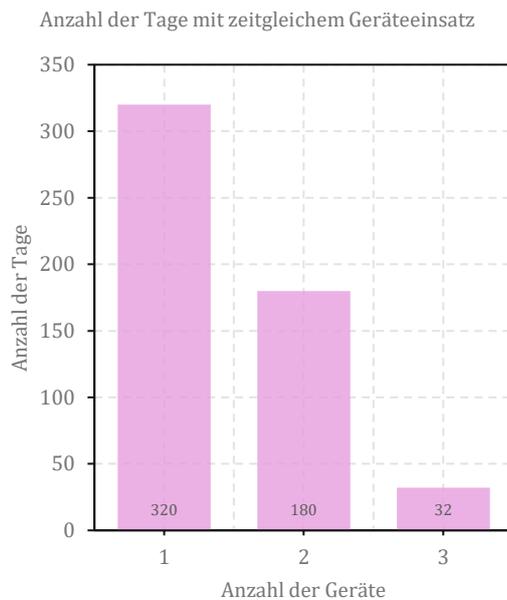


Abb. 7.7: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 (10.000 < x ≤ 16.000 kg), mit maximal 3 Geräten

Abb. 7.8 stellt die Kategorie D831 (> 16.000 kg) dar und zeigt eine ähnliche Verteilung wie bei der D830-Kategorie, wobei der Schwerpunkt im mittleren Bereich der gleichzeitig eingesetzten Geräte liegt. Anders als bei D830 ist jedoch erkennbar, dass hier alle verfügbaren Geräte tatsächlich zum Einsatz kamen, was darauf hindeutet, dass die maximale Kapazität in diesem Größensegment ausgeschöpft wurde.

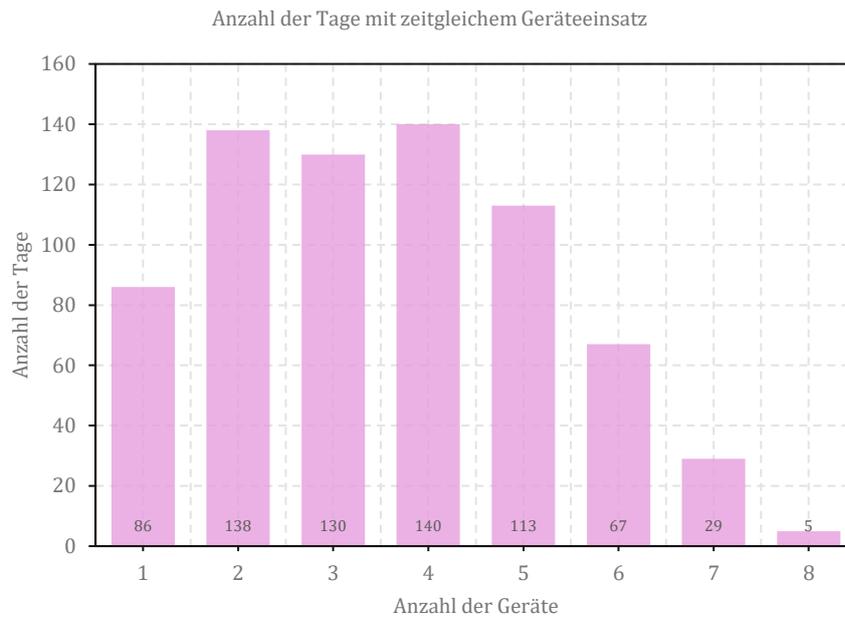


Abb. 7.8: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 (> 16.000 kg), mit maximal 8 Geräten

Auch bei der Geräteart D832 lässt sich in Abb. 7.9 ein vergleichbares Nutzungsverhalten erkennen. Während an den meisten Tagen eine mittlere Anzahl an Geräten (etwa 5 bis 7) benötigt wird, zeigen vereinzelte Spitzenwerte, dass sämtliche verfügbaren Geräte zeitgleich im Einsatz waren. Damit wird, ähnlich wie bei D831, die gesamte Kapazität gelegentlich vollständig ausgeschöpft, während im Regelfall ein moderater Gerätebedarf vorherrscht.

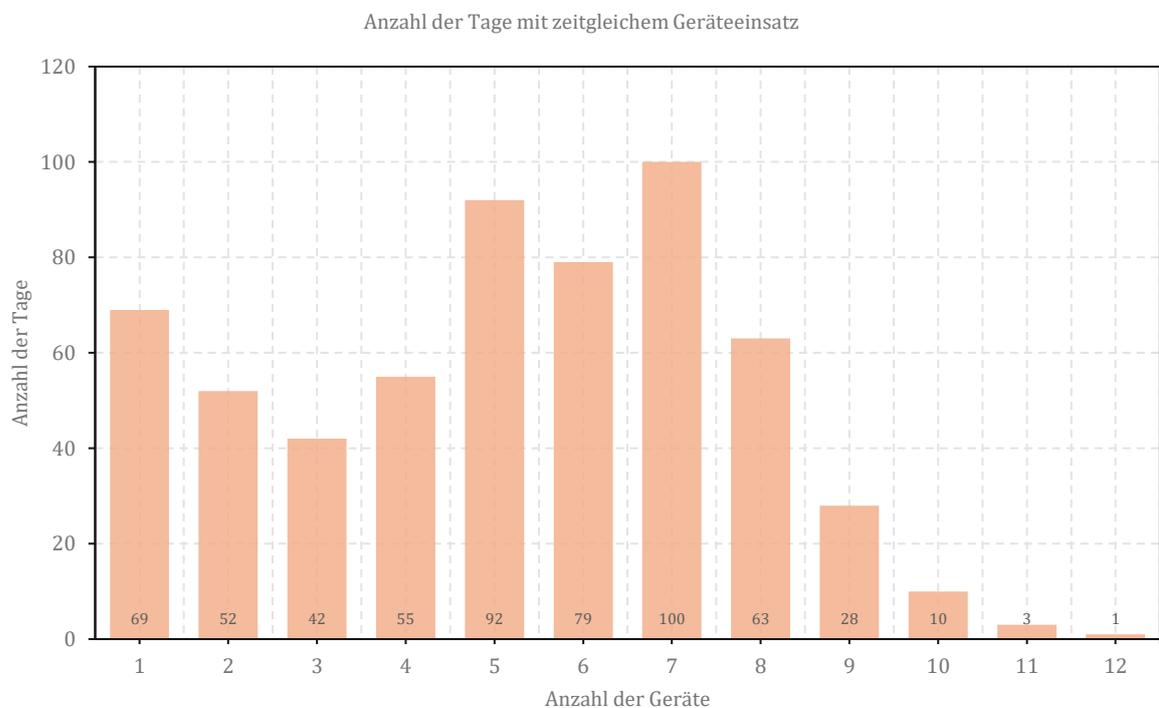


Abb. 7.9: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D832 (≤ 5.000 kg), mit maximal 12 Geräten

Abschließend lässt sich festhalten, dass die in den 8 Abbildungen dargestellten Nutzungsprofile aller untersuchten Gerätegrößen auf einen überwiegend moderaten bis mittleren Gerätebedarf hindeuten. Lediglich an wenigen Tagen wurden hohe oder sogar maximale Gerätezahlen erreicht, sodass insgesamt nie alle verfügbaren Geräte zeitgleich benötigt wurden. Diese Erkenntnisse legen nahe, dass eine leichte Optimierung in der Disposition bereits zu einer Reduktion des notwendigen Gerätebestands hätte führen können. Für den Einzelfall mit außergewöhnlich hohem Bedarf könnte zudem die kurzzeitige Anmietung externer Geräte eine geeignete Option darstellen. Trotzdem ist nicht auszuschließen, dass außerhalb des betrachteten Zeitraums andere Szenarien eintreten, in denen kurzfristig mehr Geräte benötigt werden. In diesem Zusammenhang ist es entscheidend, die örtlichen Gegebenheiten und den zeitlichen Ablauf in die Planung einzubeziehen, um einen möglichst nachhaltigen und kostenschonenden Ressourceneinsatz zu gewährleisten.

7.4 Methodik der Simulation

Im Rahmen der Bearbeitung der Forschungsfragen wurde ein Algorithmus entwickelt, der eine Vielzahl möglicher Auswertungsszenarien abbildet. Zur Modellierung des Gerätebedarfs werden die aufbereiteten Telematikdaten aus der Perspektive eines Disponenten als „Bestellungen“ interpretiert (siehe Kapitel 7.2). Diese Sichtweise ermöglicht eine praxisnahe Abbildung der dispositiven Abläufe und erleichtert die strukturierte Analyse.

Wie in Kapitel 7.2 beschrieben, erlauben die Telematikdaten jedoch keine eindeutige Unterscheidung zwischen produktiven und unproduktiven Einsatzzeiten. Um dennoch eine aussagekräftige Analyse zu ermöglichen, wird in der weiteren Berechnung vereinfacht angenommen, dass jeder Einsatzzeitraum als produktive Einsatzzeit gewertet wird. Diese Annahme schafft einen Ausgangspunkt, der trotz begrenzter Datenlage valide Ergebnisse erlaubt.

In den Algorithmus fließen außerdem Parameter zur Berechnung der Transportzeiten und Verfügbarkeiten der Geräte ein (siehe Tab. 7.2). Die verwendeten Parameter ermöglichen eine differenzierte Bewertung der Abläufe und bilden eine solide Grundlage, um potentielle Effizienzsteigerungen unter verschiedenen betrieblichen Gegebenheiten zu analysieren.

Für die Überstellung eines Geräts gilt: Liegt die Transportzeit unter 0,5 Tagen, gilt das Gerät am nächsten Tag als einsatzbereit. Überschreitet die Transportzeit diesen Wert, wird angenommen, dass das Gerät einen ganzen Tag für die Transporte benötigt und somit am darauffolgenden Tag einsatzbereit ist. Transportzeiten, die diesen Schwellenwert deutlich überschreiten, werden vom Algorithmus nicht weiter berücksichtigt. Die Transportzeiten hängen von der Entfernung zum nächsten Standort ab. Befindet sich der Zielstandort unterhalb des variabel Parameterwerts für „Reichweite 1“, so beträgt die Transportzeit 0,5 Tage. Wird dieser Wert überschritten, liegt die Entfernung noch unterhalb des definierten Werts für „Reichweite 2“, sodass sich die Transportzeit auf einen vollen Tag verlängert.

Der Algorithmus definiert auch die maximale Auslastung der Geräte durch einen variablen Parameter, der für die vorliegende Auswertung auf 95 % festgelegt wurde. In diesem Zusammenhang wird der Begriff „Auslastung“ im weiteren Verlauf der Arbeit als gleichbedeutend mit „Nutzungsgrad“ verwendet, da ausschließlich jene Tage berücksichtigt werden, an denen die Geräte produktiv im Einsatz waren. Aufgrund der zuvor gewählten Vereinfachung schließt die Berechnung unproduktive Zeiten wie Transport, Warte- oder Stehzeiten aus und sorgt somit dafür, dass die Auslastung hier ausschließlich die produktive Nutzung der Geräte widerspiegelt. Der so

definierte Wert dient dazu, einen gewissen Spielraum für die Geräteverfügbarkeit zu gewährleisten. Überschreiten die nachfolgenden Bestellungen diesen Schwellenwert, werden keine weiteren Bestellungen zugewiesen. Das Gerät wird in diesem Fall für den betrachteten Zeitraum als vollständig verplant angesehen.

Zusätzlich wird die Stehzeit eines Geräts am Einsatzort berücksichtigt. Dieser Parameter wird als Wartezeiten bezeichnet. Dabei werden Zeitpuffer eingeplant, die Verzögerungen der Verfügbarkeit der Geräte berücksichtigen. Überschreitet die Stehzeit des Geräts diesen Zeitraum, wird geprüft, ob am darauffolgenden Tag eine Bestellung am selben Standort vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird untersucht, ob eine Verlegung des Geräts zu einem anderen Standort sinnvoll ist. Sollte auch dies nicht möglich sein, wird das Gerät nach Ablauf der maximalen Stehzeit zu einem Lagerplatz transportiert, um effizienter eingesetzt werden zu können. Damit soll der Ablauf unter realistischen Bedingungen simuliert werden. Die Integration einer Wartezeit-Variablen dient nicht nur dazu, die Simulation realitätsnäher zu gestalten, sondern auch als Grenzwert der Stehzeiten zwischen Bestellungen. Diese Begrenzung der Wartezeit wird durch die Digitalisierung der Dispositionsprozesse ermöglicht, da sie eine präzisere und effizientere Planung erlaubt und gleichzeitig die Übermittlung relevanter Meldungen an alle Beteiligten im Prozess gewährleistet. Dadurch können lange Stehzeiten idealerweise minimiert werden. Darüber hinaus wird berücksichtigt, dass die Stehzeit eines Geräts am Einsatzort auf eine festgelegte maximale Dauer begrenzt werden kann. Dieser Wert dieses Parameters ist ebenfalls anpassbar. Bei Überschreitung der maximalen Stehzeit wird das Gerät am nächsten Tag unter Berücksichtigung der erforderlichen Transportzeit zu einem der vier hinterlegten Lagerplätze transportiert. Der Algorithmus ermittelt automatisch den nächstgelegenen Lagerplatz und befördert das Gerät dorthin.

Die Unterschiede im Verlauf der Simulationen, die sich aufgrund unterschiedlicher Parameterwerte ergeben, werden in Abb. 7.10 visuell dargestellt. Für beide Simulationen werden dabei die Parameter „Reichweite 1“ auf 50 km, „Reichweite 2“ auf 150 km und eine maximale Stehzeit von 10 Tagen festgelegt, sodass sich die Abläufe ausschließlich in der Wahl der Wartezeit unterscheiden. Anhand eines 31-Tage-Beispiels wird die jeweilige Vorgehensweise des Algorithmus veranschaulicht, um ein tieferes Verständnis der unterschiedlichen Ansätze zu ermöglichen:

- **Wartezeit = 0 Tage**

Im Szenario ohne Wartezeit ist ersichtlich, dass nach Abschluss von Bestellung 1 das Gerät nach einer Stehzeit von 2 Tage zum Standort der nächsten Bestellung (Bestellung 2) transportiert wird. Da sich Standort B innerhalb eines Radius von 50 km befindet, dauert der Transport des Geräts lediglich einen halben Tag, sodass es am folgenden Tag einsatzbereit ist. Da der nächste Einsatz (Bestellung 4) jedoch erst 12 Tage später erfolgt, wird das Gerät in der Zwischenzeit zum nächstgelegenen Lager (Lager C) transportiert, wo es für 11 Tage verbleibt. Der Transport vom Lager zum Standort C erfordert aufgrund der Distanz von über 50 km einen vollen Tag.

- **Wartezeit = 4 Tage**

Im Szenario mit einer Wartezeit von 4 Tagen verläuft der Prozess bei Bestellung 1 zunächst identisch. Allerdings verlängert sich die Stehzeit am gleichen Standort um einen zusätzlichen Tag, da dort eine weitere Bestellung (Bestellung 3) vorliegt, bei der das Gerät eingesetzt werden soll. Durch diese Verzögerung wird ein zusätzlicher Transport vermieden, jedoch

verlängert sich die Stehzeit des Geräts zwischen zwei Bestellungen. Nach Abschluss von Bestellung 3 wird das Gerät erneut zum Lager transportiert, da Bestellung 4 erst 12 Tage später erfolgt. Dadurch entspricht der weitere Ablauf des Algorithmus nach der Erfüllung von Bestellung 3, dem Ablauf des Algorithmus ohne Wartezeit.

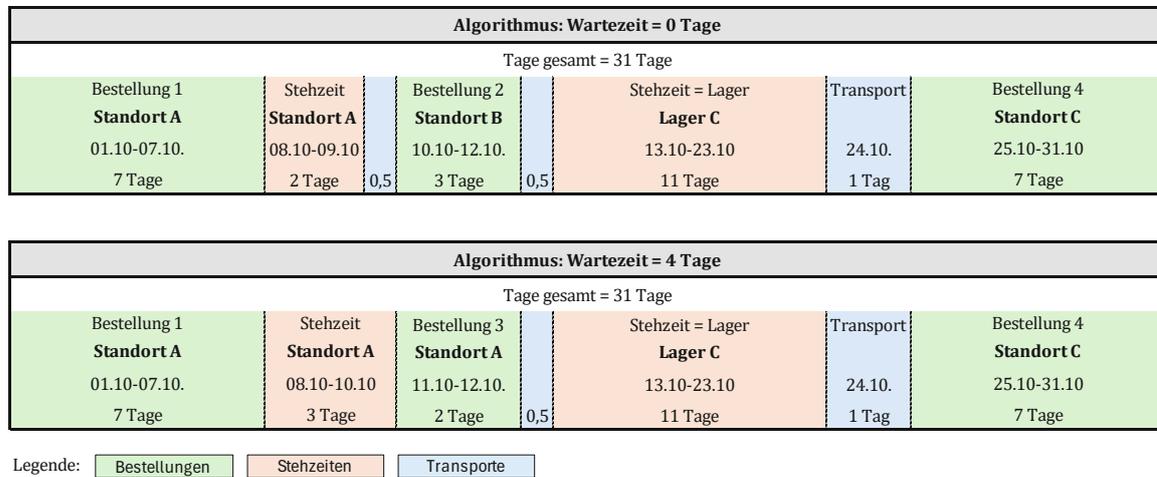


Abb. 7.10: Beispielhafte Darstellung der Unterschiede der Algorithmen

7.4.1 Mathematische Beschreibung des Algorithmus

Nachfolgend wird der chronologische Ablauf des Algorithmus – von der Datenübernahme bis zur finalen Zuweisung der Bestellungen auf einzelne Geräte – in einer strukturierten mathematischen Form erläutert. Die Bezeichnungen der Variablen sind frei gewählt und werden im jeweiligen Abschnitt erklärt. Ergänzend zur Beschreibung wird der entsprechende Abschnitt des Quellcodes durch einen Verweis auf den jeweiligen Anhang (inkl. Zeilenangabe) nachvollziehbar gemacht. Der gesamte Programmcode ist in den Anhängen A2 und A3 dokumentiert.

Einlesen der Bestellungen:

Die generierten CSV-Dateien, die die Bestellungen jeder Geräteart enthält, werden in den Algorithmus geladen. Eine Bestellung B_i hat folgende Attribute:

- Bezeichnung: Name bzw. Ort der Bestellung
- Koordinaten: Längen- und Breitengrade zur Bestimmung der Position
- Datum von ($t_{von}(B_i)$) und Datum bis ($t_{bis}(B_i)$) zur Ermittlung der Bestelldauer BD , berechnet als

$$BD(B_i) = (t_{bis}(B_i) - t_{von}(B_i)) + 1 \quad [Tage] \quad (7.1)$$

Der +1 Tag ist notwendig, weil in der Differenz zwischen zwei Zeitpunkten der Starttag (Datum von) nicht automatisch einbezogen wird. Das Hinzufügen von 1 stellt sicher, dass die tatsächliche Anzahl der Einsatzstage inklusive Start- und Endtags (Datum bis) berechnet wird.

Aus der CSV-Datei wird eine Liste aller Bestellungen erzeugt. Anschließend werden die Bestellungen aufsteigend nach ihrem Startdatum $t_{von}(B_i)$ sortiert. Dadurch wird sichergestellt, dass die Bestellungen zeitlich in chronologischer Reihenfolge verarbeitet werden.

Grundlegende Parameter:

Für die Berechnung wurden Parameter definiert, die für die gesamte Simulation konstant bleiben. Diese Parameter sind jedoch so gewählt, dass sie vor der Berechnung angepasst werden können, um verschiedene Szenarien zu simulieren und unterschiedliche Ergebnisse zu erhalten. Der zugehörige Programmcode ist im Anhang A2 in den Zeilen 9 bis 26 dokumentiert.

- 1) Gesamtzeitraum T_{gesamt} : Dieser Zeitraum bildet die Grundlage für die Berechnung der Auslastung. Die Berechnung der Tage erfolgt auf Basis des Bauarbeiter-Urlaubs- und Abfertigungskasse (BUAK) Kalenders, der die tatsächlichen Arbeitszyklen im Bauwesen abbildet. T_{gesamt} berücksichtigt dabei den typischen Wechsel zwischen kurzen und langen Arbeitswochen im operativen Bereich und stellt die Summe der Arbeitstage über einen Zeitraum von 3 Jahren dar.

$$T_{gesamt} = 670 [\text{Tage}] \quad (7.2)$$

- 2) Maximale Auslastung η_{max} : Jedes Gerät darf nur bis zu diesem Anteil seiner Zeit ausgelastet werden. Formal wird pro Gerät G die Auslastung berechnet als

$$\eta(G) = \frac{\sum \text{Bestelldauer von } G}{T_{gesamt}} \leq 0,95 = \eta_{max} \quad (7.3)$$

- 3) Reichweiten und Transportzeiten:

- a) Bei Distanzen bis R_1 wird eine Transportzeit von $T_1 = 0,5$ Tagen angesetzt
- b) Bei Distanzen bis R_2 wird eine Transportzeit von $T_2 = 1,0$ Tagen angesetzt
- c) Distanzen über R_2 werden in diesem Modell nicht mehr bedient

Daraus folgt für die Transportzeit $T_{Reise}(d)$ in Abhängigkeit von der Distanz d :

$$T_{Reise}(d) = \begin{cases} T_1 & \text{wenn } 0 \leq d \leq R_1 \\ T_2 & \text{wenn } R_1 < d \leq R_2 \\ \text{unzulässig} & \text{wenn } d > R_2 \end{cases} \quad (7.4)$$

- 4) Maximale Stehzeit $T_{steh,max}$: Ein Gerät darf maximal $T_{steh,max}$ Tage ungenutzt am Ort verbleiben, bevor es in ein Lager überführt wird. Falls das Gerät, während der maximal erlaubten Tage ungenutzt bleibt, wird es bereits am ersten dieser Tage zum nächstgelegenen Lager transportiert.
- 5) Wartezeit T_{warte} : Um eine Folgebestellung am selben Ort abzuwarten, wird eine Wartezeit von mehreren Tagen definiert. Wird innerhalb dieser Wartezeit oder am darauffolgenden Tag keine passende Folgebestellung gefunden, wird das Gerät entweder einer anderen Bestellung zugewiesen oder ins Lager überführt.

Zuweisungsverfahren

Der gesamte Prozess läuft iterativ ab und weist den Bestellungen nacheinander Geräte zu. Dabei wird pro neuem Gerät ein sogenannter Geräteplan P erzeugt:

- 1) Sortierung der Bestellungen: Zunächst werden alle Bestellungen nach ihrem Startdatum $t_{von}(B_i)$ aufsteigend sortiert. So wird die zeitlich früheste Bestellung zuerst behandelt.
- 2) Ein neues Gerät G_n wird generiert, dessen Geräteplan initial 0 belegte Tage ($T_{b,ini} = 0$) aufweist. Die früheste noch nicht zugewiesene Bestellung $B_{nz,i}$ wird dem neuen Gerät zugewiesen:

$$T_{b,j} = T_{b,ini} + BD(B_{nz,i}) \tag{7.5}$$

Das Gerät steht nun nach Abschluss von $B_{nz,i}$ am Standort dieser Bestellung.

- 3) Suche nach einer Folge-Bestellung: Nachdem $B_{nz,i}$ im Geräteplan aufgenommen wurde, wird nach einer Folge-Bestellung $B_{nz,i+1}$ gesucht, die noch nicht zugewiesen ist und die folgenden Bedingungen erfüllt:
 - a) Wartezeit-Logik: Für aufeinanderfolgende Bestellungen am gleichen Standort prüft der Algorithmus, ob $t_{von}(B_{nz,i+1})$ zeitnah bei $t_{bis}(B_{nz,i})$ liegt (siehe Anhang A2, Zeilen 149 – 208):
 - i) Es wird ein Datum

$$w = t_{bis}(B_{nz,i}) + T_{warte} \tag{7.6}$$

betrachtet. Findet sich eine Folge-Bestellung, die innerhalb des Zeitraumes $t_{bis}(B_{nz,i})$ bis w oder spätestens +1 Tag nach w anfängt, verbleibt das Gerät am gleichen Standort.

- ii) Wird keine passende Folge-Bestellung gefunden, kann das Gerät nach Ablauf der Wartezeit T_{warte} zu einem anderen Standort transportiert werden.

Dieser Ablauf wird in Abb. 7.11 anhand von 3 verschiedenen Fällen und einer Wartezeit von $T_{warte} = 4$ dargestellt, um ihn bildlich zu veranschaulichen.

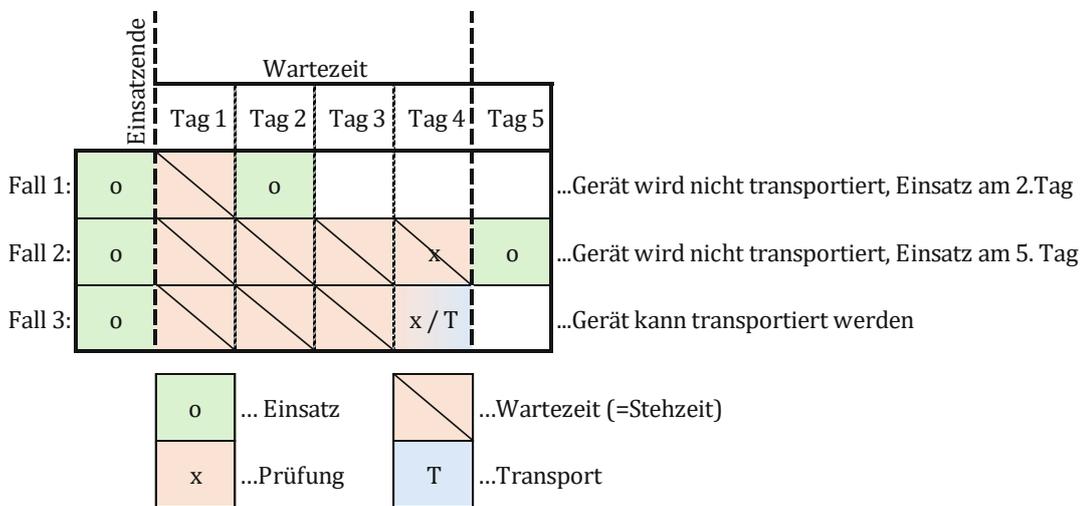


Abb. 7.11: Darstellung der „Wartezeiten-Logik“

Die Wartezeit zwischen zwei Bestellung wird als Stehzeit kategorisiert, da sie einen Teil der ungenutzten Zeit des Geräts auf der Baustelle zwischen zwei Bestellungen darstellt.

Wenn keine aufeinanderfolgende Bestellung am gleichen Standort gefunden wird, sucht der Algorithmus nach der nächstmöglichen Bestellung, die die folgenden Bedingungen erfüllt:

- b) **Transportzeit-Bedingung:** Die Distanz d zwischen den Standort der letzten Bestellung $B_{nz,i}$ und dem Standort der Folge-Bestellung $B_{nz,i+1}$ darf nicht größer als R_2 sein, da sonst eine Zuweisung nicht möglich ist. Zusätzlich muss gelten, dass $t_{von}(B_{nz,i+1})$ nach der letzten Bestellung inklusive der Transportzeit $T_{Reise}(d)$ erreicht werden kann. Dies wird iterativ überprüft, bis eine geeignete Folge-Bestellung $B_{nz,i+1}$ gefunden wird, die alle Bedingungen erfüllt (siehe Anhang A2, Zeilen 214 – 228).

Die Distanz d wird als geodätische Entfernung (Luftlinie) berechnet, basierend auf den geografischen Koordinaten, bestehend aus Breitengrad (ϕ) und Längengrad (λ), der beiden Standorte [46, S. 58]. Die geodätische Entfernung beschreibt die kürzeste Strecke entlang der Erdoberfläche zwischen zwei Punkten und berücksichtigt die Krümmung der Erde [47, Kap. 3]. Dabei ist zu beachten, dass die Luftlinie nicht der tatsächlichen Transportdistanz entspricht, da Verkehrswege in der Regel eine längere, nicht geradlinige Routenführung erfordern. Die Entfernung ergibt sich aus den Koordinaten:

$$d = \text{geodätische Entfernung}((\phi_{B_{nz,i}}, \lambda_{B_{nz,i}}), (\phi_{B_{nz,i+1}}, \lambda_{B_{nz,i+1}})) \quad (7.7)$$

- c) **Auslastungs-Bedingung** (siehe Anhang A2, Zeilen 242 – 253):

Würde das Hinzufügen einer Folge-Bestellung $B_{nz,i+1}$ die maximale Auslastung η_{max} überschreiten, wird $B_{nz,i+1}$ verworfen (bzw. später einem anderen Gerät zugewiesen):

$$\eta(G_n) = \frac{T_{b,j} + BD(B_{nz,i+1})}{T_{gesamt}} > \eta_{max} \quad \text{dann } B_{nz,i+1} \notin P \quad (7.8)$$

- d) **Stehzeit-Bedingung:**

Zwischen $B_{nz,i}$ und $B_{nz,i+1}$ darf die Stehzeit $T_{steh, B_{nz,i}-B_{nz,i+1}}$ nicht größer als $T_{steh,max}$ sein, es sei denn, das Gerät wird in der Zwischenzeit in ein Lager überführt.

- e) **Lager-Logik:**

Überschreitet die Stehzeit, die durch die zeitliche Lücke zwischen zwei Bestellungen verursacht wird, $T_{steh,max}$, so wird das Gerät ins Lager verlegt (siehe Anhang A2, Zeilen 255 – 335). Dies erfolgt sowohl aus wirtschaftlichen Gründen, um Stehzeiten auf den Baustellen zu vermeiden, als auch, weil das Gerät möglicherweise nicht mehr vor Ort verbleiben kann, da Projekte unter Umständen abgeschlossen wurden. Dies ist allerdings nur eine Annahme, die getroffen wurde, um die Simulation realitätsnäher zu gestalten. Da die vorliegenden Daten keinen Aufschluss darüber geben, wann ein Projekt tatsächlich abgeschlossen wurde.

- i) **Transport ins Lager:** Bestimmung des nächstgelegenen Lagers anhand der kürzesten Entfernung,
- ii) **Aufenthalt:** Das Gerät verbleibt dort, bis eine geeignete Bestellung gefunden wird.

- iii) Wird rechtzeitig zum nächsten Einsatzort transportiert.
Die Transportzeiten zum Lager und vom Lager zur Folge-Bestellung werden wieder mittels der Funktion $T_{Reise}(d)$ bestimmt.
- 4) Auslastungsaktualisierung: Jedes Mal, wenn eine Bestellung B_i erfolgreich einem Gerät zugewiesen wird, wird die Auslastungs-Bedingung, mittels Formel (7.8) erneut geprüft.
- 5) Iterativer Abbruch:
 - a) Ist keine passende nicht zugewiesene Bestellung übrig, die die oben genannten Bedingungen erfüllt, ist der Zuweisungsprozess für das Gerät abgeschlossen.
 - b) Anschließend wird (falls noch weitere nicht zugewiesene Bestellungen existieren) ein neues Gerät G_{n+1} generiert, und die obigen Schritte wiederholen sich, bis alle Bestellungen zugewiesen sind.

Endergebnis und Auswertung

- 1) Gesamtzahl benötigter Geräte: Der Algorithmus berechnet schrittweise wie viele Geräte insgesamt benötigt werden, um alle Bestellungen unter Einhaltung der genannten Beschränkungen (Auslastung, Reichweite, Wartezeit, Stehzeit etc.) abzudecken.
- 2) Geräteplan: Für jedes Gerät wird eine Liste aller zugewiesenen Bestellungen (mit Startdatum, Enddatum, ggf. Stehzeit, Lageraufenthalt) protokolliert.
- 3) Für jedes Gerät wird eine Auslastung $\eta(G)$ bestimmt (Anmerkung: Da es sich dabei um das Verhältnis zwischen den produktiven Einsatztagen und der maximal möglichen produktiver Tage handelt, kann – wie bereits auf Seite 89 erläutert – auch vom Nutzungsgrad gesprochen werden.)

$$\eta(G) = \frac{\sum \text{Bestelldauer von } G}{T_{gesamt}} \quad (7.9)$$

- 4) Berechnung der Transporte:
 - a) Iterieren durch die Gerätepläne: Die Transporte entstehen durch das Umdisponieren eines Geräts von einem Standort einer Bestellung zu einem anderen Standort der Folge-Bestellung, wenn $d > 0$. Um die Transporte zu berechnen, werden jeweils zwei aufeinanderfolgende Bestellungen innerhalb eines Geräteplans analysiert. (Bestellung, die einem Geräteplan zugewiesen sind, werden nicht mehr als B_{nz} bezeichnet):

$$(B_i, B_{i+1}) \in \text{Geräteplan}(B_1, B_2, B_3, \dots), \quad i = 1, 2, 3 \dots \quad (7.10)$$

Die Iteration geht von der ersten bis zur vorletzten Bestellung. Währenddessen wird ein Zähler verwendet, der die Anzahl der Transporte erhöht, sobald ein Transport zwischen den beiden betrachteten Standorten stattfindet (siehe Anhang A3, Zeilen 76 – 94).

- b) Berechnung der Distanz: Für jedes Paar (B_i, B_{i+1}) wird die Distanz d_j zwischen den beiden Standorten der Bestellungen, als geodätische Entfernung, berechnet

$$d_j = \text{geodätische Entfernung}(B_i, B_{i+1}), \quad i = 1, 2, 3 \dots \text{ und } j = 1, 2, 3, \dots \quad (7.11)$$

- c) Kategorisieren der Transporte: Die Transporte werden basierend auf der Distanz kategorisiert in Kurzstrecken-Transporte (wenn $0 \leq d_j \leq R_1$) oder Langstrecken-Transporte (wenn $R_1 < d_j \leq R_2$).
- d) Berechnung der Gesamtlänge: Die Gesamtlänge aller Transporte wird durch die Summe aller Distanzen d_j , die zwischen den aufeinanderfolgenden Standorten der Bestellungen entstehen, ermittelt. Dies lässt sich mathematisch durch die folgende Formel ausdrücken:

$$d_{ges} = \sum_{j=1}^n d_j \quad (7.12)$$

Die Anzahl der Transporte wird durch n dargestellt.

- 5) Berechnung der Gesamtstehzeit: Die Gesamtstehzeit pro Gerät ergibt sich aus der Summe aller Stehzeiten für die Bestellungen im Geräteplan. Diese setzt sich zusammen aus der Summe der Stehzeiten auf dem Lagerplatz und den Stehzeiten zwischen zwei Bestellungen, die am Standort der letzten Bestellung verbracht werden. Dazu zählt auch die Wartezeit, falls das Gerät auf eine neue Bestellung wartet. Es ist wichtig zu beachten, dass die Stehzeiten sowohl arbeitsfreie Tage gemäß BUA-Kalender als auch reguläre Arbeitstage umfassen können. Die arbeitsfreien Tage entstehen beispielsweise durch Wochenenden oder Feiertage, während die Arbeitstage ungenutzt bleiben, wenn keine neue Bestellung zugewiesen werden kann. Die Summen der Lager-Stehzeiten und Baustellen-Stehzeiten werden getrennt berechnet, um genau zu analysieren, wie viel Zeit im Lager und wie viel Zeit auf der Baustelle ungenutzt bleibt. Die Baustellen-Stehzeiten umfassen dabei auch die Wartezeit, die automatisch als Stehzeit gezählt wird, wenn ein Gerät am selben Standort auf eine mögliche Folgebestellung wartet. Diese Wartezeit stellt somit einen Teil der ungenutzten Zeit des Geräts auf der Baustelle zwischen zwei Bestellungen dar.

$$T_{steh,ges} = \sum T_{steh,Lager} + \sum T_{steh,B_i-B_{i+1}} \quad (7.13)$$

- 6) Export: Abschließend werden die Ergebnisse (z. B. in CSV-Dateien) ausgegeben, damit sie für weitere Auswertungen genutzt werden können. Pro Gerät wird daraufhin eine Zeile mit folgenden Feldern geschrieben:
- Gerät [-]: Gerätenummerierung (z.B. „Gerät 1“)
 - Auslastung [%]: $\eta(G)$, gerundet auf zwei Nachkommastellen.
 - von und bis [dd.mm.yyyy]: Zeitspanne vom Startdatum der ersten Bestellung bis zum Enddatum der letzten Bestellung
 - Tage gesamt [Tage]: berechneten Tage vom Startdatum der ersten Bestellung bis zum Enddatum der letzten Bestellung
 - Tage Bestellung [Tage]: Summe der Einsatzstage aller Bestellungen.

- f) Tage Lager [Tage]: Summe der Tage in allen Lageraufenthalten.
- g) Anzahl Transporte [-]: Anzahl aller Transportwege mit $d > 0$
- h) Kurzstrecken-Transporte [-]: Anzahl der Transporte mit $d \leq R_1$
- i) Langstrecken-Transporte [-]: Anzahl der Transporte mit $R_1 < d \leq R_2$
- j) Gesamtlänge Transporte [km]: Gesamtlänge aller Transporte d_{ges}
- k) Tage Stehzeiten [Tage]: Summe aller Stehzeiten $T_{steh,ges}$

Die erzeugte CSV-Datei enthält somit sämtliche Transport- und Nutzungsstatistiken für jedes Gerät, die für die weitere Analyse verwendet werden können.

7.4.2 Plausibilitätskontrolle

Nachdem der Algorithmus sowie die zugrunde liegenden mathematischen Berechnungen ausführlich beschrieben sind, stellt sich die Frage, wie die ausgegebenen Ergebnisse auf ihre Plausibilität und Korrektheit überprüft werden können. Zu diesem Zweck wird eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt, um die Berechnungen zu validieren und die Ergebnisse zu verifizieren. Im Rahmen dieser Kontrolle werden die Simulationen zunächst mit einer reduzierten Datenmenge ausgeführt, um die Ergebnisse mit den eigenen Annahmen abzugleichen. Dabei wird überprüft, ob die Zuweisung der Geräte sowie die berechneten Werte mit der geplanten Vorgehensweise übereinstimmen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Logik des Codes korrekt umgesetzt ist und realitätsnahe Ergebnisse liefert.

Eine weitere Möglichkeit, die Ergebnisse zu überprüfen, ist die Kontrolle der Gesamtanzahl der Tage über einen Zeitraum von 3 Jahren (1.095 Tage) pro Gerät. Dabei muss folgende Gleichung erfüllt sein:

$$1095 \text{ Tage} = \text{Tage Bestellung} + \text{Tage Transport} + \text{Tage Stehzeiten} \quad (7.14)$$

wobei sich die Tage Stehzeit in die folgenden Komponenten unterteilen lässt:

$$\text{Tage Stehzeiten} = T_{steh,ges} = \sum T_{steh,Lager} + \sum T_{steh,B_i-B_{i+1}} \quad (7.15)$$

Die Tage für Transporte lassen sich aus der Anzahl der Langstrecken-Transporte berechnen. Dabei gilt: Für Kurzstreckentransporte ($d \leq R_1$) wird eine Transportzeit von nur einem halben Tag angenommen. Dies bedeutet, dass das Gerät bereits am nächsten Tag wieder einsatzbereit ist und somit keinen ganzen Tag von den 1.095 Tagen beansprucht. Langstrecken-Transporte hingegen erfordern einen gesamten Tag für die Umsetzung des Geräts. Diese haben daher einen direkten Einfluss auf die Gesamtanzahl der Tage und müssen entsprechend berücksichtigt werden.

Die dritte Kontrollmöglichkeit besteht darin, zu überprüfen, ob sich die Gesamtanzahl der Tage für Bestellungen durch die Simulation nicht verändert hat. Die Gesamtanzahl der Tage sollte nach Abschluss der Simulation mit derjenigen aus dem ursprünglichen Planungszustand übereinstimmen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass der Algorithmus keine unbeabsichtigten Veränderungen an den ursprünglichen Bestellungen vornimmt. Wenn alle drei Kontrollmethoden erfolgreich durchgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung der gegebenen Annahmen und Ausgangsdaten korrekt sind.

7.5 Ergebnisse der Simulationen

Nach erfolgreicher Anwendung aller drei Kontrollmethoden und der Bestätigung, dass keine unbeabsichtigten Veränderungen in der Berechnung der Bestellungen aufgetreten sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Simulationsergebnisse unter den gegebenen Annahmen und Ausgangsdaten korrekt sind. Die in 7.4 durchgeführte Plausibilitätskontrolle sichert die Korrektheit der Simulationsergebnisse, die in diesem Abschnitt detailliert analysiert werden.

Für die Bewertung der Potentiale wird ein iterativer Ansatz verwendet, bei dem Simulationen mit variierenden Parametern durchgeführt werden, um die besten Ergebnisse zu ermitteln. Da keine universelle Lösung für alle Gerätearten und Gerätegrößen existiert, werden mehrere Szenarien ausprobiert, um die plausibelsten und effektivsten Lösungen zu identifizieren. Die Simulationen beginnen mit initialen Parameterwerten, die iterativ angepasst werden. Nach der ersten Auswertung werden gezielt einzelne Parameter, teilweise auch in Kombination, modifiziert und die Ergebnisse erneut erfasst. Für jede Gerätegröße werden mindestens 10 Simulationen mit unterschiedlichen Parameterkombinationen durchgeführt, um aussagekräftige Erkenntnisse zu gewinnen. Die gewonnenen Daten werden in Microsoft Excel in separaten Tabellen zusammengefasst, wobei relevante Kennzahlen wie Auslastungsgrad der Geräte, Anzahl der Transporte und zurückgelegte Kilometer strukturiert erfasst werden. Um den Fokus dieser Ergebnisdarstellung nicht auf die Ermittlung der idealen Parameter zu legen, wird exemplarisch nur eine Tabelle einer bestimmten Gerätegröße detailliert beschrieben und dargestellt.

Abb. 7.12 zeigt eine in Microsoft Excel erstellte Tabelle, die zur Ermittlung der idealen Parameter für die Geräteart D830 bis 2.500 kg verwendet wird. In den ersten vier Spalten werden die Eingangsparameter erfasst, beginnend mit den beiden Reichweiten (Reichweite 1 und Reichweite 2), gefolgt von der maximal zulässigen Stehzeit und der Wartezeit auf Baustellen. In der zweiten Zeile werden die gegenwärtig benötigte Geräteanzahl sowie die drei höchsten Auslastungswerte dokumentiert. Die gegenwärtige Anzahl der Transporte und die zurückgelegten Kilometer können nicht als Vergleichswerte genutzt werden, da diese aufgrund von fehlenden Standortinformationen zu ungenau sind. Ab der dritten Zeile folgen die Simulationen, wobei jede Zeile eine Simulation innerhalb des jeweiligen Durchlaufs darstellt. In der jeweils ersten Simulation eines Durchlaufs wird die Wartezeit nicht berücksichtigt, sodass sie das bestmögliche Ergebnis für die gewählte Reichweite abbildet. Nach der Aufstellung der Eingabeparameter werden die detaillierten Ergebnisse der Simulationen dargestellt. Zunächst erfolgt die Angabe der berechneten minimalen Geräteanzahl, die zur Erfüllung aller Bestellungen notwendig ist. Farblich markierte Kreise visualisieren dabei die Abweichung zum IST-Zustand. In der Spalte „Auslastung Gerät 1“ wird die höchste Auslastung innerhalb der Gerätegröße dargestellt. Dabei zeigt sich, dass trotz der höheren berechneten Geräteanzahl die Auslastung gegenüber dem IST-Zustand ansteigt. Dies deutet auf eine optimierte Disposition der Geräte hin. Anschließend werden die Auslastungswerte des am zweithöchsten und dritthöchsten ausgelasteten Geräts innerhalb der Gerätegröße dargestellt. Diese Darstellung wurde gewählt, da die ersten drei Geräte die primären Auslastungskennzahlen repräsentieren und so eine aussagekräftige Analyse der Auslastungsverteilung der Simulation ermöglichen. Abschließend werden die Summe der Transporte, die während der Abwicklung aller Bestellungen durchgeführt werden, sowie die insgesamt zurückgelegte Strecke in Kilometern angegeben. In der Spalte „Anzahl der Transporte“ wird zudem eine farbliche Markierung verwendet, bei der die niedrigste Transportanzahl grün und die höchste rot hervorgehoben wird.

Reichweite 1 (km)	Reichweite 2 (km)	max. Stehzeit (Tage)	Wartezeit (Tage)	Benötigte Geräte	Auslastung Gerät 1 (%)	Auslastung Gerät 2 (%)	Auslastung Gerät 3 (%)	Anzahl Transporte	Gesamtstrecke (km)			
-	-	-	-	10	56	51	44	-	-			
50	150	15	-	10	84	33,3%	75	32,0%	66	33,3%	1069	29 381
★ 50	150	15	2	11	72	22,2%	66	22,7%	59	25,4%	1068	23 070
50	150	10	3	11	68	17,6%	62	17,7%	57	22,8%	1107	20 617
50	150	10	4	12	70	20,0%	59	13,6%	52	15,4%	1105	17 882
50	150	15	4	13	70	20,0%	59	13,6%	52	15,4%	1069	18 359
75	150	15	4	13	70	20,0%	59	13,6%	52	15,4%	1069	18 359
100	200	15	4	10	70	20,0%	57	10,5%	53	17,0%	1070	29 734
100	200	15	3	9	68	17,6%	62	17,7%	57	22,8%	1068	34 162
100	200	10	3	9	68	17,6%	62	17,7%	57	22,8%	1100	34 373
100	200	15	5	10	59	5,1%	55	7,3%	53	17,0%	1073	24 117

Abb. 7.12: Tabelle für Geräte der Geräteart D830 und einer Gerätegrößen von ≤ 2.500 kg (Screenshot)

Zur Bewertung der optimalen Parameter kommt ein Bewertungssystem zum Einsatz, das als Orientierungshilfe für die Abstimmung mit Experten dient. Die Simulationsergebnisse werden zwar mithilfe einer Punktevergabe bewertet, jedoch nicht explizit gewichtet, da der Kostenaspekt nicht im Detail berücksichtigt wird. Aus diesem Grund lassen sich die Auswirkungen einzelner Parameter nicht vollständig quantifizieren. Ergänzend dazu wurden Abstimmungen mit Experten aus dem Unternehmen durchgeführt, die über fundierte Kenntnisse in der Geräteplanung und im operativen Bereich verfügen. Ziel ist es, auf Basis praktischer Erfahrungen zu bestimmen, welche Parameter die optimale Gerätegröße am stärksten beeinflussen. Die aus den Experteninterviews gewonnenen Erkenntnisse zu den optimalen Parametern werden in Tab. 7.2. zusammengefasst und das zugehörige Gedächtnisprotokoll befindet sich in Anhang A1. Zur visuellen Hervorhebung sind die als optimal bewerteten Parameter in der zugehörigen Excel-Tabelle mit einem Sternsymbol markiert (siehe Abb. 7.12).

Tab. 7.2: Zusammenfassung der optimalen Parameter für jede Gerätegröße

Geräteart	Gerätegröße	Reichweite 1 (km)	Reichweite 2 (km)	max. Stehzeit (Tage)	Wartezeit (Tage)
D830	≤ 2.500kg	50	150	15	2
D830	2.500 < x ≤ 4.000kg	50	150	15	2
D830	4.000 < x ≤ 7.000kg	50	150	15	2
D830	> 7.000kg	-	-	-	-
D831	5.000 < x ≤ 10.000kg	100	200	15	2
D831	10.000 < x ≤ 16.000kg	-	-	-	-
D831	> 16.000kg	100	200	15	2
D832	≤ 5.000kg	50	150	15	2
D832	> 5.000kg	-	-	-	-

Tab. 7.2 fasst die optimalen Parameter für jede Gerätegröße zusammen. Dabei fällt auf, dass für bestimmte Gerätegrößen, wie beispielsweise für D830 mit einem Gewicht von über 7.000 kg, keine entsprechenden Parameter in der Tabelle aufgeführt sind. Der Grund dafür liegt in der geringen Anzahl an verfügbaren Geräten dieser Kategorien. Da in diesen Gerätegrößen maximal 4 Geräte vorhanden sind, wäre eine Optimierung grundsätzlich möglich, jedoch nicht zielführend, da sie keinen wesentlichen Einsparungen der Geräte ermöglichen würde. Zudem werden

Gerätegrößen mit einer geringen Stückzahl bewusst nicht mit einer anderen Gerätegrößen zusammengeführt, da ihre geringe Verfügbarkeit zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt hätte. Zudem lässt sich erkennen, dass für größere Gerätegrößen innerhalb der jeweiligen Geräteart tendenziell größere Reichweiten festgelegt werden. Dies hängt damit zusammen, dass die Geräte aufgrund ihres hohen mittleren Neuwerts besser ausgelastet werden sollten und daher an weiter entfernte Standorte disponiert werden. Im Folgenden werden die detaillierten Simulationsergebnisse für jede untersuchte Gerätekategorie dargestellt. Die grafische Auswertung sowie der Aufbau der Diagramme werden zunächst anhand der ersten Kategorie D830 (≤ 2.500 kg) ausführlich erläutert. Da der strukturelle Aufbau bei allen weiteren Kategorien identisch ist, wird bei diesen auf eine erneute Beschreibung verzichtet.

7.5.1 D830 (≤ 2.500 kg)

Abb. 7.13 zeigt die durch Simulation ermittelten Auslastungswerte (in Blau) im Vergleich zu den Auslastungswerten aus dem IST-Stand gemäß den Telematikdaten (in Grau) in Form eines Säulendiagramms. Die durchgehende rote Linie kennzeichnet einen sogenannten 10 %-Schwellenwert. Geräte, die über einen Zeitraum von 3 Jahren eine Auslastung von unter 10 % aufweisen, können durch Leihgeräte ersetzt werden. Für diese Gerätegröße reduziert sich somit die Geräteanzahl aus der Simulation auf 7. Im Vergleich dazu ist in Abb. 7.13 ersichtlich, dass keines der betrachteten Geräte aus dem IST-Stand eine Auslastung von unter 10 % aufweist, weshalb kein Ersatz durch Leihgeräte möglich ist. Die gewählten Simulationsparameter gewährleisten, dass sämtliche zeitlichen Anforderungen erfüllt werden. Deswegen zeigt die Simulation, dass zur Effizienzsteigerung theoretisch ein zusätzliches Gerät erforderlich wäre. Dieses zusätzliche Gerät hat eine äußerst geringe Auslastung von lediglich 0,1 % und kann somit vernachlässigt werden. Da die Anzahl an Geräten im IST-Stand auf 10 beschränkt ist, wird im Diagramm der Hinweis „n.v.“ (nicht verfügbar) verwendet, um auf das Fehlen dieses Geräts hinzuweisen.

Die wichtigsten Kennzahlen dieser Auswertung sind in Tab. 7.3 zusammengefasst. Unter Berücksichtigung der 10-%-Grenze entfallen somit 3 Geräte, wodurch sich die durchschnittliche Auslastung dieser Gerätegröße durch die optimierte Disposition um 12,69 % verbessert.

Tab. 7.3: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	10	7	-3
mittlere Auslastung über 3 Jahre	33,51 %	46,20 %	+12,69 %

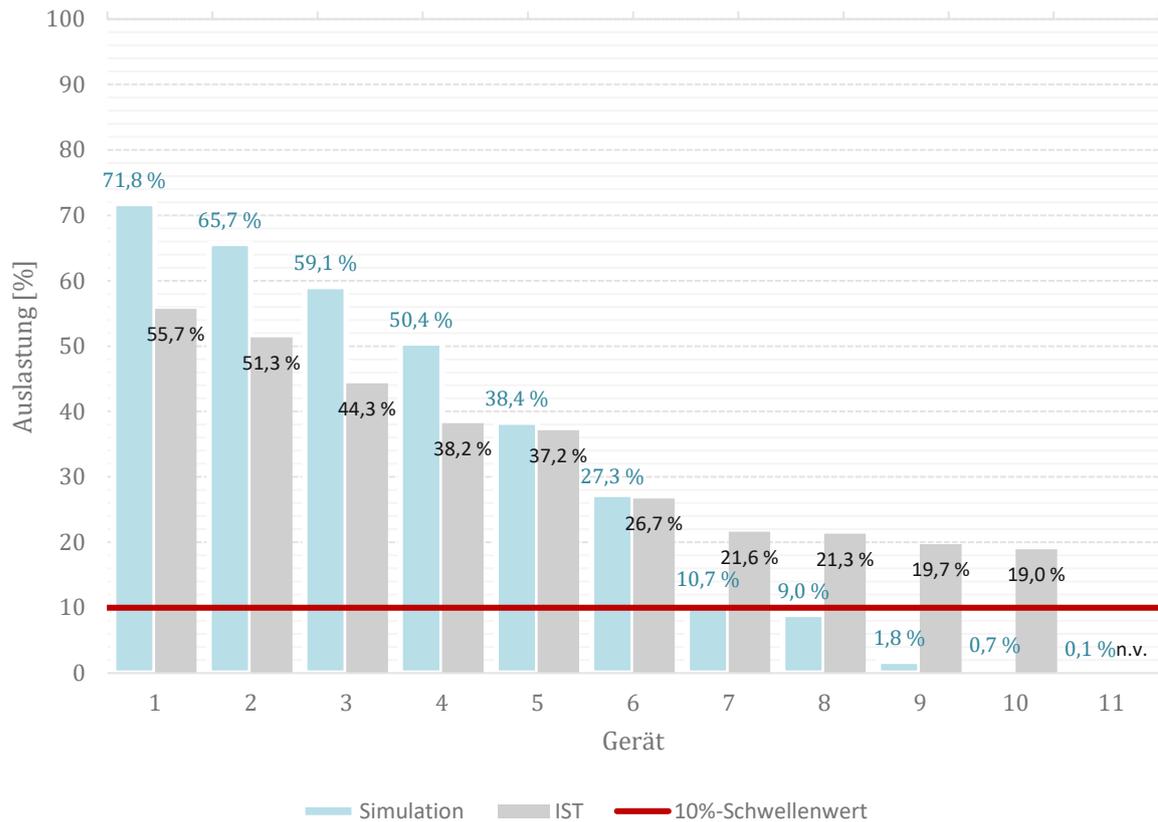


Abb. 7.13: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)

Abb. 7.14 zeigt mittels eines gestapelten Säulendiagramms die Verteilung der Nutzungstage pro Gerät über den gesamten Betrachtungszeitraum. Die dargestellten Einsatzstage bilden die Grundlage für die Berechnung der Auslastung beziehungsweise des Nutzungsgrades gemäß Formel (7.9). Die Summe aller Nutzungstage beträgt insgesamt 1.095 Tage und dient daher gemäß Formeln (7.14) und (7.15) auch als Plausibilitätsprüfung der Simulationsergebnisse.

Bei Betrachtung der Geräte 9 bis 11 ist zu erkennen, dass keine separaten Tage für den Transport der Geräte verzeichnet sind. Dies liegt an der geringen Entfernung vom aktuellen Standort des Geräts zum Lagerplatz oder zur jeweiligen Baustelle. Da der Transport weniger als einen Tag in Anspruch nimmt, stehen die Geräte bereits am folgenden Tag am Zielort zur Verfügung. Dadurch fließt kein vollständiger Tag in die Plausibilitätsberechnung ein (siehe Erklärung in Kapitel 7.4.2). Im Übrigen ist aus dem Diagramm ersichtlich, dass bei Geräten mit höherer Auslastung die Stehzeiten auf der Baustelle signifikant höher ausfallen als im Lager. Dies resultiert einerseits aus dem Parameter der Wartezeiten und andererseits aus dem Parameter für maximale Stehzeit. Ab dem 8. Gerät beträgt die Einsatzzeit innerhalb von 3 Jahren lediglich 60 Tage. Das bedeutet, dass ab dem achten Gerät alle nachfolgenden Geräte unter die 10%-Grenze fallen und somit durch Leihgeräte substituiert werden können. Die Summe der Tage, die für diese Gerätegröße abgedeckt werden muss, beläuft sich auf 78 Tage innerhalb von drei Jahren bzw. auf 26 Tage pro Jahr.

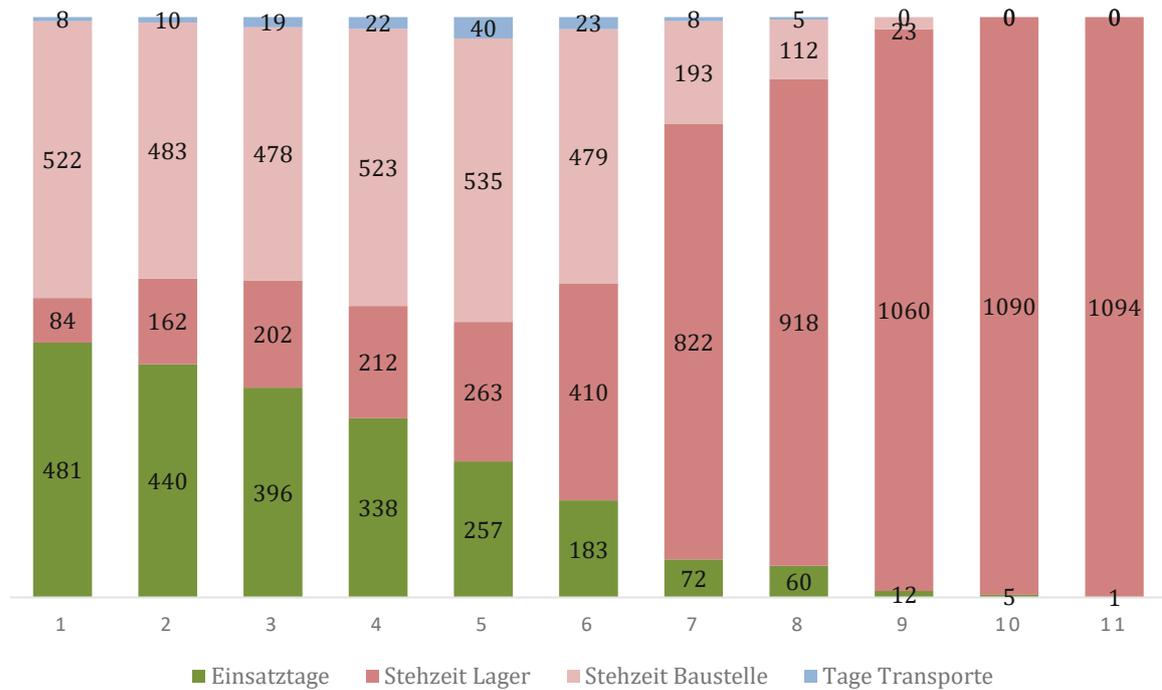


Abb. 7.14: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg) in Tagen

Die Analyse der Transporte zeigt, (siehe Abb. 7.15) zeigt, dass 80 % der Fahrten eine Entfernung von maximal 50 km aufweisen, während die übrigen 20 % Distanzen zwischen 50 km und 150 km betreffen. Dies verdeutlicht, dass der Bedarf an diesen Geräten vor allem in bestimmten Regionen gebündelt auftritt und sich nicht über größere Entfernungen hinweg verteilt.

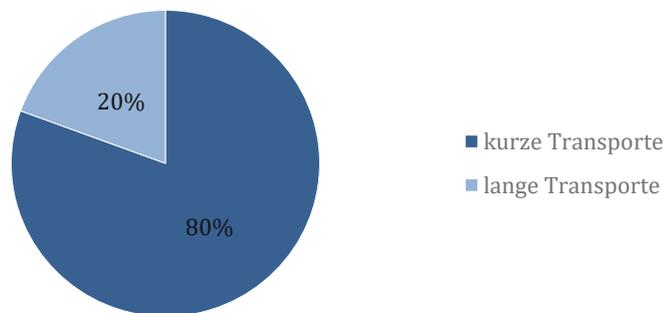


Abb. 7.15: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)

Tab. 7.4 fasst alle relevanten Kennzahlen für den Transport der Geräte numerisch zusammen. Dargestellt werden sowohl die Anzahl der Transporte als auch die jeweils zurückgelegten Kilometer derjenigen Geräte, deren Auslastung über dem Schwellenwert von 10 % liegt. In der Zeile „Gesamtlänge“ wird die kumulierte Kilometerzahl aller Transporte aufgeführt. Sie dient nicht nur dem Vergleich der Transportleistungen, sondern kann auch als Richtwert herangezogen werden, um eine möglichst effiziente Disposition zu gewährleisten.

Tab. 7.4: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	644	215	31
davon kurze Transporte	514	171	25
davon lange Transporte	130	43	6
Gesamtlänge [km]	21 972,45	7 324,15	1 046,41

7.5.2 D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)

Die detaillierten Simulationsergebnisse für D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg) werden in Abb. 7.16 grafisch dargestellt.

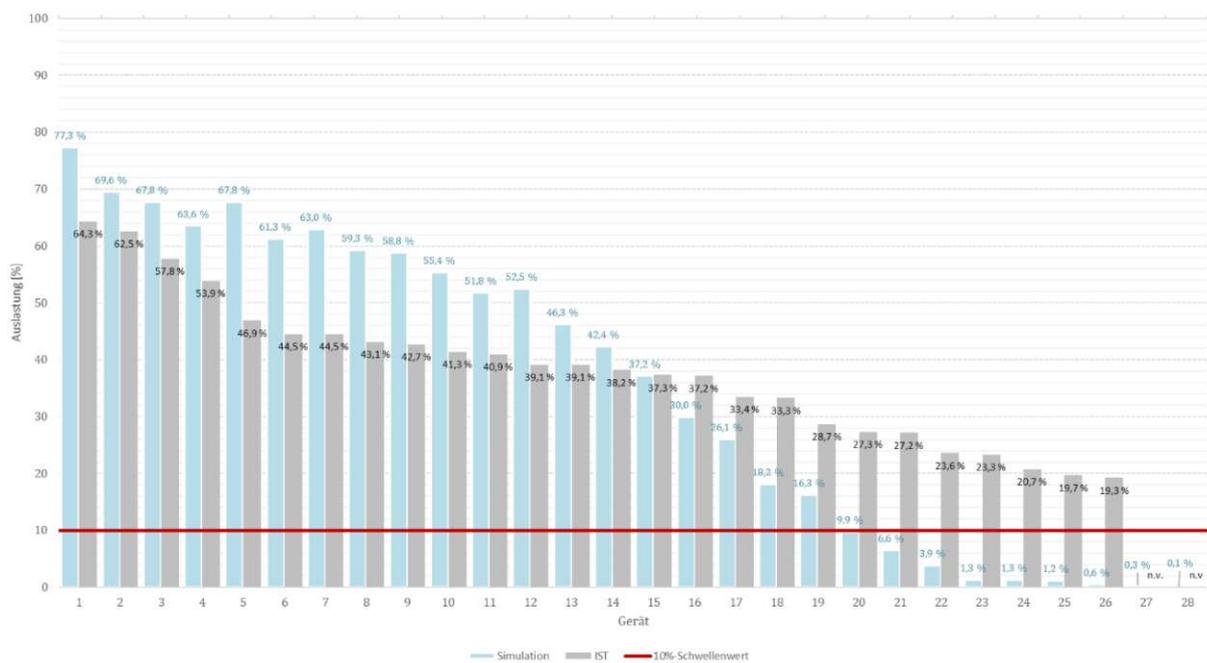


Abb. 7.16: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)

Unter Anwendung der 10%-Grenze entfallen 7 Geräte, was zu einer Steigerung der durchschnittlichen Auslastung um 12,69 % führt. (siehe Tab. 7.5)

Tab. 7.5: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	26	19	-7
mittlere Auslastung über 3 Jahre	38,07%	50,76%	+12,69%

In Abb. 7.17 wird die Verteilung der Nutzungstage dargestellt. Auch hier zeigt sich ein ähnliches Muster wie bei der Kategorie D830 (≤ 2500 kg). Ab dem 20. Gerät wird die 10%-Grenze erreicht, sodass innerhalb von drei Jahren insgesamt 169 Tage (=56 Tage/Jahr) durch Leihgeräte abgedeckt werden müssen.

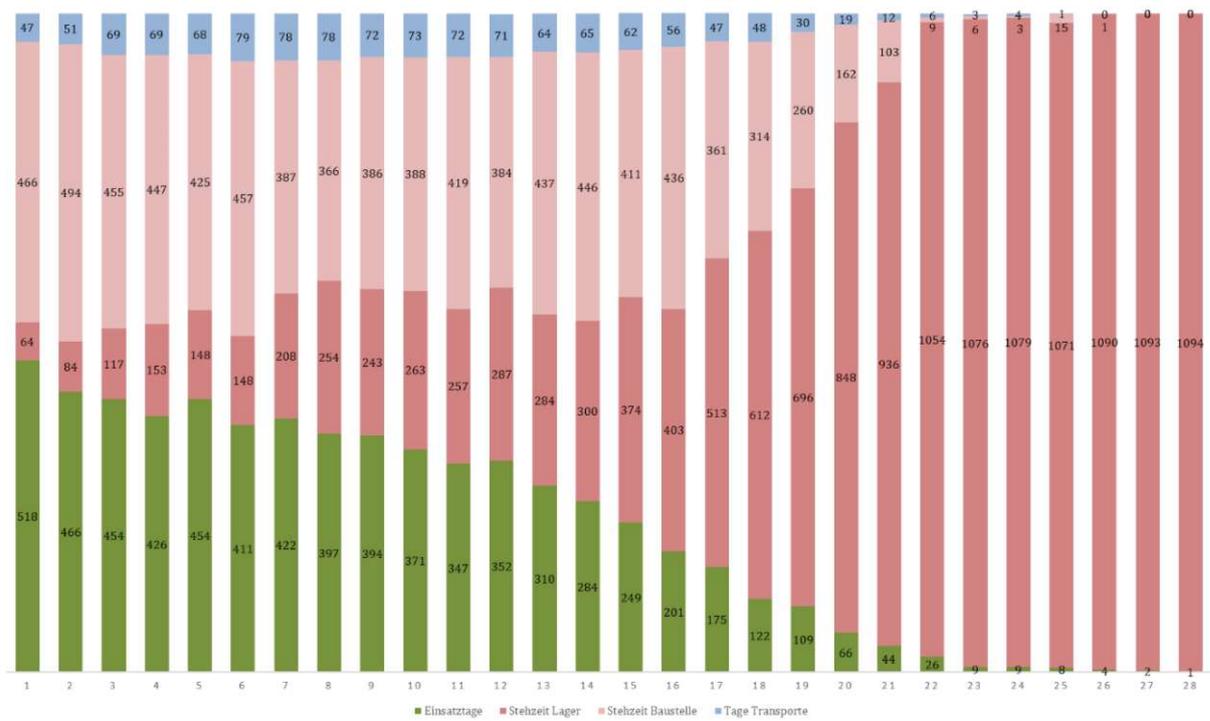


Abb. 7.17: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)

Die Auswertung der Transporte (siehe Abb. 7.18) zeigt, dass mehr als die Hälfte der Transporte über größere Entfernungen erfolgen. Dies deutet darauf hin, dass die Standorte weiter auseinander liegen und somit der Bedarf dieser Gerätegröße über ein weiträumigeres Gebiet abgedeckt werden muss.

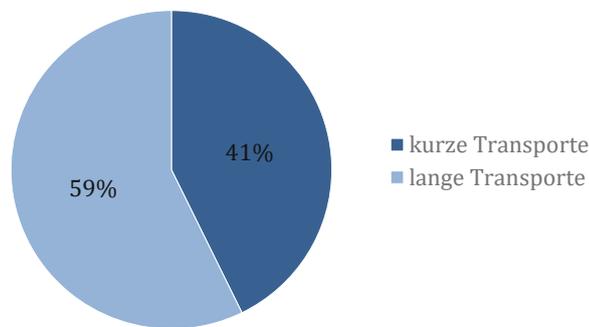


Abb. 7.18: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)

Alle wesentlichen Transportkennzahlen werden in Tab. 7.6 zusammengefasst. Im Vergleich zu D830 (≤ 2.500 kg) erfolgen pro Gerät jährlich 5 zusätzliche Transporte, was zu einer um nahezu 1.200 km höheren Gesamtkilometerleistung führt. Dies weist darauf hin, dass bei größeren Gerätegröße vermehrt weitere Transporte erforderlich sind.

Tab. 7.6: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830
(2.500 < x ≤ 4.000 kg)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	2038	679	36
davon kurze Transporte	839	280	15
davon lange Transporte	1199	400	21
Gesamtlänge [km]	126 233,96	42 077,99	2 214,63

7.5.3 D830 (4.000 < x ≤ 7.000 kg)

Für die Kategorie D830 (4.000 < x ≤ 7.000 kg) werden die Simulationsergebnisse in Abb. 7.19 anschaulich grafisch aufbereitet.

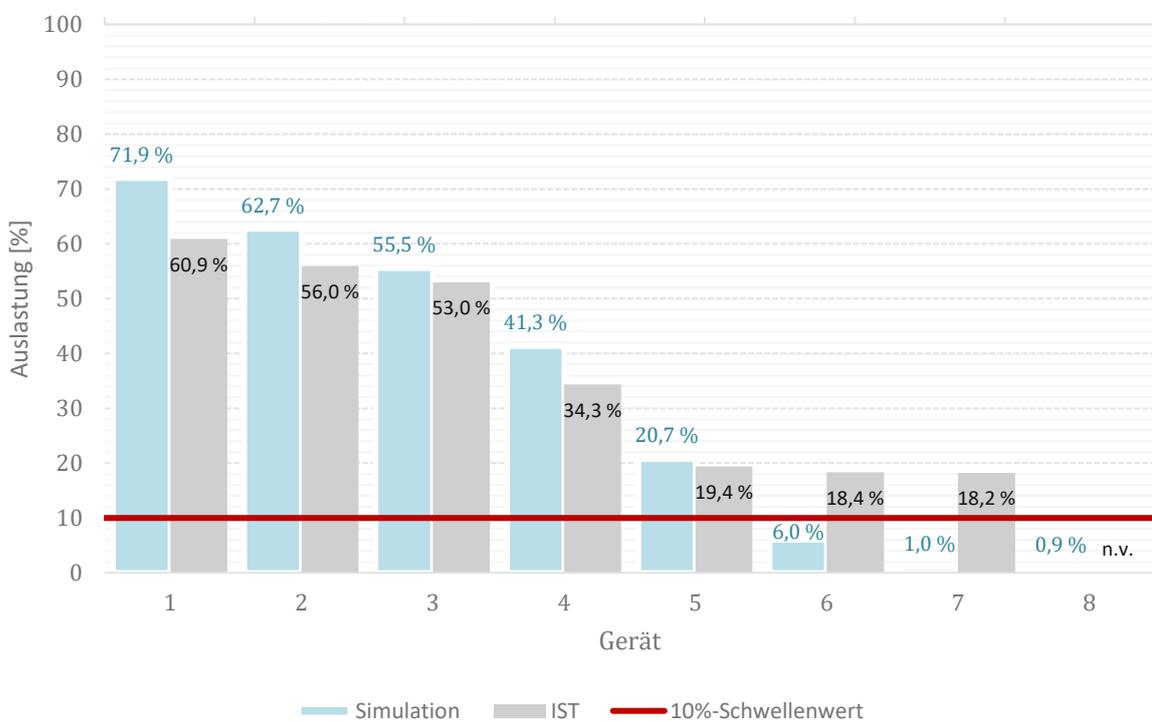


Abb. 7.19: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 (4.000 < x ≤ 7.000kg)

Bei Berücksichtigung der 10 %-Schwelle sinkt der Gerätebedarf lediglich um zwei Geräte, wodurch dennoch eine Steigerung der durchschnittlichen Auslastung um nahezu 13,29 % erreicht wird. (siehe Tab. 7.7)

Tab. 7.7: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 (4.000 < x ≤ 7.000 kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	7	5	-2
mittlere Auslastung über 3 Jahre	37,16%	50,45%	+13,29%

In Abb. 7.20 wird die Nutzungstageverteilung aufgezeigt. Mit dem fünften Gerät wird die 10%-Grenze überschritten, was zur Folge hat, dass 53 Tage (=18 Tage/Jahr) durch den Einsatz von Leihgeräten ausgeglichen werden müssen.

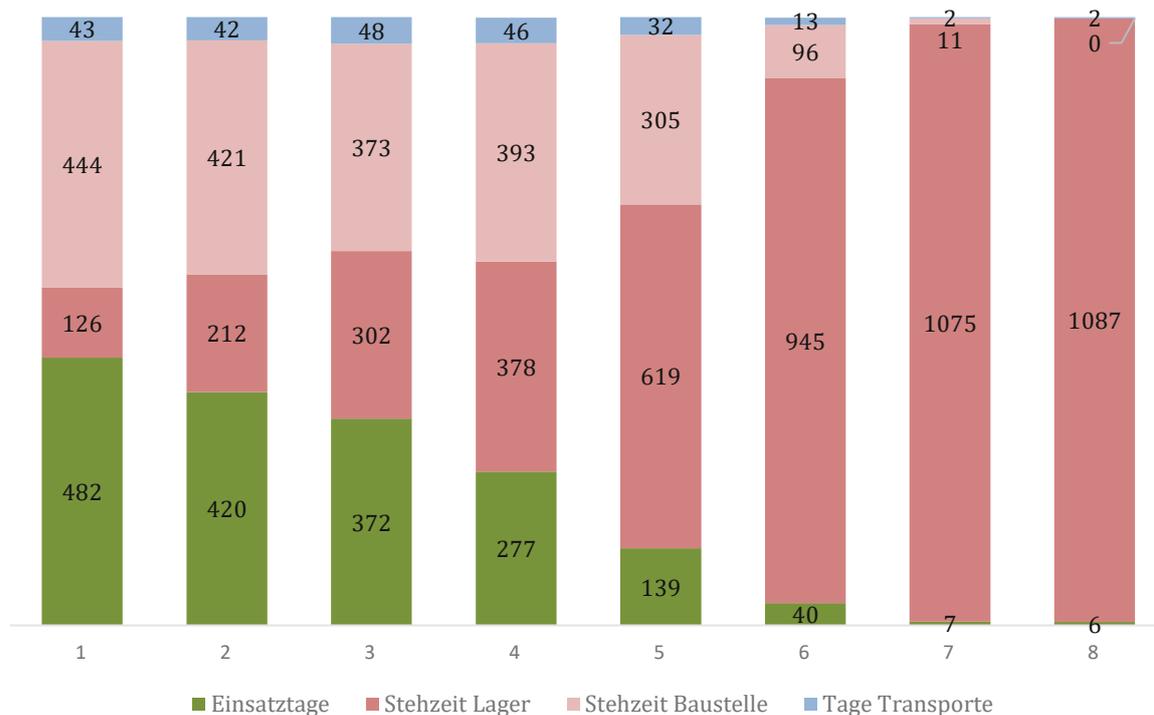


Abb. 7.20: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000 \text{ kg}$)

Die Verteilung der Transporte (siehe Abb. 7.21) weist ein ähnliches Muster auf wie bei D830 ($2.500 < x \leq 4.000 \text{ kg}$).

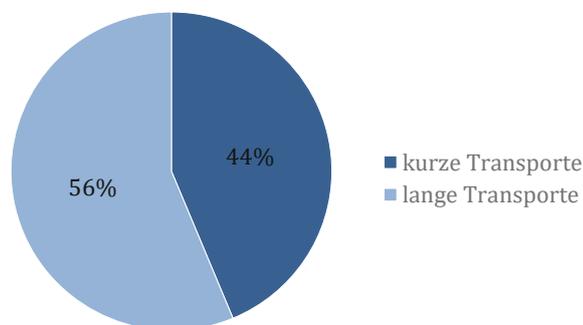


Abb. 7.21: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000 \text{ kg}$)

In Tab. 7.8 sind alle relevanten Kennzahlen des Transports zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die Anzahl der Transporte erheblich niedriger ausfällt als bei D830 ($2.500 < x \leq 4.000 \text{ kg}$).

Tab. 7.8: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000 \text{ kg}$)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	375	125	25
davon kurze Transporte	164	55	11
davon lange Transporte	211	70	14
Gesamtlänge [km]	21 207,80	7 102,60	1 420,52

7.5.4 D831 (5.000 < x ≤ 10.000 kg)

Für die Kategorie 7.5.4 D831 (5.000 < x ≤ 10.000 kg) werden die Simulationsergebnisse zur Geräteauslastung in Abb. 7.22 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei 3 Geräten die Auslastung 2 % nicht überschreitet.



Abb. 7.22: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D831 (5.000 < x ≤ 10.000kg)

Das Balkendiagramm verdeutlicht, dass diese Geräteklasse keine hohe Auslastung erreichen kann. Gleichzeitig zeigt Tab. 7.9, dass durch die Einsparung von einem Gerät ein Verbesserungspotential von 4,84 % realisiert werden könnte.

Tab. 7.9: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D831 (5.000 < x ≤ 10.000 kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	7	6	-1
mittlere Auslastung über 3 Jahre	37,70%	42,54%	+4,84%

Abb. 7.23 veranschaulicht die Verteilung der Nutzungstage. Durch die Optimierungen ergibt sich ein Bedarf, Leihgeräte für insgesamt 58 Tage (=19 Tage/Jahr) einzusetzen, um die um 4,84 % verbesserte Auslastung zu erreichen.

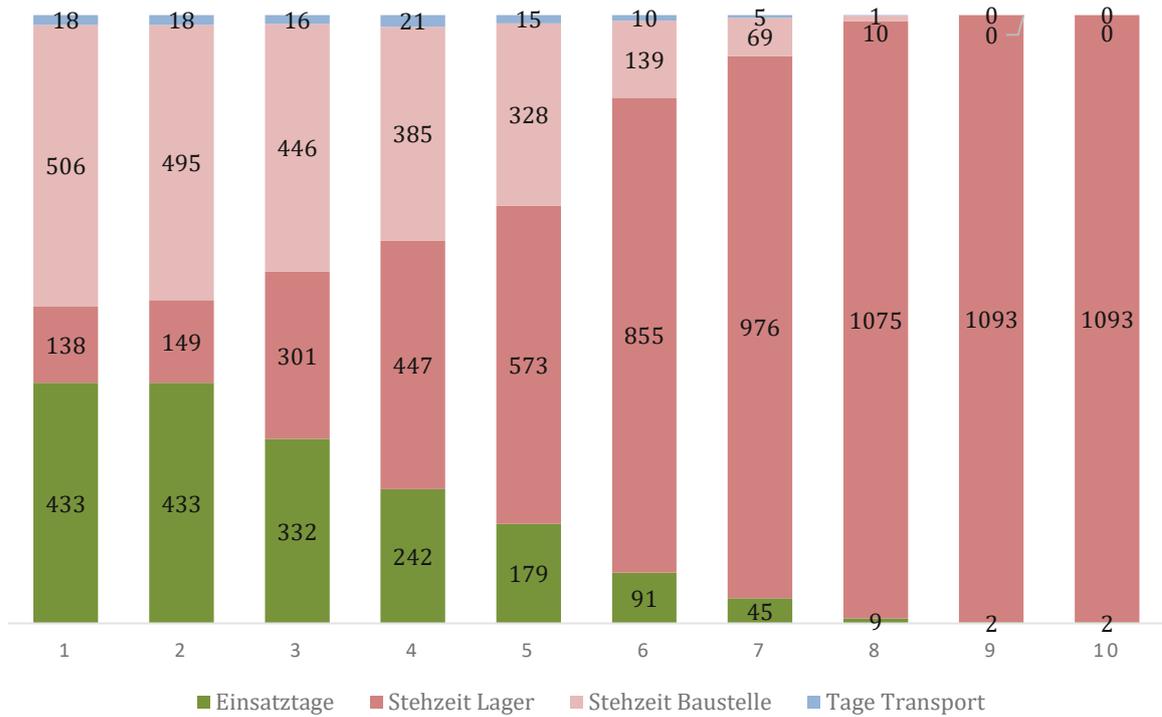


Abb. 7.23: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000\text{kg}$)

Abb. 7.24 zeigt, dass für D831 mehr als drei Viertel der Transporte kurze Strecken umfassen.

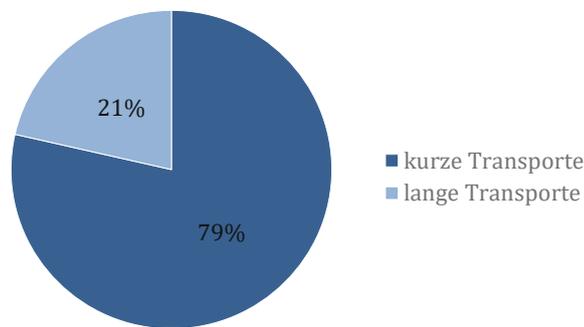


Abb. 7.24: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000\text{ kg}$)

In Tab. 7.10 wird ersichtlich, dass aufgrund des hohen gewählten Wertes des Parameters „Reichweite 1“ die kumulierte Fahrstrecke, der jährlich pro Gerät zurückgelegten Strecke von D830 ($4.000 < x \leq 7.000\text{ kg}$) entspricht.

Tab. 7.10: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000\text{ kg}$)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	457	152	25
davon kurze Transporte	359	120	20
davon lange Transporte	98	33	5
Gesamtlänge [km]	28 166,15	9 388,72	1 564,79

7.5.5 D831 (> 16.000 kg)

Für diese Gerätegröße werden ebenfalls die Reichweiten-Parameter erhöht, da die sehr großen Geräte über weitere Entfernungen transportiert werden. Das Ergebnis der Simulation bezüglich der Auslastung der Geräte wird in Abb. 7.25 dargestellt.

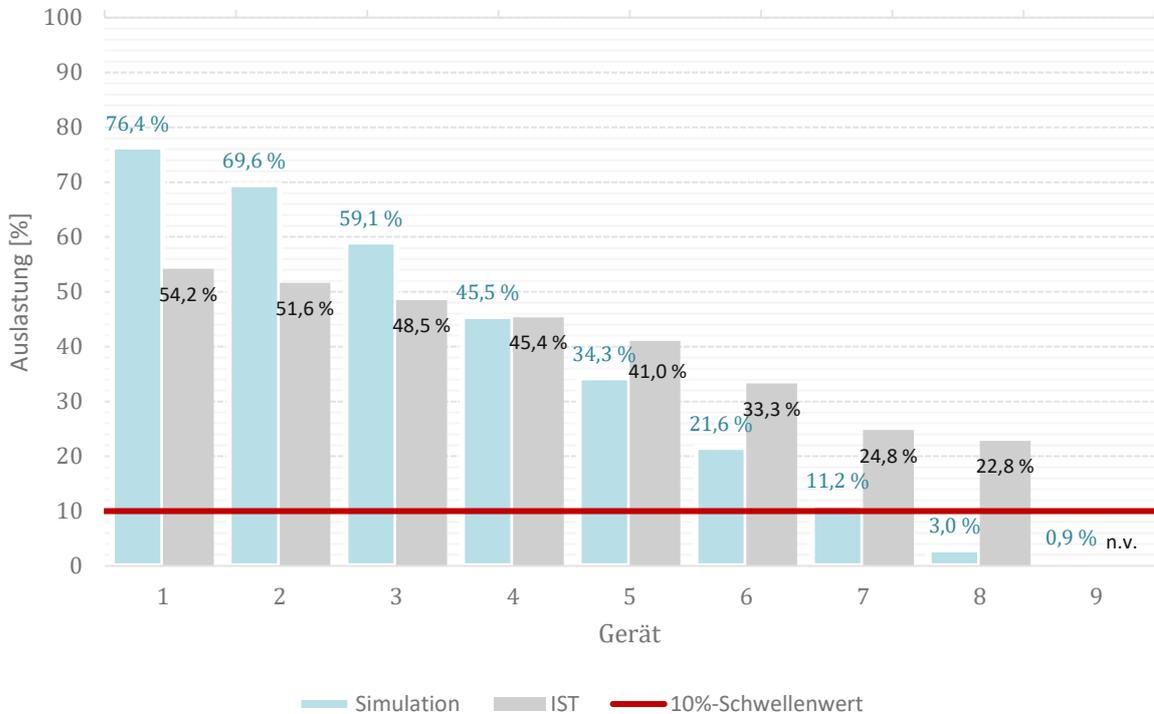


Abb. 7.25: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D831 (> 16.000 kg)

Anhand von Tab. 7.11 ist ersichtlich, dass trotz einer verbesserten Disposition lediglich ein Gerät eingespart werden kann und die durchschnittliche Auslastung nur um 5 % gesteigert wird. Dies weist darauf hin, dass die sehr großen Geräte der Geräteart D831 bereits sehr gut disponiert wurden.

Tab. 7.11: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	8	7	-1
mittlere Auslastung über 3 Jahre	40,21%	45,39%	+5,18%

In Abb. 7.26 fällt auf, dass Gerät 1 nur 74 Tage im Lager verbringt, was ein Indikator für eine gute Auslastung sein kann. Da ab dem achten Gerät bereits die 10%-Grenze erreicht wird, ist der Bedarf an Leihgeräten entsprechend gering und beträgt lediglich 26 Tage für drei Jahre bzw. 9 Tage pro Jahr.

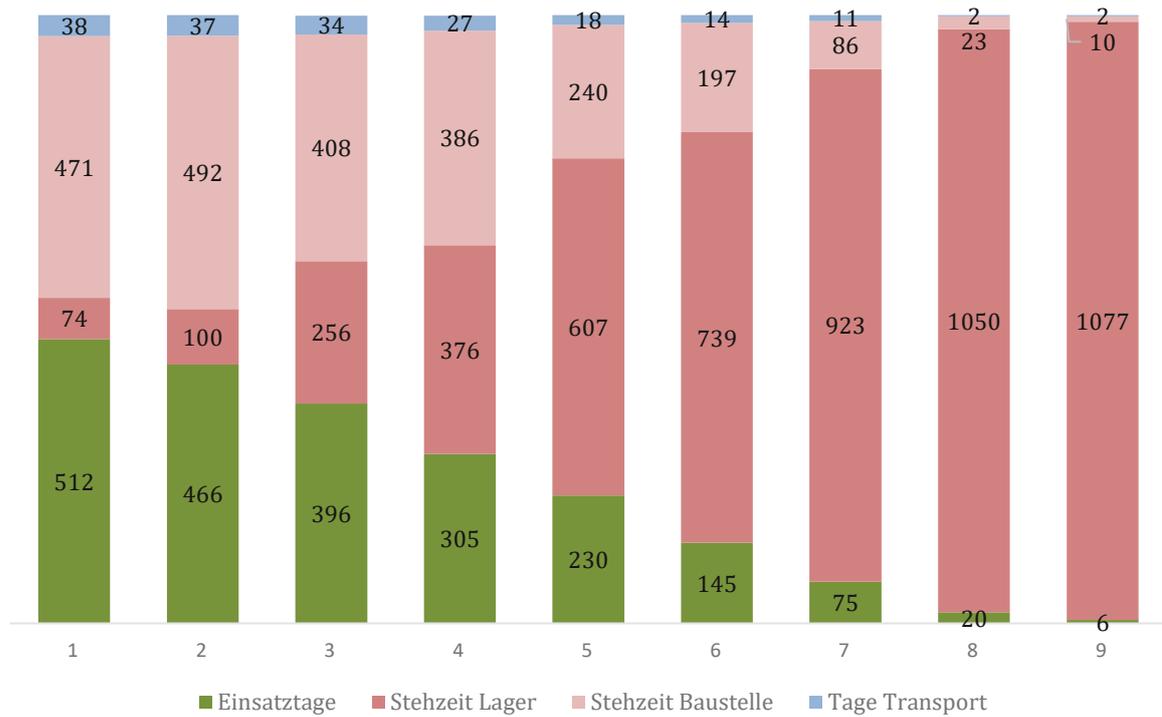


Abb. 7.26: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)

In Abb. 7.27 wird ersichtlich, dass bei D831 etwa 61 % der Transporte über kurze Strecken erfolgen. Das spiegelt eine ähnliche Aufteilung wie bei der kleineren Gerätegröße der Geräteart wider.

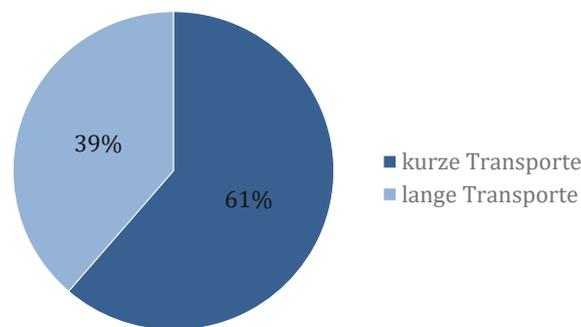


Abb. 7.27: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)

Genauere Details zu den Transportkennzahlen sind in Tab. 7.12 ersichtlich.

Tab. 7.12: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	463	152	22
davon kurze Transporte	284	95	14
davon lange Transporte	179	60	9
Gesamtlänge [km]	35 674,79	11 891,60	1 698,80

7.5.6 D832 (≤ 5.000 kg)

Die Simulationsergebnisse der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg) zeigen einen stetigen Rückgang der Auslastung, wobei lediglich 3 Geräte eine Auslastung von weniger als 10 % erreichen – wie in Abb. 7.28 dargestellt.

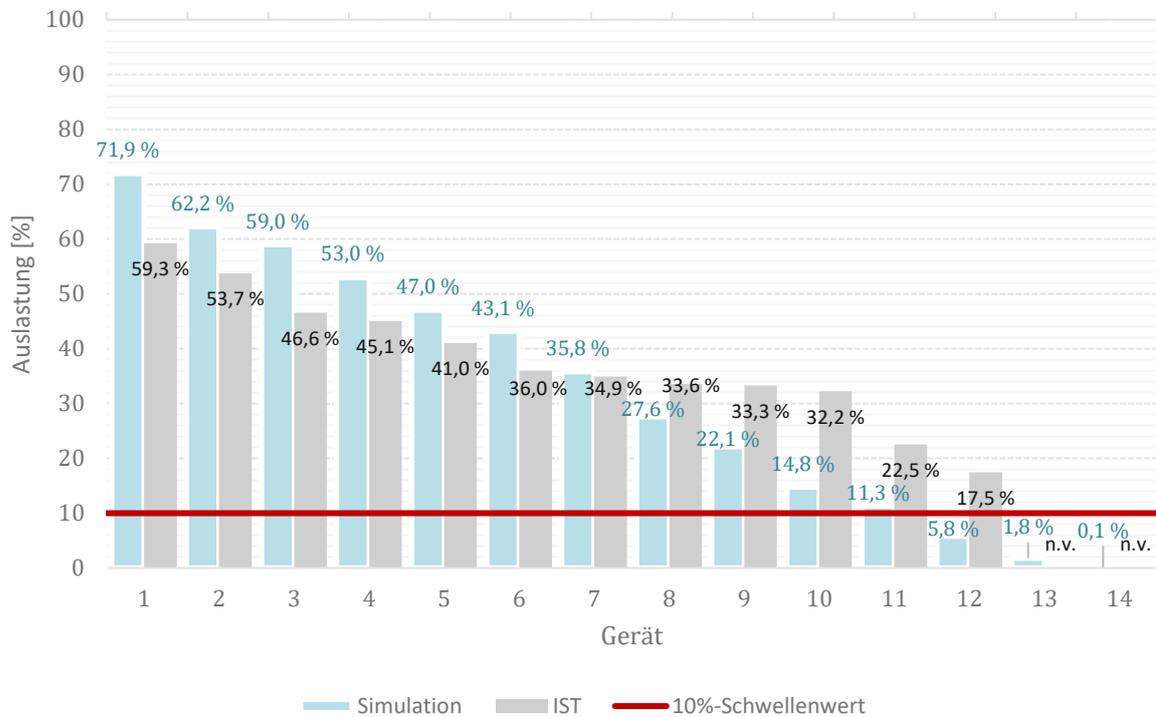


Abb. 7.28: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg)

Auch hier zeigt sich ein ähnliches Bild der Disposition wie bei D831 (> 16.000 kg): Es konnte lediglich ein Gerät eingespart werden, wodurch die durchschnittliche Auslastung um nur 2,75 % gesteigert werden konnte. Dies deutet darauf hin, dass die Geräte bereits sehr gut disponiert wurden. (siehe Tab. 7.13)

Tab. 7.13: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg)

Kennzahl	IST	Simulation	Δ
Geräteanzahl	12	11	-1
mittlere Auslastung über 3 Jahre	37,97%	40,72%	+2,75%

Abb. 7.29 zeigt die Verteilung der Nutzungstage der Geräte. Auffällig ist, dass bis zum 8. Gerät die Stehzeiten auf der Baustelle nahezu konstant bleiben. Ab dem 8. Gerät nehmen die Stehzeiten jedoch kontinuierlich ab. Aufgrund der optimierten Disposition müssten in einem Zeitraum von 3 Jahren insgesamt 52 Tage (= 17 Tage/Jahr) durch den Einsatz von Leihgeräten kompensiert werden.

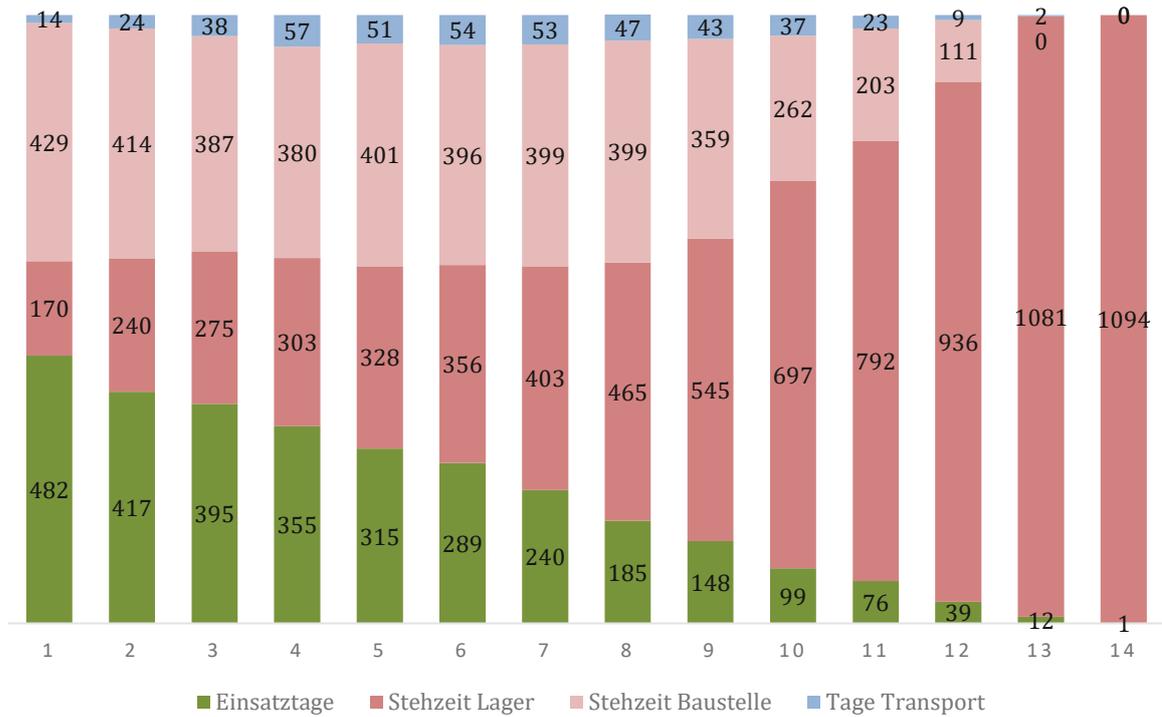


Abb. 7.29: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D832 ($\leq 5.000\text{kg}$)

In Abb. 7.30 wird ersichtlich, dass bei dieser Gerätegröße eine ausgeglichene Transportverteilung vorliegt, wobei 50 % der Transporte kurze und die übrigen 50 % lange Strecken abdecken.

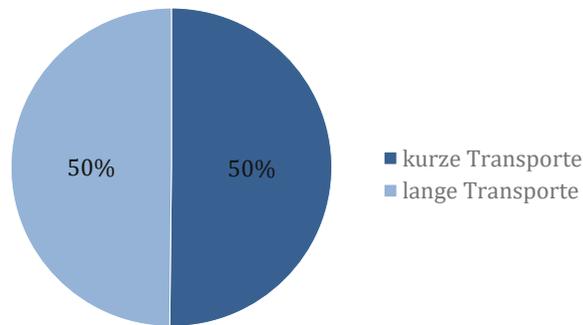


Abb. 7.30: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D832 ($\leq 5.000\text{ kg}$)

Die in Tab. 7.14 dargestellten Kennzahlen bieten einen Überblick über die wichtigsten Transportdaten dieser Gerätegröße.

Tab. 7.14: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D832 ($\leq 5.000\text{ kg}$)

Kennzahl	über 3 Jahre	pro Jahr	pro Jahr & pro Gerät
Anzahl Transporte	885	295	27
davon kurze Transporte	444	148	14
davon lange Transporte	441	147	13
Gesamtlänge [km]	49 171,68	16 390,56	1 490,05

7.5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Abschließend werden die ausgewerteten Potentiale einer optimierten Disposition unter Berücksichtigung der optimalen Parameter in Tab. 7.15 zusammengefasst. Eine Übersichtstabelle zeigt für jede Gerätegröße, wie viele Geräte durch die optimierte Planung eingespart werden können, wie stark sich die durchschnittliche Auslastung erhöht und an wie vielen Tagen der Einsatz von Leihgeräten erforderlich wäre. Diese Zusammenfassung ermöglicht einen direkten Vergleich der Verbesserungen über die verschiedenen Gerätegrößen hinweg und bietet einen Überblick über die erzielten Optimierungspotentiale.

Tab. 7.15: Zusammenfassung der Optimierungspotentiale der Simulationen

Kategorie	Geräte IST	Geräte Simulation	Δ Gerä- teanzahl	Δ mittlere Auslastung	Tage Leihgeräte
D830 ($\leq 2.500\text{kg}$)	10	7	-3	+12,69%	26 Tage/Jahr
D830 ($2.500 < x \leq 4.000\text{kg}$)	26	19	-7	+12,69%	56 Tage/Jahr
D830 ($4.000 < x \leq 7.000\text{kg}$)	7	5	-2	+13,29%	17 Tage/Jahr
D831 ($5.000 < x \leq 10.000\text{kg}$)	7	6	-1	+4,84%	19 Tage/Jahr
D831 ($> 16.000\text{kg}$)	8	7	-1	+5,18%	9 Tage/Jahr
D832 ($\leq 5.000\text{kg}$)	12	11	-1	+2,75%	17 Tage/Jahr

7.6 Zusammenfassung

In Kapitel 7 wird anhand von Simulationen untersucht, ob die in Kapitel 6.5 beschriebenen Verbesserungsvorschläge zu einer Optimierung des Dispositionsprozesses führen. Hierzu wird ausschließlich die Gerätegruppe „D.8.3 – Vibrationswalzen, Walzenzüge und Kombiwalzen“ gemäß BGL analysiert, die nach Anwendung der Boxplot-Methode insgesamt 78 Geräte umfasst. Zunächst erfolgt die Aufbereitung der erforderlichen Telematikdaten. Dabei wird differenziert, ob Betriebsstunden auf Baustellen oder auf Lagerplätzen anfallen. Anschließend werden den Baustellen präzise Koordinaten mittels Längen- und Breitengrad zugeordnet, um die Entfernungsberechnungen im Algorithmus zu ermöglichen.

Nach einer Optimierung der CSV-Dateien und einer ersten Plausibilitätsprüfung sowie der Validierung der Ergebnisse wird der Aufbau des Algorithmus im Detail erläutert. Mathematische Formeln und Code Ausschnitte werden herangezogen, um das Verständnis des verwendeten Codes zu fördern. Anschließend erfolgt die Kategorisierung der Geräte nach Gerätegrößen, um die Vergleichbarkeit innerhalb der Gruppe sicherzustellen. Da in den Algorithmus selbst definierte Parameter einfließen, werden mehrere Simulationen durchgeführt und die Ergebnisse in weiterführenden Gesprächen mit Experten im Unternehmen verfeinert. Die Ergebnisse, dargestellt in diversen Diagrammen, belegen, dass in allen untersuchten Gerätegrößen Einspar- bzw. Optimierungspotentiale vorhanden sind. In drei von sechs Kategorien wird eine mittlere Auslastungsverbesserung von über 12 % erzielt, während die übrigen drei bereits eine gute Auslastung aufweisen. Zudem ermöglicht eine optimierte Disposition in der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000 \text{ kg}$) die Einsparung von 7 Geräten, wodurch sich insgesamt ein Einsparpotential von 15 Geräten über alle Gerätearten hinweg realisieren ließe.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 1.3 formulierten Forschungsfragen aufgegriffen und unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Kapiteln 6 bis 7 beantwortet. Dabei werden praxisnahe Handlungsempfehlungen für zukünftige Entwicklungen abgeleitet. Zudem fasst das Kapitel die zentrale Problemstellung sowie die erzielten Forschungsergebnisse zusammen, um dem Leser einen klaren Überblick zu bieten. Abschließend wird ein Ausblick weitere Entwicklungen in diesem Bereich gegeben.

8.1 Zusammenfassung und Beantwortung der Forschungsfragen

Kapitel 1 dient als Einführung in die Thematik der Arbeit. Es beschreibt die Zielsetzung und die zugrunde liegende Motivation, grenzt den Untersuchungsbereich ab, formuliert die zentralen Forschungsfragen und stellt die gewählte Methodik dar. Abschließend wird ein Überblick über den strukturellen Aufbau der Arbeit gegeben.

In **Kapitel 2** erfolgt eine umfassende Darstellung der Grundlagen der BGL. Dabei werden die relevanten Begriffe definiert, die für die weitere Bearbeitung maßgeblich sind. Besonderes Augenmerk liegt auf der Gerätegruppe D.8.3, zu der Vibrationswalzen, Walzenzüge und Kombiwalzen gehören. Die Hauptmerkmale dieser Gruppe werden detailliert beschrieben, sodass eine einheitliche Basis für die weiteren Analysen geschaffen wird.

In **Kapitel 3** wird ein aktueller Überblick über den Stand der Digitalisierung in der Bauwirtschaft gegeben. Eine Studie von PwC aus dem Jahr 2024 zeigt, dass insbesondere in den Bereichen KI und IoT noch erhebliche ungenutzte Potentiale vorhanden sind. Obwohl die Möglichkeiten im Bereich Simulationstechnologien wachsen, blieb die konkrete Weiterentwicklung im Vergleich zum Vorjahr hinter den theoretischen Möglichkeiten zurück. Ergänzt werden diese Erkenntnisse durch konkrete Anwendungsfälle, die den erfolgreichen Einsatz von BIM und von KI in der Planung, im Baumanagement und in der Ausführung belegen. Aktuelle Entwicklungen werden in VR, AR und Cloud-Computing als wichtige Treiber der digitalen Transformation hervorgehoben.

Kapitel 4 widmet sich der Disposition im Bauwesen. Es wird dargestellt, wie dynamisch die Prozesse in diesem Bereich sind, da sie stark von Wetterbedingungen und dem Baufortschritt abhängig sind. Auf kleineren Baustellen erfolgt die Disposition häufig dezentral durch den vor Ort agierenden Bauleiter oder Polier, während bei komplexen Großprojekten eine zentrale Steuerung durch einen hauptverantwortlichen Disponenten bewährt hat. Zwei grundlegende Strategien werden unterschieden: Beim Push-Prinzip gibt der Disponent vorab definierte Transportzuweisungen weiter, während beim Pull-Prinzip die Zuweisung vor Ort eigenständig vorgenommen wird. Digitale Lösungen, die in allen Phasen der Gerätedisposition Anwendung finden, bieten bereits heute Ansatzpunkte zur Verbesserung, auch wenn deren flächendeckende Integration noch optimiert werden muss.

In **Kapitel 5** wird die Rolle von ERP-Systemen und Telematik in der modernen Bauwirtschaft beleuchtet. ERP-Systeme integrieren alle relevanten Geschäftsbereiche, von Einkauf über Produktion bis hin zur Lagerverwaltung, und basieren meist auf modularen Strukturen, die individuell angepasst werden können. Diese Systeme schaffen konsistente Datenflüsse und Transparenz, was eine effizientere Planung und fundierte Entscheidungen ermöglicht, allerdings auch erhebliche Ressourcen für Schulungen und Anpassungen erfordert. Parallel dazu verknüpft Telematik

Telekommunikation und Informatik, um Informationen in Echtzeit zu erfassen und zu übertragen. Insbesondere bei Fahrzeugflotten wird so die Effizienz und Sicherheit gesteigert, da Position und Zustand der Fahrzeuge kontinuierlich überwacht werden. Dabei gilt es jedoch, den Datenschutz sowie mögliche hohe Investitionskosten zu berücksichtigen.

Kapitel 6 untersucht die Datenlandschaft in der Gerätedisposition eines Unternehmens. Zunächst wurden die relevanten IST-Prozesse erhoben, um bestehende Abläufe und deren Schwachstellen zu identifizieren. Es zeigt sich, dass die Erfassung und Speicherung der Gerätedaten in unterschiedlichen Softwaresystemen erfolgt, was zu widersprüchlichen Informationen führt. Mithilfe der Boxplot-Methode werden Ausreißer eliminiert, sodass der Fokus auf Geräten mit durchschnittlichen Vorhaltetagen liegt. Ein Vergleich der tatsächlichen Vorhaltetage, welche auf Telematikdaten basieren, mit den im ERP-System hinterlegten Planungswerten ergibt Abweichungen von nahezu 50 %, was die Notwendigkeit einer verbesserten Datenzusammenführung unterstreicht. Anhand der identifizierten Schwachstellen werden konkrete Verbesserungsvorschläge erarbeitet, die eine zentrale Datenspeicherung und einen konsistenten Informationsfluss ermöglichen sollen. Auf Grundlage dieser Vorschläge wird anschließend ein IDEAL-Modell entwickelt, das den bestehenden Gerätedispositions-Prozess gezielt verbessert.

In **Kapitel 7** wird schließlich die praktische Wirksamkeit der Optimierungsvorschläge durch Simulationen geprüft. Anhand der Gerätegruppe D.8.3, die 78 Geräte umfasst, werden Telematikdaten detailliert aufbereitet und in einem Algorithmus verarbeitet. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass in allen untersuchten Gerätegrößen Einspar- und Effizienzpotentiale vorhanden sind. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass eine datenbasierte und digital unterstützte Optimierung der Disposition zu einer erheblichen Verbesserung der Abläufe führt.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse erfolgt abschließend die Beantwortung der Forschungsfragen, welche zu Beginn dieser Diplomarbeit definiert wurden.

1) Welche Strategien ermöglichen eine erhöhte Effizienz der Disposition von Baugeräten?

Es gibt verschiedene Ansätze, um die Disposition von Baugeräten effizienter zu gestalten. Ein Ansatz besteht darin, die unternehmensinternen Prozesse zu verändern, um das in Kapitel 6.6 beschriebene IDEAL-Modell zu erreichen. Das bedeutet einen Wechsel von einer eigenständigen Disposition durch das operative Personal hin zu einer zentral gesteuerten Disposition. Hierbei wird eine zentrale Ansprechperson, der Disponent, eingeführt, die sich intensiv mit der zeitaufwändigen, präzisen Planung der Baugeräteeinsätze befasst. Der Disponent bringt nicht nur viel Erfahrung mit, sondern betreut auch mehrere Bauleiter und Poliere und deren Baustellen, wodurch stets der Überblick über den Standort und die Verfügbarkeit der Geräte gewährleistet ist. Durch die Festlegung eines einheitlichen Ablaufs und die klare Definition der Rolle des Disponenten, der alle Informationen seines Baugebiets bündelt, wird eine gebietsübergreifende Disposition möglich. Die Ansprechpersonen sind eindeutig definiert, sodass bei Engpässen gezielt bei anderen Baugebieten ein Gerätebedarf gemeldet werden kann. Zudem ist es wichtig, dass Baugeräte regelmäßig von operativen Mitarbeitern freigemeldet werden, wenn sie nicht im Einsatz sind. Der Disponent soll aktiv die Kommunikation mit dem operativen Personal suchen und gezielt nachfragen, ob das Gerät noch benötigt wird, sobald ein Stillstand auf der Baustelle festgestellt wird.

Ein weiterer Ansatz zur Effizienzsteigerung ist die Einbindung digitaler Tools. Durch den

Einsatz geeigneter und maßgeschneiderter Softwarelösungen, die sowohl den Bedürfnissen der Disponenten als auch der operativen Mitarbeiter gerecht werden, kann die Kommunikation vereinheitlicht werden. Beispielsweise können Bestellformulare oder Statusabfragen genutzt werden, wodurch zahlreiche Telefonate entfallen und jeder jederzeit den aktuellen Stand der Bestellungen einsehen kann. Auch die Zusammenarbeit zwischen den Disponenten wird durch den transparenten Informationsfluss vereinfacht. Des Weiteren benötigt die Disposition stets aktuelle Gerätedaten, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Hierzu ist eine Schnittstelle zu bestehenden Systemen, wie ERP- oder Telematiksystemen, notwendig, um aktuelle Betriebsstunden und andere relevante Gerätedaten abzurufen und darzustellen.

Ein weiterer wichtiger Ansatz ist die kontinuierliche Datenanalyse, die entweder durch das Planungstool selbst oder durch externe Programme erfolgt. So können datenbasierte Vorschläge generiert werden, die dem Disponenten eine fundierte Entscheidungsgrundlage bieten. Falls die ausgewerteten Daten jedoch ineffiziente Prozesse oder Engpässe aufzeigen, wird ersichtlich, dass Anpassungen notwendig sind, um die Disposition weiter zu optimieren. Alle drei Strategien verfolgen das Ziel, die Effizienz der Disposition signifikant zu steigern.

2) Um wie viel kann die Effizienz der Disposition sowie Nutzungsgrad der Baugeräte durch Digitalisierung und Automatisierung erhöht werden?

Um diese Frage zu beantworten, wurde auf Basis des beschriebenen IDEAL-Modells ein Algorithmus entwickelt, der den idealen Dispositionsprozess simuliert und Optimierungspotentiale anhand Kennzahlen quantifiziert. Dabei werden Telematikdaten des Unternehmens für die Gerätegruppe „D.8.3 – Verdichtungsgeräte“ verwendet und die zuvor erläuterten Prozessverbesserungen integriert, um die Auswirkungen digitaler Anpassungen zu analysieren und verschiedene Szenarien zu bewerten. Wie bereits in Kapitel 7.4 erläutert, handelt es sich bei den verwendeten Telematikdaten für die Simulation um eine methodische Vereinfachung. Dabei entsprechen die erfassten Telematikdaten näherungsweise den produktiven Einsatztagen der Geräte. Der betrachtete Gesamtzeitraum von 670 Tagen stellt somit die maximal mögliche Anzahl produktiver Nutzungstage innerhalb von drei Jahren dar.

Zur realitätsnäheren Simulation fließen auch Parameter wie Transportzeiten, Geräteverfügbarkeiten und Stehzeiten der Geräte ein. Für jede Gerätekategorie werden mehrere Simulationsläufe durchgeführt. In Abstimmung mit Fachexperten wurden daraufhin geeignete Parameterwerte festgelegt, auf deren Grundlage die Ergebnisse zur Effizienzbewertung ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigen gerätespezifische Unterschiede (siehe Tab. 8.1):

- a) Geräteart D830: Der durchschnittliche Nutzungsgrad kann durch eine effiziente Disposition um ca. 13 % gesteigert werden, was einer Einsparung von insgesamt 12 Geräten entspricht.
- b) Geräteart D831: Für die Kategorien ($5.000 < x \leq 10.000$ kg) und (> 16.000 kg) beträgt das Einsparpotential ca. 5 %, wobei jeweils nur ein Gerät eingespart werden kann.
- c) Geräteart D832: Hier liegt das Einsparpotential bei lediglich 3 %.

Tab. 8.1: Zusammenfassung der Effizienzsteigerung

Kategorie	Δ Geräteanzahl	Δ mittlerer Nutzungsgrad
D830 ($\leq 2.500\text{kg}$)	-3	+12,69%
D830 ($2.500 < x \leq 4.000\text{kg}$)	-7	+12,69%
D830 ($4.000 < x \leq 7.000\text{kg}$)	-2	+13,29%
D831 ($5.000 < x \leq 10.000\text{kg}$)	-1	+4,84%
D831 ($> 16.000\text{kg}$)	-1	+5,18%
D832 ($\leq 5.000\text{kg}$)	-1	+2,75%

8.2 Diskussion

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ausschließlich eine Analyse historischer Daten aus dem betrachteten Unternehmen durchgeführt, während zukünftige Entwicklungen und Prognosen unberücksichtigt blieben. Zwar bietet dies eine solide Grundlage für erste Auswertungen, dennoch könnten laufende Analysen mit aktuellen Daten zusätzliche Erkenntnisse liefern, insbesondere zur Effizienz der Gerätenutzung. Außerdem wurden lediglich die durchschnittlich ausgelasteten Geräte einer einzigen Gerätegruppe über einem mittleren Anschaffungswert über 10.000 € simuliert. Die Einbeziehung weiterer Geräte aus mehreren Gerätegruppen sowie die Analyse mehrerer Baugebiete hätte ein umfassenderes Bild der Optimierungspotentiale ermöglicht und zusätzliche Ausreißer identifizieren können. Zudem hätte ein größerer Betrachtungszeitraum möglicherweise zu differenzierteren Erkenntnissen geführt.

Bei der Datenerfassung entstand zudem das Problem, dass die Koordinaten mancher Baustellen lediglich geschätzt werden konnten. Dies betrifft insbesondere Sammelkostenstellen, bei denen anhand der ERP-Daten und Tabellenkalkulationslisten nur schwer nachvollziehbar ist, wo sich das Gerät tatsächlich befindet. Diese Ungenauigkeiten können die Ergebnisse der Berechnung beeinflussen. Für weiterführende Analysen müssten zwar nicht alle täglichen Standorte gespeichert werden, jedoch sollten zumindest alle Transporte des Geräts und die jeweiligen Zielorte präziser festgehalten werden. Auf diese Weise ließen sich die tatsächlichen Transportwege genauer bestimmen und evaluieren. Zusätzlich wäre es sinnvoll, Schwellenwerte für den CO₂-Ausstoß und die Kosten pro Transport zu definieren. Diese könnten in den Algorithmus integriert werden, um optimale Transportabläufe zu klassifizieren. So ließe sich die Optimierung der Gerätedisposition auf Grundlage idealer Transportbedingungen gezielt analysieren.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Erfassung der täglichen Betriebsstunden. Obwohl, wie in Abb. 6.17 zu sehen ist, etwa 15 % der täglichen Betriebszeiten aller Geräte unter 0,25 Stunden liegen, wurden alle Tage gleichwertig behandelt. Dies erhöht zwar die Sicherheit der Analyse, da aus den Daten nicht eindeutig hervorgeht, ob die Geräte tatsächlich im Einsatz waren, aber für präzisere Aussagen wäre es sinnvoll, die tatsächlich erbrachte Leistung der Geräte mithilfe zusätzlicher Technologien detaillierter zu erfassen.

Der entwickelte Algorithmus basiert auf deterministischen Berechnungen, obwohl sich die Rahmenbedingungen in der Praxis dauernd ändern. Daher wäre es sinnvoll, Wahrscheinlichkeitsparameter in die Berechnung einzubeziehen. Als Beispiel dient das Wetter, das großen Einfluss auf die Disposition haben kann. Bei Regen könnte es sinnvoll sein, Geräte in Gebiete mit besseren Witterungsverhältnissen zu verlagern, was in der gegenwärtigen Analyse unberücksichtigt blieb. Zudem hätte eine genauere Differenzierung der definierten Arbeitstage laut BUAK-Kalender über

die drei Jahre (670 Tage) und der gesamten Tage im betrachteten Zeitraum (1095 Tage) zusätzliche Erkenntnisse liefern können. Eine Trennung in arbeitsfreie Tage und Arbeitstage hätte ermöglicht, einen besseren Überblick darüber zu gewinnen, an welchen Tagen Stehzeiten entstanden sind. Dies hätte genauere Aussagen über deren Ursachen ermöglicht und zu präziseren Schlussfolgerungen hinsichtlich der Dispositionseffizienz geführt.

Wie bei jeder Veränderung gibt es neben den potentiellen Vorteilen auch zahlreiche Herausforderungen. Hohe Kosten und ein beträchtlicher Aufwand für die Umsetzung, Widerstände im Unternehmen sowie Akzeptanzprobleme bei den Nutzern können den Fortschritt behindern und verlangsamen. Wie auch in der PwC-Studie [7, S. 11 f] dargestellt (siehe Kapitel 3.1), ist das Potential zur Steigerung der Digitalisierung groß, die Entwicklung erfolgt jedoch häufig langsamer. Es ist zudem wichtig zu beachten, dass der Einsatz digitaler Tools allein nicht ausreicht, wenn die erfassten Daten lediglich gespeichert, aber nicht genutzt werden. Eine tiefere Analyse dieser Daten könnte zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen. Die Ergebnisse der Simulationen verdeutlichen jedoch, dass insbesondere bei den untersuchten kleineren Gerätegrößen erhebliche Einsparungs- und Effizienzsteigerungspotentiale bestehen. Bei den analysierten größeren Gerätegrößen deutet die Auswertung darauf hin, dass die Disposition effizienter organisiert ist als bei den kleineren Gerätegrößen. Dennoch sollte berücksichtigt werden, dass die Gesamtkosten mehrerer kleiner Geräte in etwa denen einzelner Großgeräte entsprechen können. Abschließend sollte noch erwähnt werden, dass im Betrachtungszeitraum mit gewisser Sicherheit davon auszugehen ist, dass vereinzelt Geräte kurzfristig extern angemietet wurden. Dieser Aspekt wurde in der Optimierung nicht berücksichtigt, da keine verlässlichen Aufzeichnungen über Umfang und Häufigkeit solcher Kurzzeitmieten vorliegen. Dieser Aspekt sollte jedoch erwähnt werden, da entsprechende Anmietungen Einfluss auf die tatsächliche Auslastung des firmeneigenen Gerätstamms haben können.

8.3 Handlungsempfehlungen

Für eine nachhaltige Optimierung der Disposition im Unternehmen sind gezielte Maßnahmen erforderlich. Diese betreffen sowohl organisatorische als auch technologische Aspekte, um eine effizientere Ressourcennutzung zu gewährleisten.

1) Einrichtung zentraler Dispositionsstellen

Eine oder mehrere zentrale Dispositionsstelle sollte als koordinierende Einheit etabliert werden, um alle Geräteanfragen zu bündeln, eine einheitliche Datenbasis zu gewährleisten und die Verfügbarkeit über sämtliche Bauprojekte hinweg transparent zu steuern. Dadurch kann der Dispositionsprozess vereinfacht und die Ressourcennutzung optimiert werden. Für eine effiziente Disposition im Unternehmen sind auch qualifizierte Disponenten erforderlich, die fundierte Kenntnisse im Umgang mit dem digitalen Planungstool besitzen.

2) Nutzung von digitalen Planungstools

Das Planungstool muss nicht nur aktuelle Daten liefern, sondern auch die Entscheidungsfindung durch klar strukturierte und visuell aufbereitete Informationen unterstützen. Es sollte intuitive Bedienoberflächen bieten und alle relevanten Parameter, wie Geräteverfügbarkeit, Standortinformationen und geplante Einsätze, übersichtlich darstellen. Eine Integration mit anderen Unternehmenssystemen (z. B. ERP oder Telematiksysteme) könnte den

Datenaustausch verbessern und somit die Genauigkeit der Disposition erhöhen.

Besonders wichtig ist zudem die direkte Anbindung des operativen Personals, damit Informationen schnell und effizient erfasst sowie abgerufen werden können. Daher sollte das Planungstool einfach und schnell bedienbar sein, um eine durchgängige Nutzung im operativen Betrieb sicherzustellen und die Akzeptanz innerhalb des Unternehmens zu fördern.

3) **Laufende Erfassung und Analyse von Telematikdaten**

Eine fortlaufende Analyse von Telematikdaten ist essenziell, um den Geräteeinsatz zu überwachen und Optimierungspotentiale zu identifizieren. Unternehmen sollten in Systeme investieren, die eine automatisierte Erfassung und Auswertung dieser Daten ermöglichen. So können ineffiziente Einsatzzeiten frühzeitig erkannt und korrigiert werden. Dabei ist es besonders wichtig, nicht nur die reinen Betriebsstunden zu erfassen, sondern auch die Art ihrer Nutzung zu differenzieren, um zwischen produktiven und unproduktiven Einsatzzeiten wie Stillstand oder Transport unterscheiden zu können.

4) **Verbesserung der Datengrundlage**

Die Qualität der erhobenen Daten muss verbessert werden, um genauere Analysen und Prognosen zu ermöglichen. Besonders die Standortdaten sollten präziser erfasst werden, um Gerätebewegungen besser nachverfolgen zu können. Durch die Anbindung eines Planungstools hätte das operative Personal die Möglichkeit, Standortinformationen direkt einzupflegen. Dies würde nicht nur die Nachverfolgbarkeit der Geräte verbessern, sondern auch eine genauere Differenzierung der Sammelkostenstellen ermöglichen.

5) **Change-Management-Initiative**

Die Umstellung auf eine digitale Disposition erfordert nicht nur technologische Anpassungen, sondern auch ein Umdenken bei den Mitarbeitenden. Operatives Personal muss sich an neue Prozesse gewöhnen und lernen, dem Disponenten mehr Vertrauen zu schenken, während Disponenten selbst offen für digitale Systeme sein müssen. Unternehmen sollten den Wandel aktiv begleiten, indem sie eine Kultur der Lernbereitschaft fördern.

6) **Investition in zukunftsorientierte Technologien**

Auch wenn neue Technologien mit anfänglichen Investitionskosten verbunden sind, bieten sie langfristig erhebliche Vorteile. Unternehmen sollten Digitalisierung und Automatisierung gezielt vorantreiben, da sie zu Zeitersparnis, Risikominimierung und einer effizienteren Nutzung der Ressourcen führen. Es ist wichtig, digitale Innovationen nicht nur als Kostenfaktor zu betrachten, sondern als strategische Maßnahme zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit.

Die Kombination aus qualifiziertem Personal, einer zentralen Dispositionsstelle, leistungsfähigen digitalen Tools und einer kontinuierlichen Datenauswertung bildet die Grundlage für eine optimierte Disposition. Um das volle Potential auszuschöpfen, sollten Unternehmen sowohl technologische als auch organisatorische Maßnahmen konsequent umsetzen. Nur durch eine ganzheitliche Strategie können langfristige Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen realisiert werden.

8.4 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen bereits Potentiale zur Optimierung der Disposition und Nutzung von Baugeräten auf. Dennoch gibt es weiterhin offene Fragestellungen, die durch weiterführende Forschung adressiert werden sollten.

Ein zentraler Aspekt ist die Untersuchung der Transportbewegungen in einem optimierten Dispositionsprozess. Insbesondere bleibt unklar, ob eine effizientere Nutzung der Geräte tatsächlich zu einem Anstieg der Transportvorgänge führt. Dies könnte wiederum Auswirkungen auf die Betriebskosten und den CO₂-Ausstoß haben. Eine weiterführende Analyse sollte daher untersuchen, in welchem Ausmaß sich eine gesteigerte Auslastung der Geräte positiv auf Kosten und Emissionen auswirkt oder ob zusätzliche Transporte die potentiellen Einsparungen aufheben.

Ein weiterer Forschungsbedarf besteht in der Definition optimaler Schwellenwerte für Transportkosten und CO₂-Emissionen. Durch die Bestimmung eines Break-even-Points könnte ermittelt werden, ab welchem Punkt eine erhöhte Geräteauslastung die zusätzlichen Transportkosten kompensiert und eine tatsächliche Effizienzsteigerung erreicht wird. Dies würde die Grundlage für gezielte Entscheidungsprozesse in der Disposition schaffen.

Darüber hinaus wäre ein Kostenvergleich zwischen dem aktuellen IST-Prozess und dem vorgeschlagenen IDEAL-Prozess sinnvoll, um die wirtschaftlichen Effekte der Optimierung transparent zu machen. Künftige Untersuchungen sollten auch andere Gerätegruppen einbeziehen, um die Ergebnisse zu validieren und weitere Optimierungsmöglichkeiten zu erschließen.

Ein weiterer Untersuchungsaspekt betrifft den Umfang kurzfristiger Geräteanmietungen trotz eines bestehenden internen Gerätstamms. Der Einsatz von Machine-Learning-Algorithmen könnte dabei helfen, auf Basis historischer Einsatzdaten zukünftige Gerätebedarfe und Transportanforderungen vorherzusagen und automatisierte Dispositionsvorschläge zu generieren, um so eine effizientere und vorausschauende Disposition zu ermöglichen.

Langfristig wäre es sinnvoll, eine dynamische Optimierung der Disposition zu entwickeln, die nicht nur auf historischen Daten basiert, sondern auch externe Faktoren wie Wetterbedingungen, Baustellenverzögerungen oder kurzfristige Änderungen der Materialverfügbarkeit einbezieht. Dadurch könnte ein noch präziseres, realitätsnahes Modell zur Verfügung gestellt werden, das die Entscheidungsfindung weiter verbessert.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Übersicht der Zeitbegriffe nach BGL [3, S. 215].....	20
Abb. 2.2: Schemaskizze einer Tandem-Vibrationswalze [2, S. 204].....	21
Abb. 2.3: Schemaskizze eines Walzenzugs [2, S. 208].....	22
Abb. 2.4: Schemaskizze einer Vibrationskombiwalze [2, S. 246].....	22
Abb. 3.1: Einschätzung der Potentiale und tatsächlichen Fähigkeiten digitaler Technologien im Bauwesen [7, S. 11].....	24
Abb. 3.2: Trendanalyse (2020–2024) der Abweichung zwischen Potentialen und tatsächlichen Fähigkeiten im Bereich IoT-, BIM- und KI-basierter Technologien in der Bauindustrie [7, S. 12].....	24
Abb. 4.1: Aufgabenbereiche eines Disponenten im Bauwesen [20, S. 20].....	30
Abb. 4.2. Push-Prinzip in der Disposition im Bauwesen (In Anlehnung an <i>Sanladerer</i> [20, S. 25])....	33
Abb. 4.3: Pull-Prinzip in der Disposition im Bauwesen (In Anlehnung an <i>Sanladerer</i> [20, S. 26]).....	33
Abb. 5.1: Aufbau eines ERP-Systems [39].....	39
Abb. 5.2: Komponenten eines CAN-Bus Telematiksystems [43, S. 11].....	42
Abb. 5.3: Datenübertragung mittels CAN-Bus zwischen Baumaschine und Auswertungssystem (Backoffice Betreiber) [42].....	43
Abb. 6.2: Prozess zur Anpassung des Baugeräte-Fuhrparks durch operative Mitarbeiter (blau) und Gerätemanager (grün).....	48
Abb. 6.3: Darstellung unterschiedlicher Dispositionsstrategien im Unternehmen.....	49
Abb. 6.4: Schematische Darstellung eines Boxplots [45].....	51
Abb. 6.5: zentrale Disposition von Baugeräten.....	52
Abb. 6.6: D.1 – Hydraulikbagger und Zubehör: Tage auf Baustellen.....	53
Abb. 6.7: D.2 – Baggerlader und Zubehör: Tage auf Baustellen.....	54
Abb. 6.8: D.3 – Ladegeräte: Tage auf Baustellen.....	54
Abb. 6.9: D.6 – Muldenkipper und Vorderkipper (Dumper): Tage auf Baustellen.....	54
Abb. 6.10: D.8 – Verdichtungsgeräte: Tage auf Baustellen.....	55
Abb. 6.11: E.3 – Geräte für Transport und Einbau von heißen Mischgütern: Tage auf Baustellen.....	55
Abb. 6.12: E.5 – Geräte zur Deckenoberflächenbehandlung mit Bindemittel und Splitt: Tage auf Baustellen.....	56
Abb. 6.13: Screenshot aufbereiteter Export der Buchungsinformationen der Mieten aus dem ERP-System.....	57
Abb. 6.14: Gerätedisposition mittels Tabellenkalkulationsblatt von Baugebiet 1.....	59
Abb. 6.15: Gerätedisposition mittels Tabellenkalkulationsblatt von Baugebiet 2.....	59
Abb. 6.16: Beispielhafter Auszug aus dem Export der Telematikdaten aus dem ERP-System (Screenshot).....	60
Abb. 6.17: Prozentuale Verteilung der täglichen Betriebsstunden aller Geräte in verschiedenen Zeitintervallen (h/Tag).....	61
Abb. 6.18: Balkendiagramm der durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen.....	64
Abb. 6.19: Varianten zur Umsetzung einer einheitlichen zentralen Disposition in Baugebieten.....	72
Abb. 6.20: Darstellung einer möglichen Planungsansicht für den operativen Mitarbeiter.....	73
Abb. 6.21: Prozessmodell eines möglichen IDEAL-Prozesses.....	74

Abb. 6.22: beispielhafte Darstellungsform für eine Geräteanforderung	75
Abb. 6.23: Screenshot eines Gerätevorschlags im Geräte-Planungstool.....	75
Abb. 7.1: Auszug aus dem „Telematik-Blatt“ (Screenshot).....	81
Abb. 7.2: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 (≤ 2.500 kg), mit maximal 10 Geräten	82
Abb. 7.3: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg), mit maximal 26 Geräten	83
Abb. 7.4: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg), mit maximal 7 Geräten.....	84
Abb. 7.5: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D830 (> 7.000 kg), mit maximal 4 Geräten	84
Abb. 7.6: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg), mit maximal 7 Geräten	85
Abb. 7.7: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 ($10.000 < x \leq 16.000$ kg), mit maximal 3 Geräten.....	85
Abb. 7.8: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D831 (> 16.000 kg), mit maximal 8 Geräten.....	86
Abb. 7.9: Verteilung der Einsatztage nach Anzahl gleichzeitig eingesetzter Geräte für Geräteart D832 (≤ 5.000 kg), mit maximal 12 Geräten.....	86
Abb. 7.10: Beispielhafte Darstellung der Unterschiede der Algorithmen	89
Abb. 7.11: Darstellung der „Wartezeiten-Logik“	91
Abb. 7.12: Tabelle für Geräte der Geräteart D830 und einer Gerätegrößen von ≤ 2.500 kg.....	97
Abb. 7.13: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg).....	99
Abb. 7.14: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg) in Tagen	100
Abb. 7.15: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)	100
Abb. 7.16: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)	101
Abb. 7.17: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg).....	102
Abb. 7.18: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg)	102
Abb. 7.19: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg).....	103
Abb. 7.20: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg).....	104
Abb. 7.21: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg)	104
Abb. 7.22: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg)	105
Abb. 7.23: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg).....	106
Abb. 7.24: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg)	106
Abb. 7.25: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D831 (> 16.000 kg).....	107
Abb. 7.26: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg).....	108
Abb. 7.27: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg).....	108
Abb. 7.28: Simulierte Auslastung von Geräten der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg).....	109
Abb. 7.29: Aufteilung der Nutzungstage der Geräte der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg).....	110
Abb. 7.30: Anteil kurzer und langer Transporte der Geräte der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg)	110

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Systematische BGL-Klassifikation (am Beispiel eines Turmdrehkrans) [1].....	18
Tab. 6.1: Vergleich der durchschnittlichen Tage pro Jahr auf Baustellen für die untersuchten Gerätearten	62
Tab. 6.2: Zuordnung der Verbesserungsvorschläge zu den Schwachstellen	71
Tab. 7.1: Übersicht der Gerätegrößen und zugehörigen Geräteanzahl	79
Tab. 7.2: Zusammenfassung der optimalen Parameter für jede Gerätegröße	97
Tab. 7.3: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg).....	98
Tab. 7.4: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830 (≤ 2.500 kg)	101
Tab. 7.5: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg).....	101
Tab. 7.6: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg).....	103
Tab. 7.7: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg).....	103
Tab. 7.8: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D830 ($4.000 < x \leq 7.000$ kg).....	104
Tab. 7.9: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg)	105
Tab. 7.10: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D831 ($5.000 < x \leq 10.000$ kg)	106
Tab. 7.11: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)	107
Tab. 7.12: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D831 (> 16.000 kg)	108
Tab. 7.13: Durchschnittliche Auslastung und Anzahl der Geräte der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg)..	109
Tab. 7.14: Zusammenfassung der Transportkennzahlen der Geräte der Kategorie D832 (≤ 5.000 kg)	110
Tab. 7.15: Zusammenfassung der Optimierungspotentiale der Simulationen.....	111
Tab. 8.1: Zusammenfassung der Effizienzsteigerung	115

Literaturverzeichnis

- [1] Bauverlag BV GmbH, „Baugerätliste 2020,“ Bauverlag BV GmbH, 1 12 2020. [Online]. Available: <https://www.bgl-online.info/basisinformation/>. [Zugriff am 12 03 2025].
- [2] H. König, Maschinen im Baubetrieb, Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2014.
- [3] G. Girmscheid und C. Motzko, Kalkulation, Preisbildung und Controlling in der Bauwirtschaft, Zürich/Darmstadt: Springer-Verlag, 2007.
- [4] M. Duschel, W. Plettenbacher und M. Stopfer, Handbuch Arbeitsvorbereitung und Lean Construction im Baubetrieb, Linde Verlag Ges.m.b.H., 2020.
- [5] C. Hofstadler und C. Motzko, Agile Digitalisierung im Baubetrieb, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023.
- [6] R. Schütte, M. Harr, T. Wulfert und D. Syfuß, „Digitalisierung in der Bau- und Handwerksbranche – Herausforderungen für die Gestaltung digitaler End-to-End-Wertschöpfungssysteme,“ Springer, Essen, 2024.
- [7] PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungs- und Beratungsgesellschaft, *Die Bauindustrie weiter im Umbruch: Fehlendes Know-how und Bürokratie bremsen*, 2025.
- [8] S. Rothenbusch und S. Kauffeld, „Veränderungspotenziale durch die Digitalisierung der gewerkübergreifenden Kooperation von kleinen und mittleren Unternehmen im Baugewerbe in Richtung Building Information Modeling (BIM) – Eine Fallanalyse,“ *Zeitschrift Gruppe. Interaktion. Organisation. (GIO)* , SS. 299-317, 6 August 2020.
- [9] G. Fleischmann und F. J. Peer, „Integration von BIM und GIS durch effektives Datenmanagement,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 185-194.
- [10] S. Payr, A. Harnisch, S. Pölzl, M. Sayin-Fritsch und M. Hohenegger, „Einsatz von BIM und Lean Management in der ASFINAG,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 129-148.
- [11] J. Gäbler und M. Otzdorff, „Digitale Transformation im Bauwesen,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 261-278.
- [12] S. Heid und K. Kos, „Künstliche Intelligenz im Bauwesen: Die neu Ära – Effizienzsteigerung und Innovationen in der Baubranche,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 97-112.
- [13] M. Weigert, L. Winkler und G. Goger, „Künstliche Intelligenz im Baubetrieb: Best Practices, Potenziale und Grenzen,“ *bauaktuell 2021*, S. 83, 12 04 2021.
- [14] M. Behaneck, „Aktueller Stand zur Künstlichen Intelligenz (KI) im Bauwesen,“ *Computer Spezial 02/2022*, 2 2022.
- [15] L. T. Lenz und S. C. Becker, „Digitale Geschäftsprozesse und neue Geschäftsmodelle im Baubetrieb: Prozesse im Baubetrieb mit hohen Digitalisierungs- und

Optimierungspotenzialen,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 531-557.

- [16] J. Heinrich, „Digitalisierung Baubranche: Statistiken und 13 neue Technologien,“ PlanRadar GmbH, 24 04 2024. [Online]. Available: <https://www.planradar.com/de/digitalisierung-baubranche/> [Zugriff am 24 02 2025].
- [17] M. Hemberger, „Die Schalungs- und Gerüsttechnik auf dem Weg der agilen Digitalisierung,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 113-125.
- [18] Allied Market Research, „IoT In Construction Market Size, Share & Forecast By 2031,“ Allied Market Research, März 2023. [Online]. Available: <https://www.alliedmarketresearch.com/iot-in-construction-market-A07565>. [Zugriff am 12 03 2025].
- [19] W. Sprenger, F. Schley und J. Hoffmann, „BIM und Datenintegration: Aktuelle technologische Entwicklungen der Software-Industrie und deren Bezug zur mehrheitlichen inhaltlich strategischen Ausrichtung von BIM-Anwender*innen und -Gremien,“ in *Agile Digitalisierung im Baubetrieb*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2023, SS. 225-243.
- [20] S. Sanladerer, *EDV-gestützte Disposition mit Telematikeinsatz und mobiler Datenerfassung in der Baulegistik*, München: Technische Universität München, 2008.
- [21] P. R. Wildemann, S. Munker, L. Kirner, J. Mackh und S. Brell-Cokcan, „ioc:cro Ressourcenontologie – Eine Ontologie für Baugeräte IoC Construction Resource Ontology,“ in *IoC - Internet of Construction*, Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2024, SS. 279-324.
- [22] H. Wannewetsch, *Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- [23] T. Gudehus, *Dynamische Disposition*, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012.
- [24] R. Chipana, I. Portilla, S. Rodriguez und A. Hinojosa, „Optimization of the use of construction equipment through the development of a digital tool,“ Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), Lima, 2021.
- [25] 123erfasst.de GmbH, „Effizientes Baugerätemanagement für deinen Fuhrpark,“ 31 März 2021. [Online]. Available: <https://123erfasst.de/geraetemanagement-software/>. [Zugriff am 12 03 2025].
- [26] RMStegos GmbH, „Gerätedisposition am Bau,“ [Online]. Available: <https://connect-bau.de/geraetedisposition> [Zugriff am 12 03 2025].
- [27] Stilog I.S.T., „Bauplanungssoftware,“ Stilog I.S.T., [Online]. Available: <https://www.visual-planning.com/en/why-visual-planning/solutions/construction-scheduling-software>. [Zugriff am 13 03 2025].
- [28] OneStop Pro Software Solutions GmbH, „Sechs Vorteile der digitalen Disposition,“ [Online]. Available: <https://www.onestop-pro.com/de/digitale-disposition-vorteile/>. [Zugriff am 12 03 2025].

- [29] S. Abishek, P. Prabakaran, A. Aswin bharath und Sindhu vaardhini, „OPTIMIZING RESOURCE ALLOCATION AND SCHEDULING IN CONSTRUCTION PROJECTS USING AI & OPTIMIZATION ALGORITHMS,“ *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, Nr. 08, 2024.
- [30] E. Schaper, „Das Neue Modul „Disposition“ in SAM,“ syniotec GmbH, [Online]. Available: <https://syniotec.de/disposition-software-baustelle/> [Zugriff am 13 03 2025].
- [31] T. S. Santos Machado, L. Leal de França und C. Jefferson de Melo Santos, „TRANSFORMING CONSTRUCTION WITH INNOVATION IN LOGISTICS: A STUDY CASE,“ *Revista Produção Online*, Florianópolis, 2024.
- [32] F. Will, „Automatisierte Baumaschinen und Robotik,“ GWT-TUD GmbH, Dresden, 2023.
- [33] A. U. KHAN, L. HUANG, E. ONSTEIN, und Y. LIU, „Overview of Emerging Technologies for Improving the Performance of Heavy-Duty Construction Machines,“ *IEEEAccess*, Gjøvik, 2022.
- [34] D. Kifokeris und C. Koch, „A conceptual digital business model for construction logistics consultants, featuring a sociomaterial blockchain solution for integrated economic, material and information flows,“ *Journal of Information Technology in Construction*, Denmark, 2020.
- [35] D. Kifokeris und C. Koch, „Blockchain in construction logistics: state-of-art, constructability, and the advent of a new digital business model in Sweden,“ in *2019 European Conference on Computing in Construction*, Chania, 2019.
- [36] W. Seiringer, „Planung und Unterstützung der Entscheidungsfindung für die AUswahl eines ERP-Systems eines mittelständischen Unternehmens,“ TU Wien: Institut für Informationssysteme, Wien, 2007.
- [37] A. Kopinits, „Der Beschaffungs- und Produktionsvorgang in der Global Bike Austria GmbH nach der Systemumstellung auf SAP S/4HANA,“ TU Wien: Institut für Managementwissenschaften, Wien, 2021.
- [38] M. Ali und L. Miller, „ERP system implementation in large enterprises – a systematic literature review,“ *Journal of Enterprise Information Management*, Bd. 30, Nr. 4, SS. 666-692, 2017.
- [39] GITO mbH Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation, „Alles über ERP! Der komplette Guide,“ GITO mbH Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation, [Online]. Available: <https://erp-management.de/alles-ueber-erp-der-komplette-guide/>. [Zugriff am 16 03 2025].
- [40] P. Pattanaik und L. Goswami, „Workings & issues allied with telematics system,“ *Materials Today: Proceedings*, S. 148–151, 2021.
- [41] W. W. Osterhage, „Telematik,“ in *Sicherheitskonzepte in der mobilen Kommunikation*, Berlin, Springer-Verlag GmbH, 2018, SS. 139-151.
- [42] S. Kessler, J. Wimmer und W. Günthner, „Baumaschinen Flottenmanagement mit Telematik – Benefit für den Betreiber,“ Technische Universität München, Lehrstuhl fml, München, 2012.

- [43] W. Günthner, B. Vogel-Heuser, A. Kargul, N. Hietschold, S. Rehberger und S. Kessler, „BauFlott – Entwicklung eines Flottenmanagementsystems für Baumaschinen,“ Technische Universität München, Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, München, 2016.
- [44] P. Dirk, Baustatistik for Beginners, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2023, SS. 22-24.
- [45] D. Team, „DATAtab: Online Statistics Calculator,“ DATAtab e.U., 2023. [Online]. Available: <https://datatab.de/tutorial/boxplot>. [Zugriff am 01 02 2025].
- [46] F. J. Gruber, R. Joeckel und G. Austen, Formelsammlung für das Vermessungswesen, Wiesbaden: Springer Vieweg, 2024.
- [47] GeoPy Contributors, „Welcome to GeoPy’s documentation!,“ GeoPy Contributors, [Online]. Available: <https://geopy.readthedocs.io/en/stable/#module-geopy.distance>. [Zugriff am 09 02 2025].
- [48] J. Freund und B. Rücker, Praxishandbuch BPMN, Bd. 6.Auflage, München: Carl Hanser Verlag München, 2019, SS. 40-43.

Anhang

Anhang A1

Gedächtnisprotokoll

Teilnehmer: Fachexperte 1; Fachexperte 2; Igor Todić

Thema: Analyse und Simulationsergebnisse

Datum: 19.02.2025

1) Auswertung der ersten Tabelle (Geräteart D830)

a) Erklärung der Tabelle

Zu Beginn wurde die erste Tabelle mit den Simulationsergebnissen für die Geräteart D830 vorgestellt. Fachexperte 1 berechnete nach einer kurzen Einführung die Anzahl der Transporte pro Gerät und Jahr. Ziel war es, die Plausibilität der berechneten Werte zu überprüfen und zu bewerten, ob die ermittelte Transportanzahl realistisch oder zu hoch ist.

b) Kritische Betrachtung der Auslastung

Zur besseren Bewertung wurde eine 10 %-Grenze für alle Gerätekategorien eingeführt (mindestens 67 Tage Einsatztage in 3 Jahren) (siehe Kap. 7.5.1). Geräte mit einer Auslastung unterhalb dieser Grenze gelten als wirtschaftlich nicht sinnvoll und könnten durch Leihgeräte substituiert werden.

c) Vorschläge zur besseren Verständlichkeit

Fachexperte 1 schlug vor, die Gesamtauswertung zusätzlich auf ein einzelnes Jahr herunterzubrechen, um die Zahlen leichter interpretierbar zu machen. Die Darstellung soll jedoch weiterhin den Zeitraum von drei Jahren abdecken, um langfristige Entwicklungen sichtbar zu halten.

2) Definition von Parametern und Überprüfung des IST-Stands

a) Parameter für die erste Gerätekategorie D830 (≤ 2.500 kg)

Für diese Kategorie wurden folgende Simulationsparameter festgelegt:

- i) Transportdistanz: 50 km bzw. 150 km
- ii) Wartezeit: 2 Tage

b) Prüfung auf Geräte mit Auslastung unter 10 %

Eine Gegenprüfung ergab, dass im aktuellen Bestand keine Geräte unter 10 % Auslastung liegen. Ein Ausschluss aufgrund zu geringer Auslastung ist damit nicht möglich.

3) Zweite Gerätegröße und Verteilung der Baustellen

a) Darstellung der Verteilung der Baustellen:

Bei der Betrachtung der Kategorie D830 ($2.500 < x \leq 4.000$ kg) erwies sich die Baustellenkarte als besonders hilfreich. Fachexperte 2 betonte, dass bei größeren Entfernungen zwischen Standorten höhere Parameterwerte erforderlich sind (z. B. größere Transportreichweiten), um die Geräte effizient einsetzen zu können.

b) Einschränkung bei D830 > 7.000 kg

Die Gerätekategorie D830 mit über 7.000 kg umfasst lediglich 4 Geräte. Diese geringe Anzahl genügt nicht zur statistisch belastbaren Auswertung. Daher wurde beschlossen, diese Kategorie, sowie weitere Gerätegrößen mit gleicher bzw. geringer Geräteanzahl, in der weiteren Analyse nicht weiter zu berücksichtigen.

4) Besonderheiten bei Walzenzügen (über 16.000 kg)

a) Zusammenhang von Transportdistanz und Neuwert

Fachexperte 1 stellte fest, dass die gewählte Transportdistanz mit dem durchschnittlichen Neuwert der Geräte korreliert. Höherwertige Geräte werden tendenziell über größere Distanzen eingesetzt, was eine höhere Reichweite als sinnvoll erscheinen lässt.

Anhang A2

Hinweis: Der folgende Code wurde zur besseren Lesbarkeit in Word formatiert (Tabstopps und Leerzeichen). In dieser Form ist er nicht ausführbar und muss vor der Nutzung entsprechend angepasst werden.

```
1   # Copyright (c) 2025 Igor Todic
2   # Alle Rechte vorbehalten. Dieser Code darf nicht ohne ausdrückliche Genehmigung
3   verwendet oder weitergegeben werden.
4   import csv
5   from datetime import datetime, timedelta
6   from geopy.distance import geodesic
7   from transporte_output import transporte_output
8
9   # =====
10  # Grundlegende Parameter
11  # =====
12  # Parameter für die Auslastung
13  GESAMTZEITRAUM_TAGE = 670      # Fester Gesamtzeitraum für die Auslastungsberechnung
14  MAX_AUSLASTUNG = 0.95        # Höchstauslastung eines Geräts
15
16  # Parameter für Reichweite und Transportzeit
17  REICHWEITE_KM1 = _____   # Maximale Reichweite für Transportzeit 1
18  REICHWEITE_KM2 = _____   # Maximale Reichweite für Transportzeit 2
19  TRANSPORTZEIT_TAGE1 = 0.5    # Transportzeit für Reichweite <= REICHWEITE_KM1
20  TRANSPORTZEIT_TAGE2 = 1.0    # Transportzeit für Reichweite zw. REICHWEITE_KM1 und
21  REICHWEITE_KM2
22
23  MAX_STEHZEIT = _____     # Maximale Stehzeit bevor das Gerät zum Lager
24  transportiert wird
25
26  WARTEZEIT_TAGE = _____   # Wartezeit in Tagen
27
28  # Lagerstandorte
29  lager_liste = [,
30      {'name': 'Lager B', 'position': (48.4....., 15.6.....)},
31      {'name': 'Lager C', 'position': (48.3....., 14.3.....)},
32      {'name': 'Lager D', 'position': (48.0....., 16.2.....)},
33      {'name': 'Lager E', 'position': (48.1....., 16.4.....)}]
34
35  # =====
36  # Einlesen der Bestellungen
37  # =====
38  # Klasse für Bestellungen
39  class Bestellung:
40      def __init__(self, id, bezeichnung, laengengrad, breitengrad, datum_von,
41                  datum_bis, ist_lager=False):
42          self.id = id
43          self.bezeichnung = bezeichnung
44          self.laengengrad = float(str(laengengrad).replace(',', ' '))
45          # inkl. Datenformatierung
46          self.breitengrad = float(str(breitengrad).replace(',', ' '))
47          # inkl. Datenformatierung
48          self.position = (self.breitengrad, self.laengengrad)
49          self.datum_von = datum_von if isinstance(datum_von, datetime) else
50          datetime.strptime(datum_von, '%d.%m.%Y')
51          # inkl. Prüfung auf Datumsformat
52          self.datum_bis = datum_bis if isinstance(datum_bis, datetime) else
53          datetime.strptime(datum_bis, '%d.%m.%Y')
54          # inkl. Prüfung auf Datumsformat
55          self.einsatzstage = (self.datum_bis - self.datum_von).days + 1 if ist_lager ==
56          False
```

```

57         else 0
58         self.zugewiesen = False           # Flag, ob Bestellung zugewiesen wurde
59         self.geraet_nummer = None        # Zugewiesenes Gerät
60         self.stehzeit = None            # Stehzeit zur vorherigen Bestellung auf
61                                         demselben Gerät
62         self.ist_lager = ist_lager      # Gibt an, ob es sich um einen Lageraufenthalt
63                                         handelt
64
65     # Bestellungen aus CSV-Datei einlesen und in Liste speichern
66     def lese_bestellungen(datei_pfad):
67         bestellungen = []
68         with open(datei_pfad, newline='', encoding='latin1') as csvfile:
69             leser = csv.DictReader(csvfile, delimiter=',')
70             for idx, row in enumerate(leser):
71                 bestellung = Bestellung(
72                     id=idx,
73                     bezeichnung=row['bezeichnung'],
74                     laengengrad=row['laengengrad'],
75                     breitengrad=row['breitengrad'],
76                     datum_von=row['datum_von'],
77                     datum_bis=row['datum_bis'])
78                 # Nur Bestellungen innerhalb des definierten Gebiets berücksichtigen mit
79                 if-Abfrage
80                 if (12.75 <= bestellung.laengengrad <= 17.16 and
81                     47.45 <= bestellung.breitengrad <= 49.0):
82                     #Beispielwerte für das definierte Gebiet
83                     bestellungen.append(bestellung)
84             return bestellungen
85
86     # =====
87     # Zuweisungsverfahren
88     # =====
89     # Hauptfunktion
90     def main():
91         bestellungen = lese_bestellungen('____.csv')
92         # Sortiere Bestellungen nach Startdatum
93         bestellungen.sort(key=lambda b: b.datum_von)
94
95         #Kopie der Bestellungen, die noch nicht zugewiesen wurden,
96         #weil die Liste während der Schleife verändert wird
97         unzugewiesene_bestellungen = bestellungen.copy()
98
99         # Eine leere Liste, die verwendet wird, um die Geräte zu speichern.
100        geraete = []
101        geraet_nummer = 1 # Startnummer für das erste Gerät
102
103        geraete_auslastungen = {} # Dictionary zur Speicherung der Auslastung jedes
104                                   Geräts
105
106        # Liste aller Bestellungen inklusive Lageraufenthalte
107        alle_bestellungen = []
108
109        while unzugewiesene_bestellungen:
110            print(f"\nStarte Zuweisung für Gerät {geraet_nummer}")
111
112        #Erstellung des Geräteplans, in dem die Bestellungen für das aktuelle Gerät
113        gespeichert werden
114            geraet_plan = []
115            belegte_tage = 0
116            aktuelle_bestellung = None # Aktuelle Bestellung
117            aktuelle_position = None # Aktuelle Position des Geräts
    
```

```

118     vorherige_bestellung = None # Vorherige zugewiesene Bestellung
119
120     # starte mit der ersten Bestellung
121     # Suche die früheste unzugewiesene Bestellung
122     for b in unzugewiesene_bestellungen: # b = Bestellung
123         aktuelle_bestellung = b
124         break # Beende die Schleife nach der ersten Bestellung
125     if aktuelle_bestellung is None:
126         break # Keine Bestellungen mehr übrig
127
128     # Anfangsposition ist die Position der ersten Bestellung
129     aktuelle_position = aktuelle_bestellung.position
130
131     # Füge die erste Bestellung hinzu
132     geraet_plan.append(aktuelle_bestellung)
133     # Füge die erste Bestellung zum Geräteplan hinzu
134     belegte_tage += aktuelle_bestellung.einsatzstage # Addiere die Einsatzstage
135                                                         der ersten Bestellung
136     unzugewiesene_bestellungen.remove(aktuelle_bestellung)
137     # Entferne die Bestellung aus der Liste der unzugewiesenen Bestellungen
138     aktuelle_bestellung.zugewiesen = True
139     aktuelle_bestellung.geraet_nummer = geraet_nummer
140     aktuelle_bestellung.stehzeit = None # Erste Bestellung hat keine Stehzeit
141     vorherige_bestellung = aktuelle_bestellung # Setze vorherige Bestellung
142     alle_bestellungen.append(aktuelle_bestellung) # gemachte Bestellung wird in
143     die Liste aller Bestellungen aufgenommen, dadurch wird die Reihenfolge
144     beibehalten
145
146     while True: # Schleife, um die nächste Bestellung zu finden
147         naechste_bestellung = None
148
149         # =====
150         # WARTZEIT-LOGIK:
151         # =====
152         # Diese Logik wird ausgeführt, wenn wir eine vorherige_bestellung haben,
153         # die keine Lagerbestellung ist (also ist_lager=False)
154         if vorherige_bestellung and not vorherige_bestellung.ist_lager:
155
156             # Extrahiere Standortinformationen der vorherigen Bestellung
157             standort_bez = vorherige_bestellung.bezeichnung
158             standort_lat = vorherige_bestellung.breitengrad
159             standort_lon = vorherige_bestellung.laengengrad
160             standort_bis = vorherige_bestellung.datum_bis
161
162             # Berechne W_warte = datum_bis + Wartezeit
163             W_warte = vorherige_bestellung.datum_bis +
164                 timedelta(days=WARTZEIT_TAGE)
165             # Ausagbe ist ein Datum
166
167             # Prüfe Bestellung am selben Standort mit datum_von <= W_warte
168             gleiche_standort_bestellung = None
169             # sucht nach Bestellungen, die Bezeichnung und Position teilen
170             for bestellungen_kandidat in unzugewiesene_bestellungen:
171                 if (bestellungen_kandidat.bezeichnung == standort_bez and
172                     bestellungen_kandidat.breitengrad == standort_lat and
173                     bestellungen_kandidat.laengengrad == standort_lon and
174                     bestellungen_kandidat.datum_von > standort_bis):
175                     # Prüfe, ob Bestellung vor oder am W_warte-Datum liegt
176                     if bestellungen_kandidat.datum_von <= W_warte:
177                         gleiche_standort_bestellung = bestellungen_kandidat
178                         break
    
```

```

179         # Prüfe W_warte + 1
180         # Wenn für W_warte keine Bestellung gefunden wurde, prüfe W_warte+1
181         # ...soll die Arbeit des Disponenten abbilden, der telefonisch
182         nachfragt,
183         # ob das Gerät am nächsten Tag abgeholt werden kann
184         if not gleiche_standort_bestellung:
185             W_warte_plus1 = W_warte + timedelta(days=1)
186             for bestellungs_kandidat in unzugewiesene_bestellungen:
187                 if (bestellungs_kandidat.bezeichnung == standort_bez and
188                     bestellungs_kandidat.breitengrad == standort_lat and
189                     bestellungs_kandidat.laengengrad == standort_lon):
190                     if bestellungs_kandidat.datum_von == W_warte_plus1:
191                         gleiche_standort_bestellung = bestellungs_kandidat
192                         break
193
194         # Wenn für W_warte oder W_warte+1 eine Bestellung gefunden wurde,
195         # bleibt das Gerät am gleichen Standort:
196         if gleiche_standort_bestellung:
197             naechste_bestellung = gleiche_standort_bestellung
198             naechste_bestellung.stehzeit = (naechste_bestellung.datum_von -
199             vorherige_bestellung.datum_bis).days -1
200         else:
201             # Keine Bestellung am selben Standort nach Wartezeit oder
202             Wartezeit+1
203             # Gerät ist ab W_warte frei, den Standort zu verlassen
204             # Setze anreise_datum = W_warte, um von nun an nach anderen
205             Bestellungen zu suchen
206             anreise = W_warte
207             # Kein naechste_bestellung gesetzt -> es wird gleich nach normalen
208             Bestellungen gesucht.
209
210         # Wenn naechste_bestellung noch None ist, normale Suche nach
211         Bestellungen/Lager
212         if naechste_bestellung is None:
213             for b in unzugewiesene_bestellungen:
214                 #=====
215                 # TRANSPORTZEIT-BEDINGUNG
216                 #=====
217                 # Berechne Distanz zwischen aktueller Position und Kandidat
218                 distanz = geodesic(aktuelle_position, b.position).km
219                 # Bestimme die entsprechende Transportzeit basierend auf der
220                 Distanz
221                 if distanz <= REICHWEITE_KM1:
222                     Transportzeit = TRANSPORTZEIT_TAGE1
223                 elif distanz <= REICHWEITE_KM2:
224                     Transportzeit = TRANSPORTZEIT_TAGE2
225                 else:
226                     continue # Distanz zu groß, nächste Bestellung prüfen
227                 # Berechne Anreisedatum basierend auf der Transportzeit
228                 anreise_datum = anreise + timedelta(days=Transportzeit)
229
230                 # Berechnung der Stehzeit
231                 stehzeit = (b.datum_von - vorherige_bestellung.datum_bis).days -1
232                 - int(Transportzeit)
233                 # -1 um den Zeitabstand zwischen zwei Bestellungen zu erhalten
234
235                 if stehzeit < 0:
236                     stehzeit = 0
237
238                 # Nachdem die Stehzeit berechnet wurde, wird sie der Bestellung
239                 zugewiesen
    
```

```

240         b.stehzeit = stehzeit
241
242         #=====
243         # AUSLASTUNGS-BEDINGUNG
244         #=====
245         # wird vor Prüfung der MAX_STEHZEIT gesetzt, um vorab zu prüfen,
246         # ob die Bestellung zugewiesen werden kann
247         # Temporäre Berechnung der neuen Auslastung (neue Variable,
248         # um die aktuelle Auslastung nicht zu überschreiben)
249         aktuelle_belegte_tage = belegte_tage + b.einsatzstage
250         aktuelle_auslastung = aktuelle_belegte_tage / GESAMTZEITRAUM_TAGE
251         if aktuelle_auslastung >= MAX_AUSLASTUNG:
252             continue
253         # Max. Auslastung würde überschritten, nächste Bestellung prüfen
254
255         # =====
256         # Lager-Logik
257         # =====
258         # Prüfe, ob die Stehzeit die maximale Stehzeit überschreitet
259         if stehzeit > MAX_STEHZEIT:
260             # Gerät zum nächstgelegenen Lager transportieren
261             naehstes_lager = min(lager_liste, key=lambda lager:
262                 geodesic(aktuelle_position, lager['position']).km)
263             # Berechne Transportzeit zum Lager
264             lager_distanz = geodesic(aktuelle_position,
265                 naehstes_lager['position']).km
266             if lager_distanz <= REICHWEITE_KM1:
267                 lager_Transportzeit = TRANSPORTZEIT_TAGE1
268             elif lager_distanz <= REICHWEITE_KM2:
269                 lager_Transportzeit = TRANSPORTZEIT_TAGE2
270             else:
271                 continue # Lager zu weit entfernt
272
273             # Ankunft im Lager
274             ankunft_lager = vorherige_bestellung.datum_bis +
275                 timedelta(days=lager_Transportzeit) + timedelta(days=1)
276             #+1 Puffertag
277
278             # Verbleib im Lager bis zur nächsten Bestellung
279             # Berechne Distanz vom Lager zur nächsten Bestellung
280             distanz_lager_b = geodesic(naehstes_lager['position'],
281                 b.position).km
282             if distanz_lager_b <= REICHWEITE_KM1:
283                 Transportzeit_lager_b = TRANSPORTZEIT_TAGE1
284             elif distanz_lager_b <= REICHWEITE_KM2:
285                 Transportzeit_lager_b = TRANSPORTZEIT_TAGE2
286             else:
287                 continue # Nächste Bestellung zu weit vom Lager entfernt
288
289             # Berechne Stehzeit im Lager
290             stehzeit_im_lager = (b.datum_von - ankunft_lager).days -
291                 int(Transportzeit) #-1
292
293             # -1 um den Zeitabstand zwischen zwei Bestellungen zu erhalten
294             if stehzeit_im_lager < 0:
295                 stehzeit_im_lager = 0
296
297             # Berechne Anreisedatum zur nächsten Bestellung
298             anreise_datum = ankunft_lager +
299                 timedelta(days=stehzeit_im_lager) +
300                 timedelta(days=Transportzeit_lager_b)
    
```

```
301         # timedelta(days=1)
302
303         # Prüfe zeitliche Bedingung
304         if anreise_datum <= b.datum_von:
305             # Gerät kann von Lager zur nächsten Bestellung
306             transportiert werden
307             # Erstelle Lageraufenthalt als Bestellung
308             lager_bestellung = Bestellung(
309                 id=-1, # ID für Lageraufenthalt
310                 bezeichnung=naehestes_lager['name'],
311                 laengengrad=naehestes_lager['position'][1],
312                 breitengrad=naehestes_lager['position'][0],
313                 datum_von=ankunft_lager,
314                 datum_bis=ankunft_lager +
315                 timedelta(days=stehzeit_im_lager),
316                 ist_lager=True)
317
318             # Füge Lagerbestellung hinzu
319             lager_bestellung.geraet_nummer = geraet_nummer
320             lager_bestellung.stehzeit = stehzeit
321             alle_bestellungen.append(lager_bestellung)
322             geraet_plan.append(lager_bestellung)
323             # Aktualisiere aktuelle Position
324             aktuelle_position = b.position
325             naechste_bestellung = b
326             b.stehzeit = stehzeit
327             break # Nächste passende Bestellung gefunden
328         else:
329             # Prüfe zeitliche Bedingung
330             if anreise_datum <= b.datum_von:
331                 # Bestellung kann zugewiesen werden
332                 aktuelle_position = b.position
333                 naechste_bestellung = b
334                 b.stehzeit = stehzeit
335                 break # Nächste passende Bestellung gefunden
336
337     # spätestens hier ist naechste_bestellung entweder None oder eine
338     Bestellung
339     # wenn None, dann gibt es keine passende Bestellung mehr und die Schleife
340     wird beendet
341     if naechste_bestellung:
342         belegte_tage += naechste_bestellung.einsatzstage
343
344         # Prüfe erneut, ob die Auslastung überschritten wird
345         auslastung = belegte_tage / GESAMTZEITRAUM_TAGE
346         if auslastung >= MAX_AUSLASTUNG:
347             belegte_tage -= naechste_bestellung.einsatzstage
348             # Bestellung nicht hinzufügen
349             break # Max. Auslastung erreicht
350
351         # Bestellung hinzufügen
352         geraet_plan.append(naechste_bestellung)
353         unzugewiesene_bestellungen.remove(naechste_bestellung)
354         naechste_bestellung.zugewiesen = True
355         naechste_bestellung.geraet_nummer = geraet_nummer
356         vorherige_bestellung = naechste_bestellung
357         alle_bestellungen.append(naechste_bestellung)
358     else:
359         break # Keine weitere passende Bestellung gefunden
360
361 # Ende der Schleife für das aktuelle Gerät
```

```

362     # Berechnung der Auslastung für das aktuelle Gerät
363     auslastung = belegte_tage / GESAMTZEITRAUM_TAGE
364     geraete_auslastungen[geraet_nummer] = auslastung
365     # Speichere Auslastung für das Gerät
366
367     # =====
368     # Ausgabe der Ergebnisse für das aktuelle Gerät im Terminal
369     # =====
370     print(f"Gerät {geraet_nummer}:")
371
372     #um die Bestellungen für das aktuelle Gerät auszugeben
373     for b in geraet_plan:
374         print(f"  {'Lager' if b.ist_lager else 'Bestellung'} {b.id+1 if b.id != -1
375             else ''} ({b.bezeichnung}): {b.datum_von.strftime('%d.%m.%Y')} -
376             {b.datum_bis.strftime('%d.%m.%Y')}")
377         print(f"  Auslastung: {auslastung*100:.2f}%")
378
379         geraete.append({
380             'geraet_nummer': geraet_nummer,
381             'bestellungen': geraet_plan,
382             'auslastung': auslastung})
383         geraet_nummer += 1
384     print(f"\nGesamtzahl benötigter Geräte: {len(geraete)}")
385
386     # =====
387     # Ergebnisse in CSV-Datei schreiben
388     # =====
389     with open('____.csv', mode='w', newline='', encoding='latin1') as csvfile:
390         feldbezeichnung = ['Bestellung Nr.',
391                             'Bezeichnung der Bestellung',
392                             'Datum von',
393                             'Datum bis',
394                             'Zeitraum (Tage)',
395                             'Zugeordnetes Gerät',
396                             'Auslastung des Geräts (%)',
397                             'Stehzeit (Tage)']
398
399         writer = csv.DictWriter(csvfile, feldbezeichnung=feldbezeichnung,
400                                 delimiter=';')
401
402         writer.writeheader()
403
404         # Bestellungen nach Gerät und innerhalb des Geräts nach Reihenfolge sortieren
405         alle_bestellungen.sort(key=lambda b: (b.geraet_nummer if b.geraet_nummer else
406             float('inf'), b.datum_von))
407
408         for b in alle_bestellungen:
409             geraet_nr = b.geraet_nummer if b.geraet_nummer is not None else 'Nicht
410             zugeordnet'
411             auslastung_prozent = geraete_auslastungen.get(b.geraet_nummer, 0) * 100 if
412             b.geraet_nummer else 0
413             writer.writerow({
414                 'Bestellung Nr.': b.id + 1 if b.id != -1 else '',
415                 'Bezeichnung der Bestellung': b.bezeichnung,
416                 'Datum von': b.datum_von.strftime('%d.%m.%Y'),
417                 'Datum bis': b.datum_bis.strftime('%d.%m.%Y'),
418                 'Zeitraum (Tage)': b.einsatzstage if not b.ist_lager else '',
419                 'Zugeordnetes Gerät': f"Gerät {geraet_nr}",
420                 'Auslastung des Geräts (%)': f"{auslastung_prozent:.2f}".replace('.',
421                 ','),
422                 'Stehzeit (Tage)': b.stehzeit if b.stehzeit is not None else ''})

```

```
423
424     print("\nDie Ergebnisse wurden in die Datei '____.csv' geschrieben.")
425     # Rückgabe der Geräte und Bestellungen für die Ausgabe um die Transporte zu
426     berechnen
427     return geraete, alle_bestellungen
428
429 # =====
430 # Hauptfunktion aufrufen und Transporte berechnen
431 # =====
432 if __name__ == '__main__':
433     geraete, alle_bestellungen = main()
434     transporte_output(geraete, alle_bestellungen, REICHWEITE_KM1, REICHWEITE_KM2)
```

Anhang A3

Hinweis: Der folgende Code wurde zur besseren Lesbarkeit in Word formatiert (Tabstopps und Leerzeichen). In dieser Form ist er nicht ausführbar und muss vor der Nutzung entsprechend angepasst werden.

```
1 # Copyright (c) 2025 Igor Todic
2 # Alle Rechte vorbehalten. Dieser Code darf nicht ohne ausdrückliche Genehmigung
3 verwendet oder weitergegeben werden.
4 from geopy.distance import geodesic
5 from datetime import datetime, timedelta
6 from openpyxl import Workbook
7 from openpyxl.utils import get_column_letter
8 from openpyxl.worksheet.table import Table, TableStyleInfo
9
10 def transporte_output(geraete, alle_bestellungen, TRANSPORTE_KM1, TRANSPORTE_KM2):
11     wb = Workbook() # Erstellt ein neues wb=workbook
12     ws = wb.active # Arbeitsblatt auswählen (ws=worksheet)
13     ws.title = "Zusammenfassung" # Arbeitsblatt umbenennen
14
15     feldbezeichnung = [
16         'Gerät',
17         'Tage gesamt',
18         'Nutzungsdauer (Tage)',
19         'von',
20         'bis',
21         'mögliche Einsatzzeit (Tage)',
22         'Einsatzzeit (Tage)',
23         'Auslastung (%)',
24         'Stehzeit gesamt',
25         'Stehzeit gesamt Lager',
26         'Stehzeiten Nutzungsdauer (Tage)',
27         'Stehzeiten Nutzungsdauer Lager (Tage)',
28         'Stehzeiten Baustelle (Tage)',
29         'Anzahl Transporte',
30         'kurze Transporte',
31         'lange Transporte',
32         'Gesamtlänge Transporte (km)']
33
34     ws.append(feldbezeichnung)
35
36     total_einsatzzeit = 0
37     total_anzahl_transporte = 0
38     total_kurze_transporte = 0
39     total_lange_transporte = 0
40     total_gesamtlaenge = 0.0
41
42     EINSATZSTAGE = 670
43     GESAMTANZAHL_TAGE = 1095
44
45     # Durchläuft alle Geräte
46     for geraet in geraete:
47         geraet_num = geraet['geraet_nummer']
48         auslastung = geraet['auslastung'] * 100
49         bestellungs_liste = geraet['bestellungen']
50
51         # Filtert die echten Bestellungen (ohne Lagerbestellungen),
52         # das sind die Bestellungen, die auf Baustellen sind
53         echte_bestellungen = [b for b in bestellungs_liste if not b.ist_lager]
54         if not echte_bestellungen:
55             continue
56
```

```
57     # Sortiert die echten Bestellungen nach dem Startdatum
58     echte_bestellungen.sort(key=lambda b: b.datum_von)
59     erste_bestellung = echte_bestellungen[0]
60     letzte_bestellung = echte_bestellungen[-1]
61
62     # Holt die Datumswerte
63     erste_datum_von = erste_bestellung.datum_von
64     letzte_datum_bis = letzte_bestellung.datum_bis
65
66     # Berechnet die Nutzungsdauer (Tage) inkl. Start- und Endtag
67     gesamt_tage = (letzte_datum_bis - erste_datum_von).days + 1
68     # Summe der Einsatzstage der echten Bestellungen
69     tage_bestellungen = sum(b.einsatzstage for b in echte_bestellungen)
70
71     # Berechnet die Aufenthaltsdauer im Lager (bei Lagerbestellungen)
72     lager_aufenthalte = [b for b in bestellungs_liste if b.ist_lager]
73     tage_lager = sum((l.datum_bis - l.datum_von).days + 1 for l in
74     lager_aufenthalte)
75
76     # Transporte berechnen
77     anzahl_transporte = 0
78     transporte_unter_km1 = 0
79     transporte_zwischen_km1_und_km2 = 0
80     gesamtlaenge_km = 0.0
81
82     for i in range(len(bestellungs_liste) - 1):
83         start = bestellungs_liste[i]
84         ziel = bestellungs_liste[i + 1]
85         distanz = geodesic(start.position, ziel.position).km
86
87         if distanz > 0:
88             anzahl_transporte += 1
89             gesamtlaenge_km += distanz
90
91             if distanz <= TRANSPORTE_KM1:
92                 transporte_unter_km1 += 1
93             elif distanz <= TRANSPORTE_KM2:
94                 transporte_zwischen_km1_und_km2 += 1
95
96     # Berechnet die gesamten Stehzeiten in Tagen für echte Bestellungen
97     sum_stehzeiten = sum((b.stehzeit for b in bestellungs_liste if b.stehzeit is
98     not None and not b.ist_lager), 0)
99     sum_stehzeiten = int(sum_stehzeiten)
100
101     # Aktualisiert die Gesamtsummen für die spätere Summenzeile
102     total_einsatzzeit += tage_bestellungen
103     total_anzahl_transporte += anzahl_transporte
104     total_kurze_transporte += transporte_unter_km1
105     total_lange_transporte += transporte_zwischen_km1_und_km2
106     total_gesamtlaenge += gesamtlaenge_km
107
108     # Berechnet die neuen Spaltenwerte für die Zeile
109     # Stehzeit gesamt = 1095 - Nutzungsdauer (Tage) + Stehzeiten Nutzungsdauer (
110     Tage)
111     stehzeit_neu = GESAMTANZAHL_TAGE - gesamt_tage + sum_stehzeiten
112     # Stehzeit gesamt Lager = 1095 - Nutzungsdauer (Tage) + Stehzeiten
113     Nutzungsdauer Lager (Tage)
114     stehzeit_neu_lager = GESAMTANZAHL_TAGE - gesamt_tage + tage_lager
115
116     # Erstellt eine neue Zeile mit den berechneten Werten
117     row = [
```

```

118         f"Gerät {geraet_num}",           # Spalte 1: Gerät
119         GESAMTANZAHL_TAGE,             # Spalte 2: Tage gesamt (konstant
120                                         1095)
121         gesamt_tage,                   # Spalte 3: Nutzungsdauer (Tage)
122         erste_datum_von,               # Spalte 4: von (Datum)
123         letzte_datum_bis,             # Spalte 5: bis (Datum)
124         EINSATZSTAGE,                  # Spalte 6: EINSATZSTAGE (670)
125         tage_bestellungen,            # Spalte 7: Einsatzzeit (Tage)
126         auslastung,                   # Spalte 8: Auslastung/Nutzungsgrad
127         stehzeit_neu,                 # Spalte 9: Stehzeit gesamt
128         stehzeit_neu_lager,           # Spalte 10: Stehzeit gesamt Lager
129         sum_stehzeiten,               # Spalte 11: Stehzeiten Nutzungsdauer
130                                         (Tage)
131         tage_lager,                   # Spalte 12: Stehzeiten Nutzungsdauer
132                                         Lager (Tage)
133         sum_stehzeiten - tage_lager,   # Spalte 13: Stehzeiten Baustelle
134                                         (Tage)
135         anzahl_transporte,            # Spalte 14: Anzahl Transporte
136         transporte_unter_km1,         # Spalte 15: kurze Transporte
137         transporte_zwischen_km1_und_km2, # Spalte 16: lange Transporte
138         gesamtlaenge_km               # Spalte 17: Gesamtlänge Transporte
139                                         (km)
140     ]
141
142     # Fügt die Zeile in das Arbeitsblatt ein
143     ws.append(row)
144
145     # Erstellt eine Tabelle für die Daten
146     data_max_row = ws.max_row # Anzahl der Zeilen
147     max_col = ws.max_column # Anzahl der Spalten
148     last_column_letter = get_column_letter(max_col)
149     table_range = f"A1:{last_column_letter}{data_max_row}" # Bereich für die Tabelle
150
151     # Erstellt eine Tabelle
152     table = Table(displayName="TransporteTable", ref=table_range)
153     style = TableStyleInfo(name="TableStyleMedium9", showFirstColumn=False,
154                             showLastColumn=False, showRowStripes=True, showColumnStripes=False)
155     table.tableStyleInfo = style
156     ws.add_table(table) # Fügt die Tabelle zum Arbeitsblatt hinzu
157
158     # Fügt eine Zeile mit den Gesamtsummen hinzu
159     summary_row = [None] * len(feldbezeichnung)
160     summary_row[0] = "Summe"           # In Spalte 1: "Summe"
161     summary_row[6] = total_einsatzzeit # Spalte 7: Einsatzzeit (Tage)
162     summary_row[13] = total_anzahl_transporte # Spalte 14: Anzahl Transporte
163     summary_row[15] = total_lange_transporte # Spalte 16: lange Transporte
164     summary_row[14] = total_kurze_transporte # Spalte 15: kurze Transporte
165     summary_row[16] = total_gesamtlaenge # Spalte 17: Gesamtlänge Transporte
166                                         (km)
167     ws.append(summary_row)
168
169     # Formatiert die Zellen in der Tabelle
170     for row in ws.iter_rows(min_row=2, max_row=ws.max_row, min_col=1,
171                             max_col=ws.max_column):
172         for cell in row:
173             # Spalten 4 und 5 (von und bis) als Datum im Format dd.mm.yyyy
174             if cell.col_idx in (4, 5):
175                 cell.number_format = 'DD.MM.YYYY'
176
177             elif cell.col_idx == 8:
178                 # Auslastung(%) - als Zahl mit 2 Nachkommastellen

```

```
179         cell.number_format = '#,##0.00'
180
181         # Gesamtlänge Transporte (km) als Zahl mit 2 Nachkommastellen
182     elif cell.col_idx == 17:
183         cell.number_format = '#,##0.00'
184
185     else:
186         # Alle anderen numerischen Werte als ganze Zahl (0 Nachkommastellen)
187         if isinstance(cell.value, int) or isinstance(cell.value, float):
188             cell.number_format = '0'
189
190 # Speichere das workbook als Excel-Datei
191 wb.save("_____.xlsx")
192 print("\nDie Ergebnisse wurden in die Datei '_____.xlsx' geschrieben.")
```