

Studiengang
**Wirtschaftsingenieurwesen-
Energie & Gebäude**

Bachelorarbeit
**REFA-Zeitaufnahme in der Bauindustrie: Gegenüberstel-
lung eines manuellen und eines semi-autonomen Bohr-
prozesses zur Befestigung von Deckeninstallation**

Leander Weinert

Betreuer:	Frau Prof. Dr. Ines von Weichs FH Südwestfalen, Standort Hagen
Praxispartner:	Hilti Deutschland AG Herr Christian Pütz MRA Montagen GmbH Herr Remi Beckman
Bearbeitungszeit:	02.12.2024 – 09.01.2025

Inhaltsverzeichnis

I	Vorwort.....	III
II	Danksagung	IV
III	Genderhinweis	V
IV	Abkürzungsverzeichnis	VI
V	Formelzeichenverzeichnis.....	IX
VI	Abbildungsverzeichnis	XI
VII	Tabellenverzeichnis	XVIII
1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2	Ziele und Abgrenzungen	2
1.3	Forschungsfragen	4
1.4	Methodik und Aufbau	5
2	Theoretische Grundlagen zum Hilti Jaibot	7
2.1	Einordnung	7
2.2	Einsatzgebiet.....	8
2.3	Technischer Aufbau und Funktion.....	9
3	Theoretische Grundlagen der Datenermittlung	15
3.1	Bedeutung von Zeitdaten im Projektmanagement	15
3.2	Einführung in die REFA-Methodenlehre.....	15
3.3	Datenarten.....	17
3.4	REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung	19
3.4.1	Verwendungszweck.....	21
3.4.2	Arbeitssystem	21
3.4.3	Ablaufanalyse	23
3.4.4	Vorgabezeitermittlung (Synthese)	33
3.5	REFA-Zeitaufnahme.....	40
3.6	Weitere Methoden zur Zeitdatenermittlung	45
4	Praktische Datenermittlung	48
4.1	Festlegung Verwendungszweck.....	48
4.2	Festlegung Zeitermittlungsmethode	48
4.3	Zeitaufnahmen	50
4.3.1	Manueller Bohrprozess.....	52
4.3.2	Semi-autonomer Bohrprozess	53
4.4	Arbeitssysteme	53
4.4.1	Manueller Bohrprozess.....	54

4.4.2	Semi-autonomer Bohrprozess	56
4.5	Ablaufanalysen	57
4.5.1	Manueller Bohrprozess	57
4.5.2	Semi-autonomer Bohrprozess	64
4.6	Synthesen.....	68
4.6.1	Manueller Bohrprozess	69
4.6.2	Semi-autonomer Bohrprozess	73
5	Vergleich	77
5.1	Arbeitssystem	77
5.2	Ablaufanalyse	79
5.3	Synthese.....	81
6	Fazit und Ausblick	86
6.1	Fazit.....	86
6.2	Ausblick	90
VIII	Anhang 1: Ergänzende Abbildungen und Materialien	92
IX	Anhang 2: Zeitaufnahmen	114
X	Anhang 3: Auswertungen	158
XI	Literaturverzeichnis	166
XII	Eidesstattliche Erklärung.....	169

I Vorwort

Die Idee für diese Arbeit entwickelte sich während einer Autofahrt nach Hamburg, die ich zusammen mit meinem ehemaligen Chef unternahm. Wir waren auf dem Weg zu einem unserer Bauprojekte, wo wir als Beratungsunternehmen die Bauprozesse analysieren und optimieren sollten. Während der Fahrt diskutierten wir über die Effektivität des neu entwickelten Bohrroboters Hilti Jaibot, der semi-autonome Deckenbohrungen auf unserer Baustelle vornehmen sollte. Es stellte sich die Frage nach der realen Zeitersparnis, die der Roboter unter den praktischen Bedingungen einer Baustelle bieten könne. Was ist tatsächlich schneller – manuelles oder automatisiertes Bohren? Diese offene Frage verdeutlichte mir die Notwendigkeit einer objektiven und standardisierten Methode zur Zeiterfassung von Bauprozessen, um nicht nur die Effizienz einzelner Abläufe zu bewerten, sondern auch eine umfassende Zeit- und Ressourcenbewertung zu ermöglichen, um so fundierte Entscheidungen zwischen verschiedenen möglichen Varianten treffen zu können.

Meine praktische Erfahrung zeigt, dass Zeiten häufig auf Grundlage individueller, subjektiver Schätzungen festgelegt werden. In einem Zeitalter, in dem die Genauigkeit und Validität von Daten entscheidend sind, erscheint dieses Vorgehen zunehmend problematisch. Die vorherrschenden Methoden der Zeiterfassung sind weit von einem standardisierten Verfahren entfernt. Die Praxis zeigt, dass selbst wenn Daten erhoben werden, dies meist durch unstrukturierte Befragungen am Ende des Arbeitstages oder durch die Aufzeichnung von individuell definierten Prozesszeiten ohne standardisierte Methodik geschieht.

Diese Erkenntnis bestärkte mich darin, eine strukturierte und standardisierte Erfassung von Zeitdaten zu nutzen, wie sie die Zeitaufnahme des Verbandes für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V. (REFA) bietet. Diese Methode ermöglicht nicht nur ein tieferes Verständnis des jeweiligen Bauprozesses, sondern dient auch als solide Grundlage für den Vergleich verschiedener Arbeitsmethoden.

Mein Interesse an diesem Thema entwickelte sich weiter während meines Studiums und meiner Arbeit als Werkstudent in der Bauindustrie. Ich erkannte bald, dass die Branche in Bezug auf Digitalisierung und Automatisierung weit hinter anderen Industrien zurückliegt, was mich besonders wegen des hohen Wirtschaftsvolumens und des Kapitalaufwandes überraschte. Mit der Zeit entwickelte ich eine starke Motivation, die Effektivität, Effizienz sowie Attraktivität der Bauindustrie durch den Einsatz neuer digitaler Schlüsseltechnologien wie Building Information Model (BIM) oder Robotik voranzutreiben.

Mit dieser Arbeit möchte ich nicht nur eine quantitative und qualitative Analyse beider Technologien – der konventionellen und der Robotik – vornehmen, sondern auch ein Bewusstsein für die neue Robotertechnologie schaffen, welche sowohl die deutsche als auch internationale Bauindustrie in den kommenden Jahren entscheidend prägen wird.

II Danksagung

Ich möchte meinen tiefsten Dank aussprechen an alle, die mich bei der Durchführung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Björn Joh. Wienforth, meinem ehemaligen Chef, dessen anregende fachliche Diskussionen auf unseren gemeinsamen Autofahrten mich maßgeblich zur Themenwahl dieser Arbeit inspiriert haben.

Darüber hinaus möchte ich Herrn M. Sc. REFA-Ing. Martin Jata, wissenschaftlichem Mitarbeiter, für die vielen Stunden der Diskussion und der fachlichen Betreuung auf dem Gebiet der REFA danken. Sein umfangreiches Fachwissen und seine methodische Hilfe waren entscheidend für die fachliche Tiefe dieser Arbeit.

Einen besonderen Dank widme ich Herrn Remi Beckman, Geschäftsführer der MRA Montagen GmbH. Nachdem mein ursprünglicher Praxispartner die Zusammenarbeit beenden musste, zeigte Herr Beckman großes Vertrauen, indem er mir die Möglichkeit gab, meine Untersuchung innerhalb seines Unternehmens fortzusetzen. Sein fachlicher Input und seine Bereitschaft, mein Projekt kurzfristig zu fördern, waren für mich von unschätzbarem Wert.

Ich danke ebenfalls Herrn Christian Pütz, Jaibot Operations Manager bei der Hilti Deutschland AG, für seine umfangreiche Unterstützung. Herr Pütz hat entscheidend dazu beigetragen, mein Verständnis für den Einsatz des Hilti Jaibots durch detaillierte Erklärungen und praktische Demonstrationen vor Ort zu vertiefen. Sein Engagement, mir Zugang zu relevanten Bauprojekten zu ermöglichen, war entscheidend für den Erfolg meiner Forschung. Aus unserer Zusammenarbeit hat sich im Laufe der Zeit eine geschätzte Freundschaft entwickelt, für die ich sehr dankbar bin.

Schwerte, den 06.01.2025

Leander Weinert

III Genderhinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in folgender Arbeit auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

IV Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
A	Arbeitsgegenstand (Perspektive)
A	Ausführen (Ablaufart)
A0	Format A0
A4	Format A4
Abb.	Abbildung
AG	Aktiengesellschaft
B	Betriebsmittel (Perspektive)
B	Beeinflussbare Abläufe (Ablaufart)
BA	Ablaufbedingtes Unterbrechen Betriebsmittel (Ablaufart)
BAR	Ablaufbedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
BE	Erholungsbedingtes Unterbrechen Betriebsmittel (Ablaufart)
BER	Erholungsbedingtes bedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
Bez.	Bezugsmenge
BH	Hauptnutzung (Ablaufart)
BHR	Hauptnutzung Rüsten (Ablaufart)
BI	Betriebsmittel im Einsatz (Ablaufart)
BIM	Building Information Model
BK	Unterbrechung der Nutzung (Ablaufart)
BL	Betriebsmittel außer Einsatz (Ablaufart)
BN	Nebennutzung (Ablaufart)
BNR	Nebennutzung Rüsten (Ablaufart)
BP	Persönlich bedingtes Unterbrechen Betriebsmittel (Ablaufart)
BPR	Persönlich bedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
BR	Betriebsruhe Betriebsmittel (Ablaufart)
BS	Störungsbedingtes Unterbrechen Betriebsmittel (Ablaufart)
BSR	Störungsbedingtes bedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
BT	Nutzung Betriebsmittel (Ablaufart)
BX	Nicht erkennbar Betriebsmittel (Ablaufart)
BZ	Zusätzliche Nutzung (Ablaufart)
BZR	Zusätzliche Nutzung Rüsten (Ablaufart)
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
Co.	Company
DIN	Deutsches Institut für Normung
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
e. V.	Eingetragener Verein

f.	folgende
ff.	fortfolgende
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HM	Hundertstelminute
I	Information (Perspektive)
Kap.	Kapitel
kg	Kilogramm
LiDAR	Light Detection and Ranging
m	Meter
M	Mensch (Perspektive)
m ²	Quadratmeter
M. Sc.	Master of Science
MA	Mitarbeiter
MA	Ablaufbedingtes Unterbrechen Mensch (Ablaufart)
MAR	Ablaufbedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
MB	Mitarbeiter im Betrieb (Ablaufart)
ME	Erholungsbedingtes Unterbrechen Mensch (Ablaufart)
MER	Erholungsbedingtes bedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
MH	Haupttätigkeit (Ablaufart)
MHR	Hauptrüsttätigkeit (Ablaufart)
MI	Mensch im Einsatz (Ablaufart)
MK	Unterbrechen der Tätigkeit (Ablaufart)
ML	Mensch außer Einsatz (Ablaufart)
mm	Millimeter
mm:ss Min	Zeitformat in Minuten:Sekunden
MMA	Multimomentaufnahme
MN	Nebentätigkeit (Ablaufart)
MNR	Nebenrüsttätigkeit (Ablaufart)
MP	Persönlich bedingtes Unterbrechen Mensch (Ablaufart)
MPR	Persönlich bedingtes Unterbrechen Rüsten (Ablaufart)
MR	Betriebsruhe Mensch (Ablaufart)
MS	Störungsbedingtes Unterbrechen Mensch (Ablaufart)
MT	Tätigkeit Mensch (Ablaufart)
MTM	Methods-Time Measurement
MX	Nicht erkennbar Mensch (Ablaufart)
MZ	Zusätzliche Tätigkeit (Ablaufart)
MZR	Zusätzliche Rüsttätigkeit (Ablaufart)
o. J.	ohne Jahr
OM	Obermonteur
PSA	Persönliche Schutzausrüstung

R	Rüsten
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung e. V.
REFA-Ing.	REFA-Ingenieur
ROS	Robot Operating System
S.	Seite
S3	Sicherheitsklasse 3
STCR	Single-Task Construction Robots
SvZ	Systeme vorbestimmter Zeiten
Tab.	Tabelle
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
U	Unbeeinflussbare Abläufe
vgl.	vergleiche
WF	Work-Factor
z. B.	zum Beispiel
Zus. B.	Zusätzliche Bohrung(en)

V Formelzeichenverzeichnis

L	Leistungsgrad
$\bar{L}$	Mittlerer Leistungsgrad
m	Bezugsmenge
n	Anzahl Messwerte
t	Soll-Zeit
T	Auftragszeit
t_a	Mengenabhängige Ausführungszeit
t_{aB}	Betriebsmittel Ausführungszeit
t_b	Brachzeit
t_{bB}	Belegungszeit Betriebsmittel
t_e	(auch t_{e1}) Zeit je 1 Einheit
t_{e100}	Zeit je 100 Einheiten
t_{e1000}	Zeit je 1000 Einheiten
t_{eB}	(auch t_{eB1}) Betriebsmittelzeit je 1 Einheit
t_{eB100}	Betriebsmittelzeit je 100 Einheiten
t_{eB1000}	Betriebsmittelzeit je 1000 Einheiten
t_{er}	Erholungszeit
t_g	Grundzeit
t_{gB}	Betriebsmittel-Grundzeit
t_h	Hauptnutzungszeit
t_{hb}	Beeinflussbare Hauptnutzungszeit
t_{hu}	Unbeeinflussbare Hauptnutzungszeit
t_i	Ist-Einzelzeiten
$\bar{t}_i$	Mittlere Ist-Einzelzeiten
t_{MH}	Soll-Zeit für Ablaufart Haupttätigkeit (MH)
t_{MHi}	Ist-Zeit für Ablaufart Haupttätigkeit (MH)
t_n	Nebennutzungszeit
t_{nb}	Beeinflussbare Nebennutzungszeit
t_{nu}	Unbeeinflussbare Nebennutzungszeit
t_p	Persönliche Verteilzeit
t_r	Rüstzeit
t_{rB}	Betriebsmittel Rüstzeit
t_{rg}	Rüstgrundzeit
t_{rgB}	Betriebsmittel-Rüstgrundzeit
t_{rer}	Rüsterholungszeit
t_{rv}	Rüstverteilzeit
t_{rvB}	Betriebsmittel-Rüstverteilzeit

t_s	Sachliche Verteilzeit
t_t	Tätigkeitszeit
t_{tb}	Beeinflussbare Tätigkeitszeit
t_{tu}	Unbeeinflussbare Tätigkeitszeit
t_v	Verteilzeit
t_{vB}	Betriebsmittel-Verteilzeit
t_w	Wartezeit

VI Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Schematische Gliederung der Bachelorarbeit in Form eines Flussdiagramms (eigene Darstellung).....	6
Abb. 2	Darstellung der Hauptkomponenten des Jaibots, basierend auf Bildmaterial der Hilti Deutschland AG (Hilti Deutschland AG 2022) in eigener schematischen Darstellung.	11
Abb. 3	REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung (in Anlehnung an REFA 1997, S. 11).	20
Abb. 4	Verwendungszwecke von Arbeitsdaten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1640).	21
Abb. 5	REFA-Arbeitssystem (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 1).	23
Abb. 6	Beispielhafte Darstellung der Makro- und Mikroablaufabschnitte innerhalb der TGA-Grobmontage (eigene Darstellung).....	24
Abb. 7	Messpunkte Ablaufabschnitte (in Anlehnung an REFA 1997, S. 85).	25
Abb. 8	Gliederung nach Mensch, Betriebsmittel, Arbeitsgegenstand, Information (eigene Darstellung).....	26
Abb. 9	Gliederung nach Rüsten und Ausführen (in Anlehnung an REFA 1997, S. 20).	26
Abb. 10	Gliederung nach beeinflussbar und unbeeinflussbar (in Anlehnung an REFA 1997, S. 21).....	27
Abb. 11	Erweiterte Gliederung nach Mensch und Ausführen (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1643).....	29
Abb. 12	Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach Mensch (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 15).	29
Abb. 13	Erweiterte Gliederung nach Mensch und Rüsten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1643).	30
Abb. 14	Erweiterte Gliederung nach Betriebsmittel und Ausführen (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1646).	32
Abb. 15	Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach Betriebsmittel (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 19).....	32
Abb. 16	Erweiterte Gliederung nach Betriebsmittel und Rüsten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1646).....	33
Abb. 17	Vorgabezeit als Auftragszeit nach Mensch und Belegungszeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an REFA 1997, S. 41).....	34
Abb. 18	Gliederung der Auftragszeit nach Mensch (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1650).	35
Abb. 19	Gliederung der Zeit je Einheit nach Mensch (in Anlehnung an REFA 1997, S. 47).	36
Abb. 20	Gliederung der Rüstzeit nach Mensch (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1651).	37
Abb. 21	Gliederung der Belegungszeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1854).....	38
Abb. 22	Gliederung der Betriebsmittelzeit je Einheit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1656).	39
Abb. 23	Gliederung der Betriebsmittelrüstzeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1655).	40

Abb. 24	REFA-Standardprogramm Zeitaufnahme (in Anlehnung an REFA 1997, S. 83).....	41
Abb. 25	Übersicht der REFA-Methoden zur Zeitermittlung (in Anlehnung an REFA 1997, S. 61).....	46
Abb. 26	Auszug aus den digitalisierten Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	59
Abb. 27	Prozessdarstellung des Bohrzyklus aus der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	60
Abb. 28	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten MH und MN, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).	61
Abb. 29	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten MZ, MS, MP und ME, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	61
Abb. 30	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Rüsttätigkeiten vor und während des Ausführens, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	62
Abb. 31	Zuordnung der nicht untersuchten Ablaufabschnitte, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).	63
Abb. 32	Auszug aus den digitalisierten Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	65
Abb. 33	Prozessdarstellung des Bohrzyklus aus der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	65
Abb. 34	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten BH und BN, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).	66
Abb. 35	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten BZ, BA, BS, BP und BE, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).	66
Abb. 36	Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Rüsttätigkeiten vor, während und nach dem Ausführen, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).....	67
Abb. 37	Synthese nach Ausführen (Mensch) für die Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘, mit Überführung der Ablaufzeiten in die Zeit je Einheit (eigene Darstellung).	71
Abb. 38	Synthese nach Ausführen (Mensch) für die Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ in Zeit je Einheit unter Verwendung eines pauschalisierten Prozentwertes für das erholungsbedingte Unterbrechen (eigene Darstellung).	73
Abb. 39	Synthese nach Ausführen (Betriebsmittel) für die Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘, mit Überführung der Ablaufzeiten in die Betriebsmittelzeit je Einheit (eigene Darstellung).....	75
Abb. 40	Synthese nach Ausführen (Betriebsmittel) für die Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ in Betriebsmittelzeit je Einheit unter Verwendung eines pauschalisierten Prozentwertes für das erholungsbedingte Unterbrechen (eigene Darstellung).	76

Abb. A1.1	Der Jaibot beim Bohren von Löchern in die Betondecke, überwacht von einem Jaibot-Operator mit Tablet und Fernsteuerung; im Vordergrund die PLT-Station (PLT 300) auf einem Stativ (Hilti Deutschland AG 2023).....	92
Abb. A1.2	Einer der ersten Prototypen und Vorläufer des Jaibots, bestehend aus einer Plattform mit Kettenantrieb, einer darauf montierten Scherenbühne zur Höhenanpassung, einem gelb ummantelten Roboterarm mit Bohrkopf sowie einem integrierten Hilti Staubsauger (Krönert/Zanona 2021, S. 450).	93
Abb. A1.3	Einordnung des Bohrprozesses mit dem Jaibot in den Gesamtbauablauf eines Bauprojekts (eigene Darstellung).....	94
Abb. A1.4	Seitenansicht der Plattform des Jaibots mit Kettenantrieb (unten), der roten Plattform mit Bedieneinheit auf der Oberseite (mittig) und dem Ansatz des Bohrturms (rechts oben) (eigene Aufnahme).	95
Abb. A1.5	Seitenabteil (Service Kompartiment) des Jaibots mit Kompressor- und Farbmarkierungssystem (links), Staubsauger (rechts), sowie Stativ für die PLT-Station und Messlanze (oben) (Hilti Deutschland AG 2022).....	95
Abb. A1.6	Heckabteil (Akku Kompartiment) des Jaibots mit Ersatzakkus und Ladegeräten (links), Fernsteuerung und Tablet (mittig), sowie der PLT-Station (rechts) (Hilti Deutschland AG 2022).....	96
Abb. A1.7	Bohrturm vom Jaibot im ausgefahrenen Zustand während einer Deckenbohrung (Hilti Deutschland AG 2022).....	96
Abb. A1.8	Bohrarm des Jaibots während einer Deckenbohrung, ummantelt mit einer orangenen Schutzhülle und mit Bohrkopf am Ende (Hilti Deutschland AG 2022).	97
Abb. A1.9	Bohrkopf (Endeffektor) des Jaibots mit sichtbaren Komponenten wie Bohrhammer, Prisma, Abstandsensoren, Markierungsdüse sowie weiteren Kabeln und Leitungen (Hilti Deutschland AG 2022).....	97
Abb. A1.10	Markierte Bohrlöcher an einer Betondecke mit unterschiedlichen Markierungsmustern zur Unterscheidung der jeweiligen Gewerke (eigene Aufnahme).....	98
Abb. A1.11	Fernsteuerung von Hilti zur manuellen Steuerung der Funktionen des Jaibots durch den Jaibot-Operator (Hilti Deutschland AG 2022).	98
Abb. A1.12	Tablet (PLC 400) von Hilti zur aktiven Steuerung der Automatisierung des Jaibots, dargestellt mit einem geladenen Bohrplan und der Fortschrittsanzeige der Bohrpunkte der verschiedenen Gewerke (Hilti Deutschland AG 2022).	99
Abb. A1.13	PLT-Station (PT 300) auf einem Stativ mit Jaibot im Hintergrund und sichtbarem grünen Laserstrahl auf dem Prisma (eigene Aufnahme).	99
Abb. A1.14	An der Rohbauwand auf der Baustelle angebrachte Reflektormarke zur Referenzierung der PLT-Station im Arbeitsbereich des Jaibots (eigene Aufnahme).	100
Abb. A1.15	Beispiel eines von Hilti entwickelten Messkonzepts zur optimalen Platzierung der Reflektormarken auf der Baustelle (Hilti Deutschland AG 2022).....	100
Abb. A1.16	Digitaler Bohrplan des Jaibots mit farblich markierten Bohrpunkten, rot markiertem Achsraster und schwarz markierten Reflektormarken (Hilti Deutschland AG 2022).....	101

Abb. A1.17	Jaibot fährt über die ausgeklappten Rampen in die geöffnete Transportbox (Hilti Deutschland AG 2022).....	102
Abb. A1.18	Qualitative und quantitative Daten (in Anlehnung an REFA 1997, S. 15).....	103
Abb. A1.19	REFA-Stoppuhr aus Metall und Glas, hergestellt zwischen 1960 und 1969 (LVR-Industriemuseum/Hoffmann o. J.).....	104
Abb. A1.20	Zeitaufnahmebogen Z1 für Abläufe ohne Wiederholung, Vorderseite (REFA-Institut 2015, S. 192).....	105
Abb. A1.21	Zeitaufnahmebogen Z1 für Abläufe ohne Wiederholung, Rückseite (REFA-Institut 2015, S. 193).....	106
Abb. A1.22	Bildschirmfoto der iPhone-Stoppuhr mit Rundenfunktion zur Erfassung der Zeitdaten während der Zeitaufnahme (eigene Aufnahme).....	107
Abb. A1.23	Eigener Zeitaufnahmebogen zur Dokumentation der beobachteten Ablaufabschnitte, der Zeiten und weiterer Einflussgrößen während der Zeitaufnahme (eigene Darstellung).....	108
Abb. A1.24	Außenansicht des Neubaus einer Logistikhalle im Industriepark „Große Heide Wulfen“ in Dorsten. Dieses Bauprojekt dient als Beispiel zur Aufnahme und Analyse des manuellen Bohrprozesses (eigene Aufnahme).....	109
Abb. A1.25	Anlieferungsbereich der Logistikhalle, in dem die manuellen Bohrungen stattfanden. Auf dem Boden liegen Materialien, und unter der Decke sind vereinzelte Bestandsinstallationen erkennbar (eigene Aufnahme).	109
Abb. A1.26	Arbeiter auf einer hochgefahrenen Scherenarbeitsbühne, der mit einem akkubetriebenen Hilti Bohrhammer Bohrlöcher in die Betondecke bohrt (eigene Aufnahme).....	110
Abb. A1.27	Durchführung der Zeitaufnahme: Der Beobachter verfolgt den Mitarbeiter, der auf einer Scherenarbeitsbühne die Bohrlöcher mithilfe eines Gliedermaßstabs einmisst (eigene Aufnahme).....	110
Abb. A1.28	Fertig gebohrte und montierte TGA-Installation unter der Decke nach Abschluss der Bohr- und Montagearbeiten (eigene Aufnahme).....	111
Abb. A1.29	Außenansicht des Neubaus für das Zentrum für Stoffwechselforschung an der Uniklinik Köln. Dieses Bauprojekt dient als Beispiel zur Erfassung und Analyse des semi-autonomen Bohrprozesses mit dem Jaibot (eigene Aufnahme).	111
Abb. A1.30	Erste Etage des Zentrums für Stoffwechselforschung zum Zeitpunkt der Bohrungen durch den Jaibot. Materialien liegen am Boden, und die Decke ist bis auf wenige herabhängende Kabel frei von weiterer Installation (eigene Aufnahme).	112
Abb. A1.31	Durchführung der Zeitaufnahme: Autor verfolgt den Jaibot bei der automatisierten Deckenbohrung in eine Betondecke, während ein Jaibot-Operator den Prozess mit der Steuerung überwacht (eigene Aufnahme).	112
Abb. A1.32	Fertig gebohrte und montierte TGA-Installation unter der Decke nach Abschluss der Bohr- und Montagearbeiten aus der gleichen Perspektive wie in Abb. A1.31 (eigene Aufnahme).....	113

Abb. A1.33	Nahaufnahme der fertig montierten TGA-Installation mit sichtbaren Bohrlöchern und Markierungen, die durch den Jaibot erstellt wurden (eigene Aufnahme).	113
Abb. A2.1	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 1/8.....	114
Abb. A2.2	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 2/8.....	115
Abb. A2.3	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 3/8.....	116
Abb. A2.4	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 4/8.....	117
Abb. A2.5	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 5/8.....	118
Abb. A2.6	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 6/8.....	119
Abb. A2.7	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 7/8.....	120
Abb. A2.8	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 8/8.....	121
Abb. A2.9	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 1/5.	122
Abb. A2. 10	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 2/5.	123
Abb. A2.11	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 3/5.	124
Abb. A2.12	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 4/5.	125
Abb. A2.13	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 5/5.	126
Abb. A2.14	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2, S. 1/4.	127
Abb. A2.15	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2, S. 2/4.	128
Abb. A2.16	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2, S. 3/4.	129
Abb. A2.17	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2, S. 4/4.	130
Abb. A2.18	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 23.11.2022, S. 1/3.....	131

Abb. A2.19	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 23.11.2022, S. 2/3.	132
Abb. A2.20	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 23.11.2022, S. 3/3.	133
Abb. A2.21	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1,	134
Abb. A2.22	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1,	135
Abb. A2.23	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1,	136
Abb. A2.24	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1,	137
Abb. A2.25	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1,	138
Abb. A2.26	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 2.	139
Abb. A2.27	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 1.	140
Abb. A2.28	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	141
Abb. A2.29	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	142
Abb. A2.30	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022,	143
Abb. A2.31	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	144
Abb. A2.32	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	145
Abb. A2.33	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	146
Abb. A2.34	Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2,	147
Abb. A3.1	Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).	160
Abb. A3.2	Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘, S. 1/2 (eigene Darstellung).....	164

Abb. A3.3	Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘, S. 2/2 (eigene Darstellung).....	165
-----------	---	-----

VII Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Anzahl der Ist-Einzelzeiten, Gesamtzeit, mittlerem Leistungsgrad, mittlerer Ist-Einzelzeit und Soll-Zeit je Ablaufabschnitt (eigene Darstellung).	64
Tab. 2	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess mit Anzahl der Ist-Einzelzeiten, Gesamtzeit, mittlerem Leistungsgrad, mittlerer Ist-Einzelzeit und Soll-Zeit je Ablaufabschnitt (eigene Darstellung).	68
Tab. 3	Ablaufarten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Gesamtzeit je Ablaufart sowie prozentualem Anteil nach Ausführen und Rüsten, mit und ohne erholungsbedingter Unterbrechungen (eigene Darstellung).	69
Tab. 4	Ablaufarten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ mit Gesamtzeit je Ablaufart sowie prozentualem Anteil nach Rüsten und Ausführen, mit und ohne erholungsbedingter Unterbrechungen (eigene Darstellung).	74
Tab. A2.1	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 1/2.	148
Tab. A2.2	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 2/2.	149
Tab. A2.3	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 1/2.	150
Tab. A2.4	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 2/2.	151
Tab. A2.5	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2.	152
Tab. A2.6	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 23.11.2022.	153
Tab. A2.7	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1, S. 1/2.	154
Tab. A2.8	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1, S. 2/2.	155
Tab. A2.9	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 2.	155
Tab. A2.10	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 1.	155
Tab. A2.11	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2, S. 1/2.	156
Tab. A2.12	Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2, S. 2/2.	157

Tab. A3.1	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 1/2.	158
Tab. A3.2	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 2/2.	159
Tab. A3.3	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 1/3.	161
Tab. A3.4	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 2/3.	162
Tab. A3.5	Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 3/3.	163

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die Digitalisierung revolutioniert weltweit Branchen, steigert Produktivität und Effizienz und fördert Innovation. Während viele Sektoren diesen Wandel erfolgreich adaptiert haben, hinkt die Bauindustrie hinterher, was ineffiziente Prozesse und hohe wirtschaftliche Kosten verursacht (vgl. Bakalis et al. 2023; Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. 2022). Diese Verzögerung hemmt nicht nur die Produktivität, sondern birgt auch Herausforderungen für die Wettbewerbsfähigkeit der Branche. Vor diesem Hintergrund rückt die Robotik zunehmend in den Fokus, da sie signifikante Effizienzsteigerungen und verkürzte Ausführungszeiten verspricht. Es bleibt jedoch unklar, in welchem Maße diese Technologien im Vergleich zu traditionellen Methoden tatsächliche Vorteile bieten, da es an validen und herstellerunabhängigen Daten für eine fundierte Bewertung mangelt (vgl. Krönert et al. 2023, S. 302).

Mit einem globalen Anteil von über 13 Prozent (%) am Bruttoinlandsprodukt ist die Bauindustrie einer der bedeutendsten Wirtschaftszweige (vgl. McKinsey Global Institute 2017). Trotz ihrer wirtschaftlichen Bedeutung weist sie eine der niedrigsten Digitalisierungsraten auf. Der Digitalisierungsindex 2023 zeigt, dass die Bauindustrie bei digitalen Technologien und Prozessen deutlich hinter anderen Branchen zurückliegt (vgl. Bakalis et al. 2023). Diese digitale Zurückhaltung führt zu stagnierender Produktivität, was die Weltwirtschaft jährlich geschätzte 1,6 Billionen US-Dollar kostet (vgl. McKinsey Global Institute 2017). Um diesen Herausforderungen zu begegnen, sind umfassende Digitalisierungsmaßnahmen unabdingbar. Trends wie BIM, Lean Construction Management, künstliche Intelligenz und Virtual sowie Augmented Reality zeigen, dass die Bauindustrie verstärkt auf digitale Technologien setzt. Die Vision einer „Bauindustrie 4.0“ birgt das Potenzial für erhebliche Produktivitätssteigerungen, verbesserte Zusammenarbeit und optimierte Datennutzung (vgl. Nukoonrat 2022).

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Entwicklung ist die Robotik. Sie verspricht nicht nur Effizienzsteigerungen und verkürzte Ausführungszeiten, sondern trägt auch zur Arbeitssicherheit bei und bietet Lösungen für den Fachkräftemangel. Zudem macht sie die Branche für die jüngere Generation attraktiver (vgl. Künzler et al. 2022, S. 67 f.). Robotik auf Baustellen ist kein neues Konzept. Bereits in den 1980er-Jahren wurde in Japan und anderen asiatischen Ländern intensiv an der Entwicklung und Implementierung von Robotik im Bauprozess geforscht, was zu erfolgreichen Einsätzen auf Großbaustellen führte (vgl. Bock/Linner 2015, S. 48 ff.). Ein modernes Beispiel für innovative Robotik ist der Hilti Jaibot. Dieser Bohrroboter wurde seit seiner Einführung im Jahr 2020 bereits in über hundert Bauprojekten eingesetzt und übernimmt semi-autonom Wand- und Deckenbohrungen – eine Schlüsseltätigkeit bei der Installation moderner Haustechnik (vgl. Hilti Deutschland AG 2023).

Trotz dieser Fortschritte steht eine flächendeckende Implementierung von Robotik in der Bauindustrie noch aus. Dies liegt unter anderem an der Einzigartigkeit jedes Bauprojekts, der starken Fragmentierung der Projektbeteiligten, technologischen Inkompatibilitäten und einer mangelhaften digitalen Infrastruktur. Hinzu kommen unvorhersehbare Einflussgrößen auf Baustellen sowie der hohe Kapitaleinsatz für Material und Maschinen bei

gleichzeitig geringen Gewinnmargen, die Investitionen in neue Technologien erschweren (vgl. ABB Ltd 2021; Jäkel/Klemt-Albert 2024, S. 383 ff.; McKinsey Global Institute 2017).

Um diese Herausforderungen zu adressieren und die Effizienz sowie Wirtschaftlichkeit der Robotik im Bauprozess bewerten zu können, ist eine solide Datenbasis unerlässlich. Hierbei spielen detaillierte Zeit- und Ablaufdaten eine zentrale Rolle. Die REFA-Zeitaufnahme, eine etablierte Methode zur Analyse von Arbeits- und Prozesszeiten, bietet ein geeignetes Instrument, um die Effizienz und den Nutzen von Robotik im Bauwesen zu untersuchen. Dennoch ist ihre Anwendung in Bauprojekten bislang wissenschaftlich kaum erforscht. Zwar existieren Studien, die die REFA-Zeitaufnahme mit der Bauindustrie verbinden (vgl. Hofer 2016; Mayer/Müller 2017), jedoch berücksichtigen diese den Aspekt der Automatisierung nicht. Untersuchungen zum Hilti Jaibot sind ebenfalls begrenzt und meist herstellerbezogen. Eine Fallstudie von Xu et al. zeigt den Einsatz des Hilti Jaibots auf einer realen Baustelle, legt den Fokus jedoch eher auf ein Projektmanagement-Framework als auf spezifische Prozessdaten (vgl. Xu et al. 2021). Weitere Arbeiten beleuchten Sicherheits- und Überwachungskonzepte oder führen generelle Vergleiche robotischer Systeme durch (vgl. Brosque/Fischer 2022; Chan/Lau 2023).

Diese Arbeit setzt genau hier an: Sie untersucht die Anwendung der REFA-Zeitaufnahme auf den Bauprozess zur Erstellung von Deckenbohrungen. Dabei werden sowohl Zeit- als auch Ablaufdaten für den manuellen und den automatisierten Deckenbohrprozess erhoben und analysiert. Ziel ist es, ein besseres Verständnis für den Einsatz des Hilti Jaibots zu schaffen und eine fundierte Entscheidungsgrundlage für dessen Einsatz in der Praxis zu bieten.

1.2 Ziele und Abgrenzungen

Diese Bachelorarbeit untersucht die Anwendung der REFA-Zeitaufnahme zur systematischen Erfassung und Analyse von Zeitdaten in Bauprozessen, insbesondere beim manuellen und semi-autonomen Bohren. Dazu werden zunächst die technischen Spezifikationen des Hilti Jaibots sowie die theoretischen Grundlagen der REFA-Methodik dargestellt. Anschließend erfolgt die praktische Anwendung der Methode auf einer Baustelle, um Ablauf- und Zeitdaten beider Bohrverfahren unter realen Bedingungen zu erfassen. Diese Daten bilden die Grundlage für eine vergleichende Analyse, die Unterschiede in Effizienz und Struktur beider Prozesse herausarbeitet. Ziel ist es, die Anwendbarkeit der REFA-Zeitaufnahme in manuellen und automatisierten Bauprozessen zu bewerten und die Verfahren fundiert gegenüberzustellen.

Z1 Grundlegende Einführung in den Hilti Jaibot

Schaffung ein grundlegendes Verständnis für den Hilti Jaibot einschließlich seiner Funktionen, technischen Merkmale und Einsatzmöglichkeiten zu vermitteln. Diese Einführung soll dazu beitragen, die in der REFA-Zeitaufnahme analysierten Prozesse besser zu verstehen, das Wissen der Leser zu erweitern und fundierte Entscheidungen über seinen Einsatz in der Baupraxis zu unterstützen.

Z2 Einführung in die REFA-Methodik und speziell in die REFA-Zeitaufnahme

Hier wird ein grundlegender Überblick über die allgemeine REFA-Methodik gegeben und die spezielle Methode der REFA-Zeitaufnahme detailliert erläutert. Dies soll das Verständnis der vorliegenden Arbeit erleichtern und den Leser in die Lage versetzen, eigenständig eine REFA-Zeitaufnahme durchzuführen.

Z3 Praktische Anwendung der REFA-Zeitaufnahme in einem exemplarischen Bauprozess

Die praktische Umsetzung der REFA-Zeitaufnahme, wurde exemplarisch an einem Bauprozess auf der Baustelle durchgeführt. Im Fokus stand dabei der Prozess der Deckenbohrungen, durchgeführt in manueller sowie semi-autonomer Ausführung. Diese Anwendung zeigt auf, wie die Methode unter realen Baustellenbedingungen umsetzbar ist und welche spezifischen Herausforderungen bei der Analyse von Bauprozessen mittels der REFA-Zeitaufnahme zu berücksichtigen sind.

Z4 Ermittlung von Ablauf- und Zeitdaten für das manuelle und semi-autonome Bohrverfahren für Deckenbohrungen

Die präzise Ermittlung von Ablauf- und Zeitdaten für beide Bohrverfahren mit Hilfe der REFA-Zeitaufnahme zu sammeln, sind eine wesentliche Grundlage für einen direkten Vergleich der Effizienz beider Methoden und dienen als Anknüpfungspunkte für weitere Forschungen.

Z5 Vergleichende Analyse des manuellen und automatisierten Bohrverfahrens zur Erstellung von Deckenbohrungen

Ein abschließendes Ziel dieser Arbeit ist es, die Abläufe des manuellen und automatisierten Bohrens von Deckenbohrungen sowohl quantitativ als auch qualitativ zu vergleichen. Dieser Vergleich baut auf den im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme erhobenen Prozess- und Zeitdaten auf und zielt darauf ab, wesentliche Unterschiede in der Effizienz beider Verfahren herauszuarbeiten.

Um die Ziele dieser Arbeit effektiv zu erreichen und den Untersuchungsrahmen sinnvoll zu beschränken, sind spezifische Abgrenzungen notwendig, um den Fokus klar zu definieren und die verfügbaren Ressourcen auf die wesentlichen Aspekte der Untersuchung zu konzentrieren. Folgende Abgrenzungen wurden getroffen:

A1 Abgrenzung des Untersuchungsrahmens

Obwohl für die Bewertung zweier Technologien idealerweise alle relevanten Faktoren – wirtschaftliche, technische und soziale – umfassend berücksichtigt werden sollten, beschränkt sich diese Arbeit ausschließlich auf den Vergleich beider Abläufe und die damit verbundenen Zeitdaten. Da der Fokus auf einer objektiven Darstellung der Ist-Situation und dem direkten Vergleich der Prozesse liegt, werden keine Optimierungspotenziale identifiziert, um eine mögliche Verzerrung durch subjektive Verbesserungsvorschläge zu vermeiden.

A2 Abgrenzung der untersuchten Prozesse

Die Untersuchung konzentriert sich ausschließlich auf den Prozess des Deckenbohrens zur Befestigung von Dübelbefestigungen während der Ausführung. Dies umfasst sowohl die manuelle Ausführung durch den Menschen als auch die semi-autonome Ausführung durch den Roboter. Dabei wird nur der Teil des Prozesses betrachtet, der ausführend mit der Bohrung zu tun hat. Die vorbereitenden Rüsttätigkeiten, Planungstätigkeiten sowie nachfolgende Montageprozesse zur Befestigung von Deckenelementen werden dabei nicht berücksichtigt werden.

A3 Abgrenzung der ermittelten Daten

Aufgrund der begrenzten Anzahl und Dauer der durchgeführten Zeitaufnahme kann es vorkommen, dass Werte nicht statistisch valide sind. Diese sind an geeigneter Stelle gekennzeichnet und als solche kenntlich gemacht. Generell dienen die in dieser Bachelorarbeit erhobenen Daten eher einer abschätzenden Analyse als einer präzisen Bestimmung allgemeingültiger Referenzwerte. Zudem soll klargestellt werden, dass die Daten ausschließlich zu Kalkulations- und Vergleichszwecken genutzt und nicht als Grundlage für Entlohnung, tarifliche oder vertragliche Vereinbarungen herangezogen werden dürfen.

Die festgelegten Ziele und Abgrenzungen sollen den Rahmen dieser Bachelorarbeit definieren und eine zielgerichtete Untersuchung gewährleisten. Durch die Konzentration auf spezifische Aspekte der REFA-Zeitaufnahme und der Robotik im Bauwesen soll diese Arbeit wissenschaftlich fundierte und praktisch relevante Erkenntnisse liefern. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse dieser Studie als Grundlage für weitere Forschungen dienen können und praktische Implikationen für die Bauindustrie aufzeigen.

1.3 Forschungsfragen

Um die genannten Ziele zu erreichen, wurden folgende Forschungsfragen untersucht:

F1 Welche Möglichkeiten und Grenzen bestehen bei der Anwendung der REFA-Zeitaufnahme in Bauprozessen?

Diese Forschungsfrage untersucht die Anwendbarkeit der REFA-Zeitaufnahme in Bauprozessen und die damit verbundenen Herausforderungen. Dabei wird analysiert, ob die Methode unter Baustellenbedingungen zuverlässige und verwertbare Zeit- und Ablaufdaten liefert.

F2 Inwieweit lassen sich die Ergebnisse der REFA-Zeitaufnahme zur Bewertung und Entscheidungsfindung zwischen traditionellen und automatisierten Bauverfahren nutzen?

Die bei der REFA-Zeitaufnahme gewonnenen Daten werden auf Relevanz und Nutzbarkeit evaluiert. Dabei liegt der Fokus, inwiefern diese Daten Entscheidungsträgern bei ihrer Wahl zwischen traditionellen und automatisierten Bauprozessen unterstützen können.

F3 Welche Unterschiede zeigen sich zwischen dem manuellen und dem semi-autonomen Bohrprozess basierend auf den mit der REFA-Zeitaufnahme erfassten Daten?

Diese Frage zielt auf einen umfassenden Vergleich des manuellen und des automatisierten Bohrprozesses, repräsentiert durch den Hilti Jaibot, ab. Es wird untersucht, inwiefern sich die beiden Prozesse hinsichtlich ihrer Struktur und Effizienz unterscheiden und welches Potenzial der Einsatz dieses automatisierten Verfahrens für die Optimierung von Bauprozessen bietet.

Durch die Beantwortung der Forschungsfragen und das Erreichen der festgelegten Ziele untersucht diese Bachelorarbeit die Anwendung der REFA-Zeitaufnahme in Bauprozessen, um deren Potenzial zur systematischen Erfassung und Analyse von Zeitdaten zu bewerten. Der Fokus liegt auf der detaillierten Erhebung von Ablauf- und Zeitdaten als Grundlage für einen Vergleich zwischen dem manuellen und dem semi-autonomen Bohrverfahren mit dem Hilti Jaibot. Ziel ist es, belastbare Erkenntnisse über die Unterschiede beider Verfahren zu

gewinnen und zu beurteilen, inwiefern der Einsatz des Jaibots zur Effizienzsteigerung im Bauprozess beitragen kann.

1.4 Methodik und Aufbau

Der Aufbau dieser Arbeit ist so gestaltet, dass jede methodologische Phase direkt mit der Struktur der Kapitel (Kap.) zusammenhängt, um eine flüssige und logische Darstellung der Forschung zu gewährleisten. Eine Visualisierung des Ablaufs und der Struktur dieser Arbeit ist in Abbildung (Abb.) 1 zu finden.

Die Arbeit beginnt mit einer eingehenden Untersuchung des Hilti Jaibot und der REFA-Zeitaufnahme, die in Kap. 2 und 3 dargestellt wird. Während Kap. 3 eine klassische Literaturrecherche zur REFA-Zeitaufnahme umfasst, basiert Kap. 2 auf einer Kombination aus Literatursauswertung und primären Quellen. Da bisher nur begrenzte Literatur zum Hilti Jaibot verfügbar ist, wurde dieses Kapitel maßgeblich durch Experteninterviews mit einem Jaibot-Operations-Manager von Hilti sowie eigene Beobachtungen während der Zeitaufnahme ergänzt. Dadurch stellt Kap. 2 nicht nur eine theoretische Einordnung dar, sondern enthält auch eigenständige Ergänzungen, die zur Schaffung eines grundlegenden Verständnisses für den Jaibot und seine Einsatzmöglichkeiten beitragen.

Kap. 4 beschreibt die empirische Untersuchung in Form einer Fallstudie, die sich auf die praktische Anwendung der REFA-Zeitaufnahme im Bauprozess des Deckenbohrers konzentriert. Hierbei werden sowohl der manuelle als auch der semi-autonome Bohrprozess betrachtet, wobei der Hilti Jaibot als Beispiel für das automatisierte Verfahren dient. Die Datenerhebung erfolgt direkt auf der Baustelle, wobei detaillierte Prozess- und Zeitdaten erfasst werden. Ziel ist es, die Anwendbarkeit der REFA-Methodik im Baukontext zu überprüfen und erste Erkenntnisse zur Effizienz beider Bohrmethoden zu gewinnen. Die erhobenen Daten werden anschließend statistisch analysiert und ausgewertet, um die Effizienzunterschiede der beiden Prozesse quantifizierbar zu machen.

Kap. 5 setzt sich mit dem Vergleich der beiden Prozesse auseinander und diskutiert die Ergebnisse kritisch im Kontext der Forschungsfragen. Dabei werden die strukturellen Unterschiede in den Abläufen, die ermittelten Zeitwerte sowie deren praktische Relevanz für den Baustelleneinsatz untersucht.

Der Abschluss des Forschungsprozesses erfolgt in Kap. 6, in dem die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und hinsichtlich ihrer praktischen Bedeutung und wissenschaftlichen Relevanz bewertet werden. Abschließend werden Empfehlungen für zukünftige Forschungsvorhaben formuliert, die auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauen könnten.

Zur übersichtlichen Strukturierung der Arbeit werden drei Anhänge genutzt: Anhang 1 umfasst beschreibende Abbildungen und Materialien, die primär zur Illustration und Erklärung der theoretischen Grundlagen und des Kontextes dienen. Anhang 2 enthält alle bei der REFA-Zeitaufnahme ausgefüllten Zeitaufnahmebögen sowie deren Überführung in digitale Tabellen. Anhang 3 enthält die Auswertungen und Ergebnisse der weiteren Untersuchungen dieser Daten. Die Bezeichnungen der Abbildungen und Tabellen in den Anhängen folgen einem

einheitlichen Schema. So steht beispielsweise „Abb. A1.2“ für die zweite Abbildung im ersten Anhang, wobei „A1“ den ersten Anhang kennzeichnet. Diese Systematik soll dem Leser eine schnelle und einfache Orientierung ermöglichen.

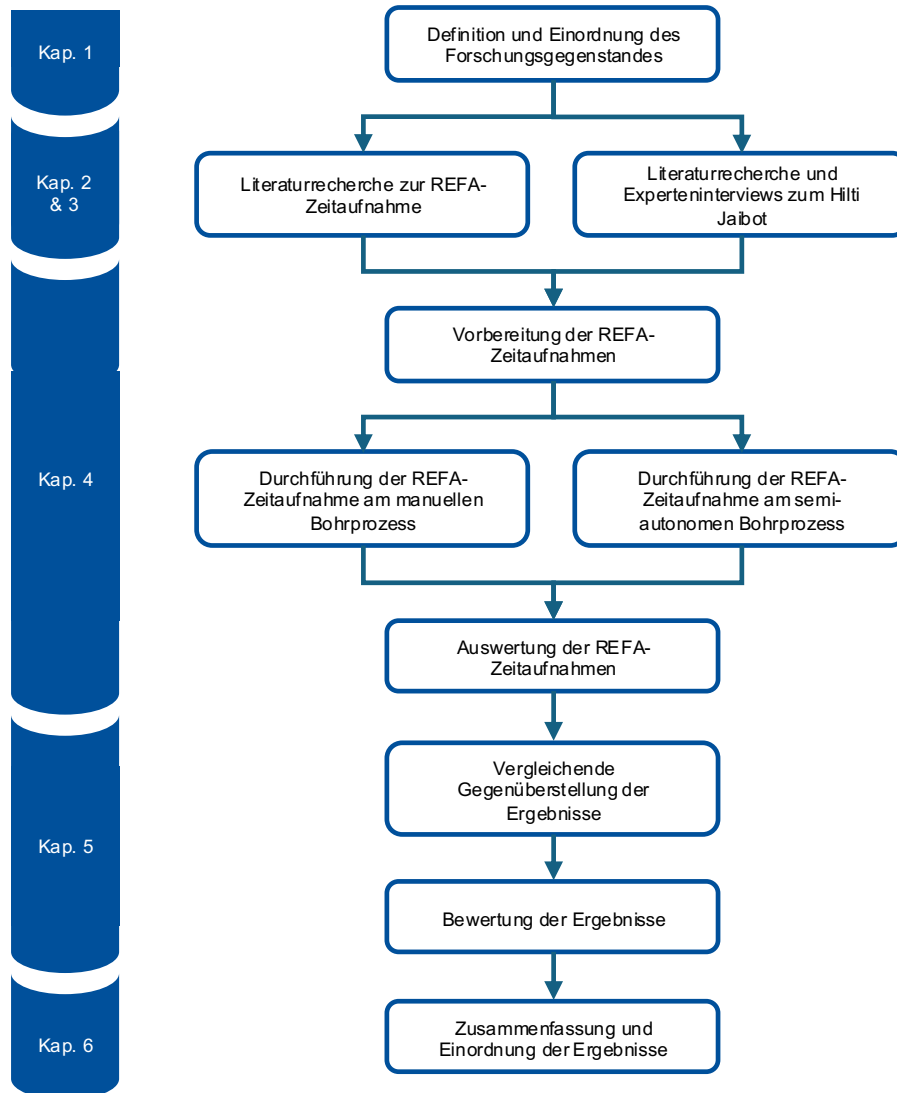


Abb. 1 Schematische Gliederung der Bachelorarbeit in Form eines Flussdiagramms (eigene Darstellung).

2 Theoretische Grundlagen zum Hilti Jaibot

2.1 Einordnung

Der Einsatz von Robotern zielt im Allgemeinen darauf ab, die Gesundheit und Sicherheit von Mitarbeitern zu verbessern sowie die Produktivität und Qualität der Fertigungs- und Ausführungsprozesse zu steigern. Auf Baustellen gibt es jedoch bisher nur wenige Anwendungen, bei denen Roboter bereits erfolgreich eingesetzt werden (vgl. Künzler et al. 2022, S. 67 f.). Eines der wenigen Beispiele hierfür ist der Hilti Jaibot (auch Jaibot genannt). Er gehört zu den ersten Bohrrobotern, die zur Automatisierung von Wand- und Deckenbohrungen genutzt werden (Hilti Deutschland AG 2020). Ein Eindruck seines Einsatzes auf der Baustelle kann in Abb. A1.1 im Anhang 1 gewonnen werden. Der Jaibot kann in die Kategorie des sogenannten Single-Task Construction Robots (STCR) eingeordnet werden, wie von Professor Thomas Bock definiert. STCRs sind speziell darauf ausgelegt, einzelne Aufgaben auf der Baustelle zu übernehmen oder zu unterstützen, um die körperliche Belastung der Mitarbeiter zu reduzieren. Im Gegensatz zu aktuellen Tendenzen der Bauindustrie, Automatisierungsprozesse im Rahmen der Vorfertigung in kontrollierte industrielle Umgebungen zu verlagern, erfolgt der Einsatz von STCRs, und damit auch des Jaibots, direkt auf der Baustelle. Dies ermöglicht eine direkte Integration in bestehende Bauabläufe, ohne diese umfangreich anpassen oder umstrukturieren zu müssen (vgl. Bock/Linner 2016, S. 1).

Da der Hilti Jaibot ein neuartiger Bohrroboter ist, sind dessen technologische Entwicklung, Einsatzgebiete und Funktionsweise bisher nur in begrenztem Umfang in der wissenschaftlichen Literatur dokumentiert. Während allgemeine Informationen zum Jaibot aus Unternehmenspublikationen und Fachartikeln entnommen werden können, fehlen detaillierte, praxisnahe Beschreibungen zu seinem tatsächlichen Einsatz auf der Baustelle. Um dennoch das Ziel Z1 – ein grundlegendes Verständnis für den Jaibot und seine Einsatzmöglichkeiten – zu erreichen, stützt sich dieses Kapitel neben der bestehenden Literatur auch auf Erkenntnisse aus Experteninterviews, die im Rahmen dieser Arbeit mit einem erfahrenen Jaibot-Operator geführt wurden. Diese primären Informationen ergänzen die technischen und theoretischen Grundlagen und ermöglichen eine praxisorientierte Perspektive auf die Arbeitsweise und Rahmenbedingungen des Jaibots.

Die Entwicklung des Jaibots ist eng mit der Innovationsstrategie der Hilti AG verknüpft, die darauf abzielt Bauprozesse durch fortschrittliche Technologien wie Digitalisierung und Robotik stetig zu verbessern. Als international tätiges Unternehmen hat sich Hilti auf die Entwicklung, Herstellung und den Vertrieb hochwertiger Produkte und Dienstleistungen für die Bauindustrie spezialisiert. Mit einem Fokus auf Befestigungstechnik ist Hilti einer der Marktführer auf diesem Gebiet. Das Portfolio umfasst eine Vielzahl von Produkten und Dienstleistungen, die speziell auf die Anforderungen des Baugewerbes zugeschnitten sind, einschließlich Dübelbefestigungssysteme, Bohrgeräte und entsprechende Planungssoftware und Planungsdienstleistungen. (vgl. Wang/Hassler 2023).

Die Entwicklung des Jaibots wurde durch mehrere Whitepapers von Hilti angestoßen, die sich mit den Themen wirtschaftliche und ergonomische Arbeitsweisen, der Anwendung von Digitalisierung und BIM in der

Baubranche sowie der Entwicklung von Robotik in der Bauindustrie auseinandersetzen. In Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen wie der RWTH Aachen und Partnern aus der Robotikbranche wurden erste Prototypen des Jaibots entwickelt (siehe Abb. A1.2 im Anhang 1). Bei der Entwicklung des Jaibots wurde großer Wert auf eine intuitive und benutzerfreundliche Bedienung gelegt, um einen Einsatz auf der Baustelle zu erleichtern (Pütz 2022a). Nach mehreren Jahren intensiver Entwicklungsarbeit wurde der Jaibot schließlich am 28. Oktober 2020 in seiner ersten Version offiziell vorgestellt (vgl. Hilti Deutschland AG 2020).

Der Jaibot nutzt vor allem Synergieeffekte die sich durch die steigende Anwendung der modernen BIM-Methode¹ ergeben, und setzt die dabei entstehenden digitalen Plandaten in eine physikalische Umsetzung auf der Baustelle um. Somit fungiert der Jaibot als Bindeglied zwischen der digitalen Planung und der physikalischen Ausführung. Er ist in der Lage, sich selbstständig über die im Lieferumfang befindliche Totalstation Hilti PLT 300 auf der Baustelle zu verorten, anschließend automatisiert Löcher zu bohren und diese entsprechend den Anforderungen der verschiedenen Gewerke² zu markieren. Diese Wand- und Deckenbohrungen sind in modernen Gebäuden von zentraler Bedeutung, da sie für die Installation von Dübelbefestigungselementen (umgangssprachlich auch Abhänger oder Typicals genannt) benötigt werden, an denen der Großteil der Gebäudetechnik und weiterer Elemente für den Innenausbau wie Zwischendecken befestigt werden. Insbesondere bei großen Bauprojekten entstehen oft mehrere Tausend Bohrlöcher pro Stockwerk, die aktuell noch manuell ausgeführt werden (vgl. Krönert/Zanona 2021, S. 448 ff.).

Der Jaibot wird von Hilti zur projektspezifischen Miete, als auch zum Kauf oder Leasing im Hilti-Flottenmanagement angeboten. Abhängig von den Anforderungen der Baustelle kann z. B. entweder ein großes Montageunternehmen, das alle Befestigungselemente für verschiedene Gewerke installiert, den Jaibot mieten, oder einzelne Gewerke mieten den Roboter direkt für ihre Bohrarbeiten. Hilti übernimmt die Anlieferung und Abholung des Jaibots. Bei der ersten Nutzung erfolgt die Einweisung und Zertifizierung der vom Kunden zu stellenden Maschinenführer (auch Jaibot-Operator) durch einen erfahrenen Jaibot-Operations-Manager von Hilti. Um den Betrieb auch während Pausen, Urlaub oder Krankheit sicherzustellen, empfiehlt Hilti mindestens zwei Jaibot-Operator ausbilden zu lassen. Diese Schulung bzw. Zertifizierung dauert in der Regel ein bis zwei Tage, nach dessen Abschluss der reguläre Bohrbetrieb aufgenommen werden kann und die Unternehmen die Verantwortung für die weitere Bedienung des Jaibots übernehmen (vgl. Pütz 2022a).

2.2 Einsatzgebiet

Für einen erfolgreichen Einsatz des Jaibots auf der Baustelle müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Zunächst ist eine digitale Planung der Befestigungselemente bzw. der Bohrpunkte erforderlich, idealerweise im Rahmen eines BIM-Modells. Hierbei kann Hilti diese Befestigungsplanung als eigene Dienstleistung anbieten. Alternativ bzw. ergänzend ist auch eine klassische Übergabe der auszuführenden Bohrpunkte in einer digital

¹ *BIM-Methodik*: Ein kollaborativer Arbeitsprozess, der auf der Nutzung digitaler Bauwerksmodelle bzw. BIM-Modellen basiert, um die Planung, Ausführung und den Betrieb von Bauprojekten effizienter und transparenter zu gestalten.

² *Gewerke*: Die unterschiedlichen handwerklichen oder technischen Bereiche in der Bauindustrie, die an einem Bauprojekt beteiligt sind, wie z. B. Elektroinstallation, Heizungsbau oder Trockenbau.

ausführbaren Werk- und Montageplanung möglich. Der Arbeitsbereich, in dem der Jaibot eingesetzt werden soll, muss möglichst frei von Hindernissen am Boden sein. Dazu zählen herumliegende Materialien, Betriebsmittel, Leitungen und sonstige Bodeninstallationen, die die Bewegungsfreiheit des Jaibots einschränken könnten. Ebenso sollte die Decke zum Zeitpunkt des Einsatzes frei von bereits installierten Elementen sein, da der Jaibot bei Berührung mit diesen Elementen direkt in einen Sicherheitsmodus wechseln würde, was den Ablauf deutlich erschwert. Daher ist es ideal, wenn der Jaibot als eines der ersten Gewerke flächendeckend im Bereich arbeitet. In Sanierungsprojekten, in denen möglicherweise noch Bestandsinstallationen unter der Decke vorhanden sind, kann der Einsatz des Jaibots problematisch oder sogar unmöglich sein. Hier bedarf es einer individuellen Machbarkeitsstudie. Maßgeblich für einen effizienten und wirtschaftlichen Einsatz des Jaibots ist eine möglichst hohe Bohrpunktdichte, jedoch mindestens etwa 2 Bohrpunkte pro m² (vgl. Pütz 2022b, 2022a).

Das primäre Einsatzgebiet des Jaibots umfasst das Bohren von Löchern für Dübel-Befestigungen, die im weiteren Bauprozess für Wand- und Deckeninstallationen im Innenausbau benötigt werden. Dazu zählen neben der Befestigung von Deckenelementen vorwiegend die Befestigung von Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Zur TGA gehören alle technischen Systeme, die für die Funktion und den Betrieb eines Gebäudes notwendig sind, wie Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Elektrotechnik sowie Kommunikations- und Sicherheitssysteme. Da die Bauteile und Leitungen dieser Systeme im Regelfall unter der Decke montiert werden, bietet sich der Einsatz des Jaibots hier besonders an (vgl. Krönert/Zanona 2021, S. 448 ff.). Eine genaue Einordnung des Bohrprozesses zur Befestigung von TGA-Komponenten in den Gesamtbauablauf eines Bauprojekts ist in Abb. A1.3 im Anhang 1 dargestellt.

Gegenwärtig werden solche Deckenbohrungen meist manuell durchgeführt, was sowohl arbeitsintensiv als auch körperlich belastend ist. Ein Mitarbeiter muss die Pläne lesen, die Bohrpunkte an der Decke markieren und die Bohrungen aufgrund der Überkopfarbeit unter oft ungünstigen ergonomischen Bedingungen ausführen. Diese Tätigkeiten sind nicht nur ermüdend, sondern auch zeitaufwendig, da sie häufig in großer Höhe stattfinden was den Ablauf deutlich erschwert. Der Jaibot automatisiert diese Prozesse, wodurch die Bohrungen effizient und präzise durchgeführt werden, was zu einer erheblichen Reduzierung der körperlichen Belastung und einer Erhöhung der Arbeitssicherheit auf der Baustelle führt (vgl. Pütz 2022a).

2.3 Technischer Aufbau und Funktion

Der Jaibot gehört zur Kategorie der semi-autonomen Roboter, die bestimmte Aufgaben eigenständig ausführen können, jedoch in anderen Situationen menschliche Eingriffe oder Überwachung erfordern. Diese Kombination aus automatisierten Funktionen und der Flexibilität durch menschliches Eingreifen ermöglicht es solchen Robotern, sich an unterschiedliche Arbeitsumgebungen und Aufgaben anzupassen. Diese Eigenschaft ist besonders wertvoll auf Baustellen, da diese durch ihre Komplexität und dynamischen Bedingungen gekennzeichnet sind (vgl. Zilberstein 2015).

Ein robotisches System besteht in der Regel aus vielen eigenständigen Komponenten, die zusammenhängend, eine Aufgabe ausführen. So auch der Jaibot, dessen Hauptkomponenten schematisch in Abb. 2 dargestellt sind.

Die Basis bildet eine Plattform, die alle erforderlichen technischen und elektronischen Systeme sowie den Haupt-Akku des Jaibots umfasst. Dank der Kettenantriebe kann sich die Plattform flexibel auch auf unebenem Baustellengelände fortbewegen. Mit kompakten Abmessungen von 0,895 x 1,640 x 1,670 m ist der Jaibot in der Lage durch Standardtüröffnungen zu fahren und in Fahrstühlen transportiert zu werden, was sein Einsatzgebiet innerhalb des Gebäudes erhöht. Mit einem Gewicht von etwa 850 kg erfordert der Einsatz des Jaibots eine Mindesttragfähigkeit des Bodens von 675 kg pro m², was in den meisten modernen Gebäuden gegeben ist. Kritisch könnte dieser Wert jedoch bei Doppel- oder Hohlrumböden werden, was im Einzelfall zu prüfen ist. Auf der Plattform ist ein Bohrturm montiert, der die vertikale Höhenverstellung ermöglicht und den Roboterarm trägt. Dieser Arm verfügt über sieben Freiheitsgrade³, die es ihm erlauben, innerhalb eines bestimmten Radius (dem Bohrbereich) autonom zu arbeiten. Am Ende des Bohrarms ist der Bohrkopf angebracht, der für das Bohren, das Absaugen von Bohrstaub und das Markieren der Bohrpunkte zuständig ist.

Im Betrieb wird der Jaibot von einem zertifizierten Jaibot-Operator gesteuert, der mithilfe einer Fernsteuerung die Plattform in die jeweiligen Bohrbereiche von 2 m Aktionsdurchmesser im Deckenbohrmodus bzw. 1,20 m Aktionsdurchmesser im Wandbohrmodus bewegt und den Bohrturm in die gewünschte Höhe verstellt. Das Tablet (PLC 400) dient als zentrale Bedieneinheit, über die der Jaibot-Operator die Automatisierungsprogramme des Jaibots steuert. Diese Programme beinhalten die autonome Bewegung des Roboterarms sowie die Steuerung des Bohrkopfes. Hierfür ist zunächst eine genaue Positionierung des Jaibots im Raum notwendig, die er bereits autonom ausführt, bevor er mit dem Bohren, Absaugen und Markieren der Bohrpunkte fortfährt.

Diese Positionierung des Jaibots im Raum wird durch die PLT-Station (PLT 300) ermöglicht. Sie nutzt Reflektormarken, die zuvor an den Wänden angebracht wurden, sowie trigonometrische Berechnungen, um die genaue Lage des Jaibots zu bestimmen und eine durchgehend hohe Genauigkeit der Bohrarbeiten zu gewährleisten (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

³ *Freiheitsgrade*: Ein Maß in der Robotik für die Anzahl der unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten, die ein Roboterarm oder ein mechanisches System besitzt, um seine Position oder Orientierung im Raum zu verändern (vgl. Bock/Linner 2015, S. 317).



Abb. 2 Darstellung der Hauptkomponenten des Jaibots, basierend auf Bildmaterial der Hilti Deutschland AG (Hilti Deutschland AG 2022) in eigener schematischen Darstellung.

Im Folgenden werden die einzelnen Komponenten des Jaibots und ihre jeweiligen Funktionen detailliert beschrieben. Es ist zu berücksichtigen, dass der Jaibot einer kontinuierlichen Weiterentwicklung durch den Hersteller Hilti unterliegt. Die in dieser Arbeit beschriebenen Funktionen und technischen Spezifikationen entsprechen dem Stand der Entwicklung im Jahr 2022.

Die *Plattform* (siehe Abb. A1.4 im Anhang 1) bildet die Basis des Jaibots und stellt die untere Einheit unterhalb des Bohrturms dar. Ihre Hauptfunktion besteht darin, den Bohrroboter zwischen den verschiedenen Bohrbereichen auf der Baustelle zu bewegen. Hierfür ist die Plattform mit zwei Kettenantrieben ausgestattet, die eine Fortbewegung auch auf unebenem Gelände ermöglichen. Sie kann Stufen mit einer Höhe von bis zu 15 cm und einer Neigungen von maximal 15 Grad überwinden. Die Energieversorgung des Jaibots erfolgt über einen integrierten Akku, der je nach Einsatz eine Betriebsdauer von mindestens 8 und bis zu 10 Stunden gewährleistet. Während der Ladezeit von etwa 6 Stunden kann der Bohrroboter weiterhin betrieben werden, wenn er an ein Versorgungskabel angeschlossen ist. Zusätzlich zum Betrieb des Jaibots dient der Akku dazu, die Wechselakkus der PLT-Station, des Tablets und der Fernsteuerung aufzuladen. Oberhalb der Plattform befindet sich eine Bedieneinheit, die den Start des Jaibots über einen grünen Knopf ermöglicht und den aktuellen Akkustand anzeigt. Während des Betriebs signalisieren orangefarbene Warnleuchten die aktive Nutzung des Jaibots. Die Plattform verfügt über zwei abgetrennte Fächer. Das Service-Kompartiment bietet Zugang zur täglichen Systemwartung wie dem Kompressor, dem Absaugsystem und dem Farbmarkierungssystem. Hier können der Kompressor entlüftet, Staubbeutel gewechselt und Markierungsfarbe nachgefüllt werden. Es bietet zudem Stauraum für das Stativ der PLT-Station, die Messlanze, Ersatzstaubbeutel und Nachfüllflaschen für das Farbsystem (siehe Abb. A1.5 im Anhang 1). Im Akku-Kompartiment befinden sich die Ladeeinrichtungen für die Ersatzakkus sowie Stauraum für die Akkus, die PLT-Station, das Ladekabel des Bohrroboters und weiteres Werkzeug wie Lasermessgerät und Bohrer. Nach dem Herunterfahren des Jaibots können hier auch die Fernsteuerung und das Tablet sicher verstaut werden (siehe Abb. A1.6 im Anhang 1). Ein weiteres Fach enthält den Schaltkasten für die elektrische Verkabelung und den Rechner des Robot Operating Systems (ROS), welches im normalen

Betrieb jedoch verschlossen ist und nur Hilti-Technikern zugänglich ist (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Der *Bohrturm* ermöglicht die vertikale Höhenverstellung des Roboterarms durch ein Scherengelenk (siehe Abb. A1.7 im Anhang 1). Er ist mit einer Schutzhülle ummantelt, die die sichere Bedienung gewährleistet und das Gelenk vor Staub und Schmutz schützt. Der Bohrturm ermöglicht dem Jaibot so Bohrungen in Decken zwischen 2,65 m und 5,0 m Deckenhöhe. Auch ist die Ausführung von Wandbohrungen in Höhen zwischen 1,20 m und 4,80 m möglich. Die Höhenverstellung erfolgt manuell über einen Bedienhebel auf der Fernsteuerung durch den Jaibot-Operator. Zu Beginn des Bohrvorgangs wird der Bohrturm von diesem auf eine Höhe knapp unterhalb der Decke gefahren. Diese Justierung erfolgt nach Augenmaß, da sich der Bohrarm während des Bohrvorgangs automatisch an die exakte Deckenhöhe anpasst. Ein Herunterfahren des Bohrturms ist beim Bewegen des Bohrroboters zu oder zwischen den Bohrbereichen nicht erforderlich. Lediglich bei Wartungsarbeiten, Bohrerwechseln oder beim Abbau muss der Bohrturm erneut abgesenkt werden (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Der *Bohrarm* des Jaibots basiert auf einem industriellen Standard-Roboterarm und verfügt über sieben Gelenke, die ihm seine Flexibilität entlang der 7 Freiheitsgrade verleiht (siehe Abb. A1.8 im Anhang 1). Diese Konfiguration ermöglicht ein Arbeiten in einen Bohrbereichsdurchmesser von 2 m bei Deckenbohrungen und 1,20 m bei Wandbohrungen. Innerhalb dieses Bereichs wird der Bohrarm vollständig autonom durch das ROS gesteuert, sobald der Jaibot-Operator über das Tablet den Betriebsmodus Bohren aktiviert. Außerdem besitzt der Bohrarm mit der Kollisionserkennung ein wesentliches Sicherheitsmerkmal, die den Bohrvorgang im Falle einer Berührung mit Bauteilen sofort abbricht und den Arm zurück in eine Sicherheitsposition bringt (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Der *Bohrkopf*, der als Endeffektor am Bohrarm angebracht ist, umfasst mehrere wichtige Komponenten (siehe Abb. A1.9 im Anhang 1). Dazu gehört ein handelsüblicher Hilti-Bohrhammer, der mit einem Schnellspannbohrfutter ausgestattet ist und sich mittels zweier Inbusschrauben vollständig austauschen lässt. Der Bohrhammer kann Bohrer mit einem Durchmesser von 6 bis 16 mm aufnehmen und Bohrtiefen bis zu 200 mm erreichen. Ein Bohrtiefenmessgerät überwacht die Bohrtiefe. Zusätzlich ist ein LiDAR-Sensor am Bohrkopf installiert, der den Abstand zwischen Bohrkopf und Decke misst. Sensoren am Bohrkopf erkennen auch, wenn der Bohrer auf eine Eisenbewehrung trifft. In diesem Fall kann der Jaibot-Operator entscheiden, ob der Bohrvorgang abgebrochen oder fortgesetzt werden soll. Zur Markierung der Bohrpunkte ist der Bohrkopf mit einer Farbdüse ausgestattet, die bis zu acht verschiedene Markierungssymbole aufbringen kann. Diese Symbole können im Vorfeld individuell konfiguriert werden, beispielsweise nach Gewerken oder Befestigungselementen (siehe Abb. A1.10 im Anhang 1). Eine Absaugeinrichtung saugt den Bohrstaub direkt ab, wodurch ein zusätzliches Reinigen der Bohrlöcher (außer bei Injektionsankern) entfällt. Ein Faltenbalg als Aufsatz um den Bohrer reduziert die Emission von Bohrstaub. Zur genauen Positionierung des Jaibots im Raum ist der Bohrkopf mit einem 360-Grad-Prisma ausgestattet, das von der PLT-Station erfasst und referenziert wird. Dies geschieht mindestens nach jeder manuellen Positionsveränderung. Dann wird der Bohrkopf durch den Roboterarm in einem speziellen Bewegungsmuster, dem sogenannten „Ausrichtungstanz“, bewegt. Diese Bewegung ermöglicht der PLT-

Station, die genaue Position des Prismas im Raum zu bestimmen. Die Positionsgenauigkeit des gesamten Bohrpunktrasters liegt bei ± 3 mm, während die Bohrlochtiefe mit einer Toleranz von ± 2 mm ausgeführt werden kann. Während des gesamten Betriebs wird der Bohrkopf vollständig automatisiert durch das ROS gesteuert (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Die *Fernsteuerung* wird vom Jaibot-Operator zur Steuerung der manuellen Funktionen des Jaibots genutzt (siehe Abb. A1.11 im Anhang 1). Sie ermöglicht die Steuerung der Plattformbewegung über zwei separate Steuerhebel für jeden Kettenantrieb, wobei der Jaibot-Operator zwischen einem langsamen und einem schnellen Fahrmodus wählen kann. Die Höhenanpassung des Bohrturms erfolgt ebenfalls manuell über die Fernsteuerung. Ein spezieller Knopf dient zum Umschalten zwischen dem manuellen und dem automatisierten Modus des Jaibots. In der Mitte der Fernsteuerung befindet sich ein Not-Aus-Knopf, der im Falle eines Notfalls die Stromzufuhr des gesamten Systems unterbricht. Um den Jaibot-Operator zu entlasten ist die Fernsteuerung ergonomisch gestaltet und verfügt über einen Nackengurt sowie eine Halterung für das Tablet, wodurch eine zentrale Steuerung und Überwachung aller Funktionen möglich ist (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Das *Tablet PLC 400* (siehe Abb. A1.12 im Anhang 1) wird vom Jaibot-Operator zur Bedienung des autonomen Bohrsystems und zur Systemkontrolle verwendet. Es dient als zentrale Schnittstelle zwischen den digitalen Bohrdaten, dem ROS im Jaibot und der PLT-Station. Die von Hilti aufbereiteten Bohrdaten, die auf Wunsch nach Geschossen, Bereichen oder Gewerken kategorisiert und über die Cloud bereitgestellt werden, können über die integrierte Mobilfunkverbindung des Tablets abgerufen werden. Diese Daten werden dann an das ROS und die PLT-Station weitergeleitet. Sobald der Bohrauftrag geladen ist, navigiert der Jaibot-Operator den Bohroboter mithilfe der Fernsteuerung manuell zur gewünschten Position. Nach dem Umschalten in den automatischen Modus können über das Tablet verschiedene Betriebsmodi aufgerufen werden: Im Bohrmodus führt er alle Bohrvorgänge autonom innerhalb des ausgewählten Bohrbereichs durch. Im Wartungsmodus wird der Bohrmast abgesenkt, um Wartungsarbeiten oder Bohrerwechsel durch den Jaibot-Operator zu ermöglichen. Im Säuberungsmodus bewegt sich der Arm so, dass die Absaugschläuche von festgesetztem Staub befreit werden. Daneben erlaubt das PLC 400 auch die Anpassung weiterer Programmeinstellungen vom Jaibot. Die Datenverbindung zwischen Tablet und Jaibot ist während des gesamten Betriebs bidirektional: Das heißt es empfängt nicht nur die digitalen Bohrdaten, sondern sendet auch kontinuierlich Sensordaten und Informationen über bereits abgeschlossene Bohrungen zurück in die Cloud, wodurch der Baufortschritt und der Status des Projekts jederzeit aus der Ferne überwacht werden können (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Die *PLT-Station PLT 300* (siehe Abb. A1.13 im Anhang 1) ist ein akkubetriebenes Gerät zur präzisen Ortung und Referenzierung des Jaibots auf der Baustelle. Sie dient als Bindeglied zwischen dem virtuellen BIM-Modell bzw. den digitalen Bohrdaten und der realen Baustellenumgebung, indem sie das Koordinatensystem der digitalen Plandaten mit den physischen Messpunkten auf der Baustelle verbindet. Vor der Inbetriebnahme des Jaibots müssen sogenannte Reflektormarken (siehe Abb. A1.14 im Anhang 1) an den Wänden der Baustelle angebracht werden, die der räumlichen Verortung der PLT-Station dienen. Diese Marken sollten in einer Höhe von etwa 2 m über dem Rohfußboden angebracht werden, um ein schnelles Auffinden zu ermöglichen. Die

Positionierung der Reflektormarken erfolgt gemäß nach einem von Hilti erstellten Messkonzept (siehe Abb. A1.15 im Anhang 1). Nach dem Anbringen misst ein Vermesser die Marken in ein entsprechendes Koordinatensystem ein und übermittelt diese Vermessungsdaten zurück an Hilti. Sie werden dann in den digitalen Bohrplan (siehe Abb. A1.16 im Anhang 1) zurückgeführt und über die Cloud bereitgestellt. Die PLT 300 sucht zu Beginn jedes Einsatzes die ihr bekannten Reflektormarken und ermittelt mittels trigonometrischer Berechnungen ihre Position. Anschließend lokalisiert die PLT-Station das Prisma am Bohrkopf des Jaibots und berechnet kontinuierlich dessen exakte Position im Raum. Sollte die Sichtverbindung zum Prisma unterbrochen werden, muss die PLT-Station umgestellt und der Vorgang der Positionsbestimmung wiederholt werden (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

Der Jaibot wird in einer speziell entwickelten *Transportbox* geliefert, die während des Einsatzes auf der Baustelle als mobile Garage dient (siehe Abb. A1.17 im Anhang 1). Die Transportbox selbst wiegt 300 kg und kommt mit dem Jaibot zusammen auf ein Gesamtgewicht von 1.150 kg. Daher muss sichergestellt werden, dass der Abstellort dieser Belastung standhält. Aufgrund der kompakten Abmessungen von 1,900 m x 1,140 m x 2,000 m kann die Transportbox problemlos durch kleinere Öffnungen und in Bauaufzügen transportiert werden. Der Transport der Box erfolgt entweder mittels Kran über die vier Kranösen oder durch einen Gabelstapler oder Hubwagen. Für den einfachen Zugang lässt sich die Transportbox auf allen vier Seiten öffnen, wobei die Rückseite über zwei integrierte Rampen verfügt, die das Ein- und Ausfahren des Jaibots ermöglichen. Alle Öffnungen sind abschließbar, um die Sicherheit des Jaibots insbesondere über Nacht oder bei Nichtgebrauch zu gewährleisten, was aus Versicherungsgründen sogar gefordert wird. Der Jaibot kann auch in der Transportbox weiterhin über das Ladekabel aufgeladen werden. Darüber hinaus bietet die Transportbox Stauraum für zusätzliches Material wie Ersatzbohrer, Staubbeutel, Rampen und Stromkabel, sodass alles Notwendige für den Einsatz des Jaibots stets griffbereit ist. Die Positionierung der Transportbox sollte strategisch erfolgen: Sie sollte sich in der Nähe eines Stromverteilerkastens befinden, um das nächtliche Aufladen zu erleichtern und gleichzeitig nahe am Arbeitsbereich, um die Wege des Jaibots möglichst kurz zu halten (Hilti Deutschland AG 2022; vgl. Pütz 2022a, 2022b).

3 Theoretische Grundlagen der Datenermittlung

3.1 Bedeutung von Zeitdaten im Projektmanagement

Zeit ist eine der zentralen Größen im Projektmanagement, da sie eine begrenzte Ressource darstellt und zahlreiche andere Parameter wie Qualität, Kosten und Ressourcennutzung beeinflusst. Eine effiziente Zeitplanung trägt dazu bei, Arbeitsschritte sorgfältig und fehlerfrei durchzuführen, was sich direkt auf die Qualität der Projektergebnisse auswirkt. Aus Kundensicht wird die termingerechte Fertigstellung eines Projekts zudem als ein zentrales Qualitätsmerkmal wahrgenommen. Gleichzeitig beeinflusst die Zeitplanung die Kosten maßgeblich, etwa über Löhne oder Maschinenstundensätze. Verzögerungen und ineffiziente Prozesse führen unweigerlich zu höheren Kosten und können die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens beeinträchtigen. Zeit ist darüber hinaus essenziell für die Planung und Zuweisung von Ressourcen wie Personal, Material und Ausrüstung (vgl. Becks 1995, S. 86).

Im Projektmanagement wird die Bedeutung von Zeit häufig im „magischen Dreieck“ dargestellt, das die drei zentralen Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität umfasst. Diese Ziele stehen in einem direkten Spannungsverhältnis: Eine Verkürzung der Projektzeit kann die Kosten erhöhen oder die Qualität beeinträchtigen, während hohe Qualitätsanforderungen oft mit längeren Projektzeiten und höheren Kosten verbunden sind (vgl. Kinatader 2017, S. 534).

Im Bauwesen, das durch seine Komplexität und die Vielzahl unvorhersehbarer Einflussfaktoren gekennzeichnet ist, kommt der präzisen Erfassung und Analyse von Zeitdaten eine besonders hohe Bedeutung zu. Zeitdaten ermöglichen es, den Fortschritt von Projekten zu überwachen, Engpässe frühzeitig zu identifizieren und gezielte Korrekturmaßnahmen einzuleiten. Darüber hinaus bilden sie die Grundlage für die Erstellung realistischer Zeitpläne, die Zuweisung von Ressourcen und die Kontrolle über den Projekterfolg (vgl. Allan 2020, S. 49 ff.). Verzögerungen, die aus unerwarteten Problemen oder Planänderungen resultieren, gehören zu den häufigsten Herausforderungen in Bauprojekten. Sie führen nicht nur zu Kostenüberschreitungen, sondern gefährden oft den Fertigstellungstermin eines Projekts (vgl. Chan/Kumaraswamy 1996, S. 569).

Eine systematische und präzise Erfassung von Zeitdaten bietet jedoch nicht nur die Möglichkeit, Projekte effizienter zu steuern, sondern schafft auch die Grundlage für fundierte Entscheidungen im Projektmanagement. Besonders in Szenarien, in denen zwischen alternativen Prozessen gewählt werden muss – wie in dieser Arbeit zwischen manuellen und automatisierten Bauprozessen – liefern Zeitdaten eine objektive Basis für deren Vergleich. Zeitdaten sind somit nicht nur ein wesentliches Instrument zur Planung, Steuerung und Überwachung von Bauprozessen, sondern bilden auch eine zentrale Grundlage für fundierte Entscheidungen, die eine nachhaltige Sicherung des Projekterfolgs ermöglichen.

3.2 Einführung in die REFA-Methodenlehre

Die Wurzeln der REFA-Methodenlehre liegen in den frühen Arbeiten des Amerikaners Frederick Winslow Taylor (1856–1915), der als Begründer des Arbeits- und Zeitstudiums gilt. Taylor untersuchte die menschliche Arbeit

mithilfe wissenschaftlicher Methoden und legte damit die Grundlage für deren systematische Messbarkeit. Sein Ziel war es, Bedingungen zu schaffen, die eine gerechte Lohnbestimmung ermöglichen. Frank Bunker Gilbreth (1868–1924) baute auf Taylors Ideen auf und erweiterte sie durch Bewegungsstudien, die auf einer detaillierter Zergliederung von Arbeitsabläufen aufbauen. Seine frühen Arbeiten umfassten Arbeitsstudien zur Analyse von Arbeitsgängen, Bewegungsstudien zur Optimierung von Bewegungsabläufen und Zeitstudien zur zeitlichen Erfassung von Arbeitsschritten (vgl. Frühwald 1955, S. 9 f.).

Aufbauend auf diesem Grundgedanken wurde in Deutschland nach dem Ersten Weltkrieg der „Reichsausschuß für Arbeitszeitermittlung (REFA)“ (ursprüngliche Schreibweise) gegründet, um ein den deutschen Verhältnissen angepasstes Arbeits- und Zeitstudium zu entwickeln. Die wirtschaftlichen Herausforderungen der 1920er-Jahre, insbesondere die Inflation, machten es notwendig, Lohnberechnungen auf objektiven, geldunabhängigen Grundlagen durchführen zu können. REFA entwickelte daraufhin systematische Ansätze, um produktive und gerechte Arbeitsverhältnisse zu schaffen, und wurde so zu einem zentralen Akteur in der Gestaltung moderner Arbeitsstudien (vgl. Frühwald 1955, S. 10 ff.).

Im Jahr 1936 wurde der Name des Verbandes in „Reichsausschuß für Arbeitsstudien“ geändert, um der erweiterten Aufgabenstellung, insbesondere im Bereich der Arbeitswissenschaft, Rechnung zu tragen. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde die REFA 1947 als „Arbeitsgemeinschaft der Verbände für Arbeitsstudien“ wiedergegründet und 1951 in „Verband für Arbeitsstudien-REFA e. V.“ umbenannt (vgl. Frühwald 1955, S. 12). Nach mehreren weiteren Anpassungen trägt der Verband heute den Namen „REFA Fachverband e. V. Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung“. Gemäß Paragraph 2 der Satzung vom 29.06.2023 verfolgt der REFA Fachverband e. V. das Ziel, Bildung und Wissenschaft in den Bereichen Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung zu fördern. Im Mittelpunkt steht dabei die Balance zwischen wirtschaftlicher Effizienz und menschengerechter Gestaltung von Arbeit (vgl. REFA Fachverband e. V. 2023).

Die REFA-Methodenlehre verfolgte von Beginn an drei zentrale Ziele: die Entwicklung gerechter Lohnsysteme, die Förderung eines wirtschaftlichen Arbeitseinsatzes und die menschengerechte Gestaltung von Arbeitsplätzen. Diese Grundprinzipien, die auf der Analyse, Optimierung und Bewertung von Arbeitsprozessen basieren, bilden bis heute das Fundament der Methodik (vgl. Frühwald 1955, S. 13). Während in der Anfangszeit der Schwerpunkt vor allem auf der Arbeitszeitermittlung lag, entwickelte sich der Ansatz im Laufe der Jahrzehnte zu einer ganzheitlichen Methodik weiter. Heute umfasst die REFA-Methodenlehre nicht nur die reine Zeiterfassung, sondern auch Aspekte wie Ergonomie, Gesundheitsschutz und die menschengerechte Gestaltung von Arbeitsbedingungen (vgl. REFA-Institut 2015, S. 187 ff.).

Ein zentraler Bestandteil dieser Methodik ist bis heute die REFA-Zeitaufnahme, die zu den ältesten und bekanntesten Methoden der REFA-Methodenlehre gehört. Seit der Gründung des Verbandes wurde sie kontinuierlich weiterentwickelt und bietet eine strukturierte Vorgehensweise zur Erfassung und Analyse von Abauf- und Zeitdaten. Dank ihrer universellen Anwendbarkeit stellt sie ein unabhängiges Erfassungs- und

Bewertungsschema dar, auf dessen Grundlage Optimierungen und Entscheidungen bei der Prozessgestaltung möglich sind (vgl. REFA-Institut 2015, S. 187 ff.).

Ergänzend zur REFA-Zeitaufnahme existieren heute noch weitere Methoden wie die Multimomentaufnahme (MMA) und die Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ). Diese Methoden erweitern das Instrumentarium der REFA-Methodenlehre und kommen je nach spezifischen Anforderungen und Anwendungsbereichen zum Einsatz. Zusammen bieten sie eine umfassende Basis für die Erhebung präziser und zuverlässiger Daten zur Analyse und Optimierung von Arbeitsprozessen (vgl. Vogt 1995, S. 45 ff.).

3.3 Datenarten

Die Erfassung und Analyse von Daten ist ein zentraler Bestandteil der REFA-Methodenlehre, insbesondere bei der REFA-Zeitaufnahme. Daten werden nach REFA als Ziffern, Buchstaben und Sonderzeichen oder nach bestimmten Regeln hieraus zusammengestellte Kombinationen definiert, die einen bestimmten Sachverhalt beschreiben. Im Arbeitsstudium und besonders bei der REFA-Methodik spricht man bei Daten häufig von Zeitdaten, Einflussgrößen auf diese Zeitdaten, Bezugsmengen, auf die sich die Zeitdaten beziehen oder Daten von Arbeitsbedingungen. Die Anforderungen an Daten innerhalb der REFA-Methodik umfassen insbesondere den Verwendungszweck und die Reproduzierbarkeit (vgl. REFA 1997, S. 10 ff.)

Der *Verwendungszweck* von Daten bestimmt, ob sie für die Planung, Steuerung, Kontrolle oder Entlohnung von Arbeitsprozessen genutzt werden. Je nach Verwendungszweck variieren die Anforderungen an die Genauigkeit, Erfassungsmethode und Struktur der Daten. Um sicherzustellen, dass die erfassten Daten den spezifischen Anforderungen und dem Nutzungskontext entsprechen, sollte der Verwendungszweck bereits vor der Datenerhebung klar festgelegt werden (vgl. REFA 1997, S. 12).

Die *Reproduzierbarkeit* von Daten ist eine essenzielle Voraussetzung für belastbare Messergebnisse. Damit sie gewährleistet ist, müssen die erhobenen Daten unter identischen Bedingungen wiederholt werden können, ohne dass es zu Abweichungen kommt. Dazu gehört die detaillierte Dokumentation aller relevanten Umgebungs- und Prozessbedingungen. Nur eine präzise Beschreibung der Arbeitsabläufe ermöglicht es, die ursprünglichen Bedingungen exakt nachzustellen und die Messergebnisse reproduzierbar zu machen. Zusätzlich müssen die erhobenen Daten den statistischen Anforderungen entsprechen, um eine verlässliche Datengrundlage zu gewährleisten (vgl. REFA 1997, S. 12 f.).

Zusätzlich unterscheidet die REFA-Methodenlehre verschiedene Datenkategorien, die sich in abhängige und unabhängige Daten, qualitative und quantitative Daten, feste und veränderliche Daten, absolute und bezogene Daten sowie wesentliche und unwesentliche Einflussgrößen gliedern (vgl. REFA 1997, S. 13 ff.)

Abhängige und unabhängige Daten beschreiben die Beziehung zwischen Einflussgrößen und Ergebnisgrößen. Abhängige Daten sind das direkte Resultat eines Prozesses und stellen die Ergebnisgröße dar, wie beispielsweise die Anzahl der gebohrten Löcher oder die für den Bohrvorgang benötigte Zeit. Diese Werte hängen

unmittelbar von den unabhängigen Daten ab, die als Einflussgrößen fungieren. Dazu zählen die Bohrgeschwindigkeit, die Leistung des Bohrers oder die Härte des Materials (vgl. REFA 1997, S. 13 f.).

Qualitative und quantitative Daten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Erfassungsmethode und Aussagekraft. Qualitative Daten sind nicht-messbare, subjektive Einschätzungen und werden in Kategorien beschreiben, wie z. B. die Zufriedenheit der Mitarbeiter mit dem Bohrer, klassifiziert als niedrig, mittel oder hoch. Die Qualität dieser Bewertungen hängt stark vom Beurteilenden ab und ist somit nicht objektiv kontrollierbar. Im Gegensatz dazu sind quantitative Daten messbare Größen wie die Anzahl der gebohrten Löcher oder die benötigte Zeit pro Bohrvorgang. Diese Daten können objektiv erfasst und auf ihre Richtigkeit überprüft werden. In der REFA-Methodenlehre wird bevorzugt auf quantitative Daten zurückgegriffen, wobei Zähldaten vor Messdaten rangieren, da diese einfacher und genauer zu erfassen sind (vgl. REFA 1997, S. 14 ff.). Eine detaillierte Gliederung der qualitativen und quantitativen Daten mit weiteren Beispielen ist Abb. A1.18 im Anhang 1 zu entnehmen.

Feste und veränderliche Daten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Beständigkeit über einen bestimmten Zeitraum. Während feste Daten konstant bleiben, unterliegen veränderliche Daten Schwankungen. Feste Daten sind unveränderliche Parameter, die während des gesamten Prozesses gleich bleiben, wie die maximale Drehzahl einer Bohrmaschine. In der Praxis sind viele dieser Daten jedoch nur nahezu fest, da sie sich über längere Zeiträume hinweg aufgrund von Verschleiß oder Verschmutzung verändern können. Hier liegt es im Ermessen des Beobachters, ob dieser Einfluss als relevant betrachtet wird oder ob eine Annahme als fest ausreichend genau ist. Veränderliche Daten hingegen sind nicht konstant und können durch unterschiedliche Faktoren schwanken, wie etwa die Tagesform der Mitarbeiter oder die Bohrleistung unter wechselnden Materialbedingungen. Solche Werte unterliegen natürlichen Schwankungen und sollten daher im Kontext ihrer Einflussgrößen betrachtet werden (vgl. REFA 1997, S. 18).

Absolute und bezogene Daten werden nach ihrer Bezugsebene unterschieden. Absolute Daten sind die bei der Datenerhebung ermittelten Rohdaten, wie z. B. die reine Bohrzeit oder die Anzahl der gebohrten Löcher. Bezogene Daten hingegen setzen diese Werte ins Verhältnis, um aussagekräftigere Kennzahlen zu erhalten. Beispiele hierfür sind die Anzahl der Bohrlöcher pro Stunde oder die Bohrgeschwindigkeit in cm pro Sekunde. Diese bezogenen Daten entstehen nicht direkt aus der Messung, sondern durch die spätere Auswertung. Auch spezielle Verhältniszahlen, wie das Verhältnis von Bohrzeit zur Gesamtarbeitszeit, gehören in die Kategorie der bezogenen Daten (vgl. REFA 1997, S. 19).

Wesentliche und unwesentliche Einflussgrößen bestimmen die Signifikanz eines Faktors auf die Messgröße. Wesentliche Einflussgrößen, auch als signifikante Einflussgrößen bezeichnet, haben einen direkten und signifikanten Einfluss auf das Ergebnis eines Prozesses und müssen daher genau erfasst werden. Dazu zählen konstante Einflussgrößen wie die Raumtemperatur oder die Drehzahl der Bohrmaschine sowie variable Einflussgrößen wie die Anzahl der Bohrlöcher pro Quadratmeter. Unwesentliche Einflussgrößen, auch als nicht signifikante Einflussgrößen bezeichnet, haben hingegen keine oder nur eine vernachlässigbare Wirkung auf das Ergebnis. Ein Beispiel hierfür ist die Bohrfuttergröße einer Bohrmaschine. Solange sie für den eingesetzten

Bohrer geeignet ist, beeinflusst sie weder die Zeit noch die Qualität des Bohrvorgangs und muss daher nicht weiter erfasst werden (vgl. REFA 1997, S. 351).

In der REFA-Methodik spielen Zeitdaten eine zentrale Rolle. Sie bilden die Grundlage für ein umfassendes Arbeitsstudium und sind besonders wichtig für das Verständnis der REFA-Zeitaufnahme. Die REFA-Methodenlehre unterscheidet dabei zwischen Ist-Zeiten, Soll-Zeiten und Plan-Zeiten.

Ist-Zeiten beschreiben den tatsächlichen Zeitbedarf eines real durchgeführten Prozesses. Sie werden durch Messung oder Befragung ermittelt (vgl. REFA-Institut 2021, S. 76). In der Notation werden sie allgemein mit dem Formelzeichen t_i gekennzeichnet. Wenn sie sich auf eine bestimmte REFA-Ablaufart beziehen, wird dies durch eine entsprechende Abkürzung ergänzt, beispielsweise t_{MHi} für die Ist-Zeit der Ablaufart Haupttätigkeit (MH) (vgl. REFA 1997, S. 66).

Soll-Zeiten geben den standardisierten Zeitbedarf eines geplanten Ablaufs unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen an. Sie basieren meist auf aufbereiteten Ist-Zeiten und dienen als Referenzwerte für Prozesse (vgl. REFA-Institut 2021, S. 84). Im Gegensatz zu Ist-Zeiten tragen sie keinen Index i im Formelzeichen. Soll-Zeiten für einzelne Ablaufarten werden beispielsweise als t_{MH} (Haupttätigkeit) und bei zusammengesetzten Zeiten als t_g für die Grundzeit oder t_v für die Verteilzeit notiert (vgl. REFA 1997, S. 66).

Plan-Zeiten sind standardisierte Zeitwerte, die im Gegensatz zu Soll-Zeiten nicht für spezifische Abläufe gelten, sondern generalisierte Werte darstellen. Sie berücksichtigen verschiedene Einflussgrößen systematisch, beispielsweise mithilfe von Planzeitformeln, und werden daher auch als Planzeitbausteine bezeichnet. Diese Bausteine enthalten sowohl Zeitwerte als auch Abhängigkeiten zu relevanten Einflussfaktoren. Sobald eine Plan-Zeit auf einen konkreten Ablauf mit festgelegten Einflussgrößen angewendet wird, ergibt sich daraus wieder eine Soll-Zeit (vgl. REFA 1997, S. 369 ff).

3.4 REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung

Die REFA-Methodenlehre basiert auf von der REFA erarbeiteten Standards, die auf bewährten Methoden und praktischen Erfahrungen aufbauen und in systematische Anleitungen umgewandelt werden. Diese Standards dienen zur Analyse, Bewertung, Gestaltung und Verbesserung von Arbeitsprozessen (vgl. REFA-Institut 2021, S. 83).

Eines der bedeutendsten Instrumente innerhalb dieser Methodik ist das REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung (siehe Abb. 3). Es bildet neben weiteren Standardprogrammen, wie zur Ablaufanalyse, Arbeitssystemgestaltung oder Rüstzeitminimierung, einen der zentralen REFA-Standards. Das Programm bietet eine strukturierte Anleitung zur systematischen Erfassung und Analyse von Zeitdaten, Bezugsmengen und Einflussgrößen, unabhängig davon, welche Zeiterfassungsmethode verwendet wird. Es kann flexibel mit Methoden wie der REFA-Zeitaufnahme, der MMA oder den SvZ kombiniert werden (vgl. REFA 1997, S. 12).

Das REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung fungiert als übergeordnetes Rahmenwerk, das durch spezifischere Unterprogramme wie etwa dem REFA-Standardprogramm zur Zeitaufnahme, zur Multimomentaufnahme oder zu den Systemen vorbestimmter Zeiten ergänzt wird (vgl. REFA 1997, S. 13).

Die Umsetzung der REFA-Standards liegt maßgeblich in der Verantwortung des sogenannten REFA-Arbeitsorganisators. Dieser, früher als „REFA-Arbeitsstudienmann“ bekannt, ist für die Planung, Gestaltung und Optimierung von Arbeitsprozessen verantwortlich. Zu seinen Aufgaben zählt auch die Betreuung und Durchführung spezifischer Datenerhebungen wie der REFA-Zeitaufnahme. Er stellt sicher, dass die erhobenen Daten die entsprechenden Anforderungen erfüllen und die methodischen Standards eingehalten werden (vgl. REFA 1997, S. 10; REFA-Institut 2021, S. 1).

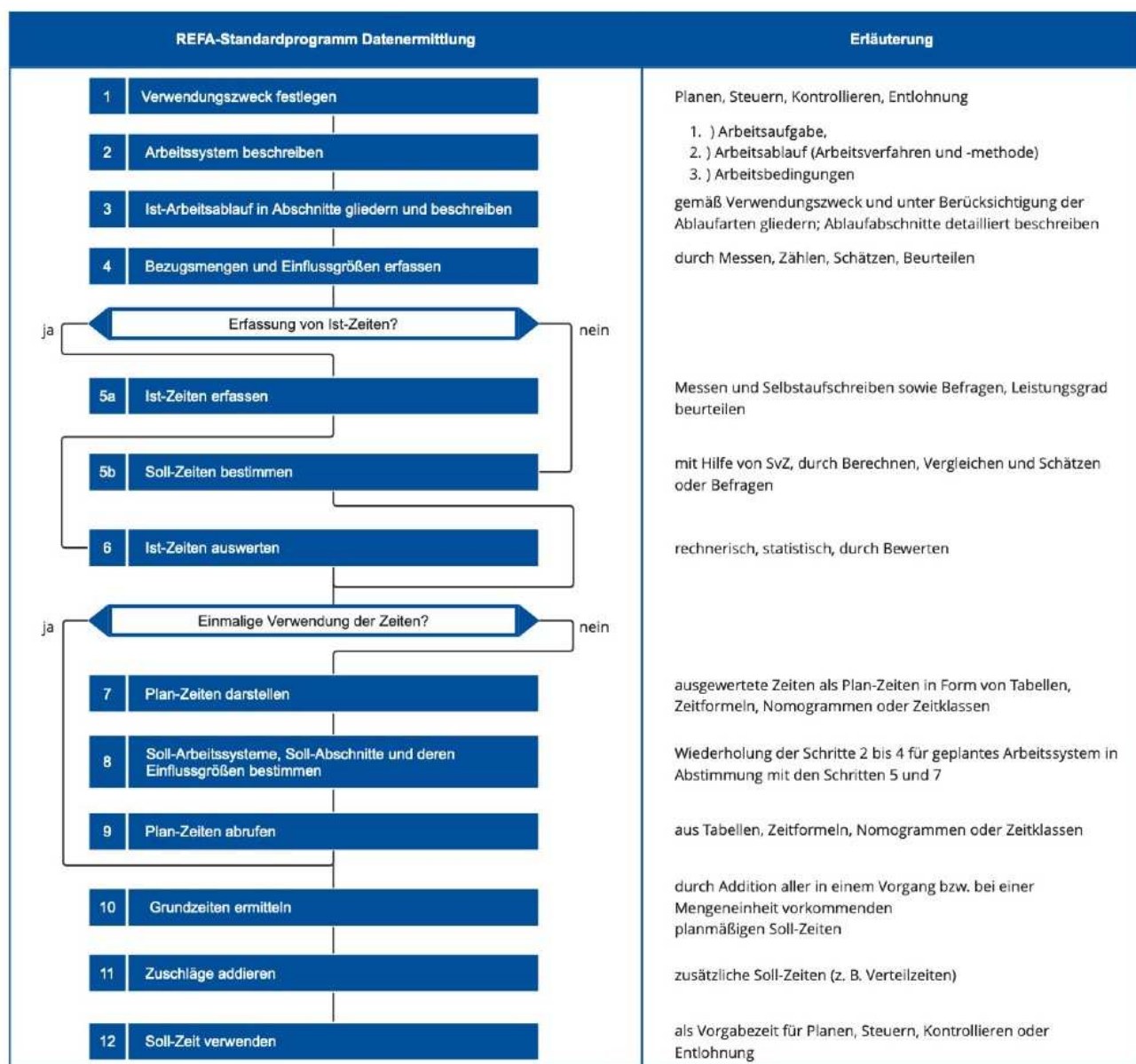


Abb. 3 REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung (in Anlehnung an REFA 1997, S. 11).

Das REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung umfasst mehrere zentrale Bestandteile, die im Folgenden detailliert erläutert werden.

3.4.1 Verwendungszweck

Im ersten Schritt des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung, „Verwendungszweck festlegen“, definiert der Arbeitsorganisator in Abstimmung mit dem Management oder dem Betriebsrat den spezifischen Zweck, für den die Daten erhoben werden sollen. Dieser Schritt dient dazu, die Anforderungen an die Datenermittlung sowie den Nutzungskontext der erhobenen Daten klar zu präzisieren. Der Verwendungszweck legt fest, welche Anforderungen an Anzahl, Genauigkeit und Methode der Datenermittlung gestellt werden. Er bestimmt außerdem, ob die zu ermittelnden Daten zur einmaligen oder mehrmaligen Nutzung vorgesehen sind, sodass bei einmaliger Nutzung die Schritte 7, 8 und 9 im REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung ausgelassen werden können. Der Verwendungszweck von Arbeitsdaten erstreckt sich typischerweise auf Bereiche wie Arbeitsgestaltung, Planung, Steuerung und Kontrolle, Entgeltgestaltung und Kostenrechnung. Eine detaillierte Übersicht möglicher Verwendungszwecke ist in Abb. 4 dargestellt (vgl. Arndt 2021a, S. 1637; REFA 1997, S. 12 ff.).

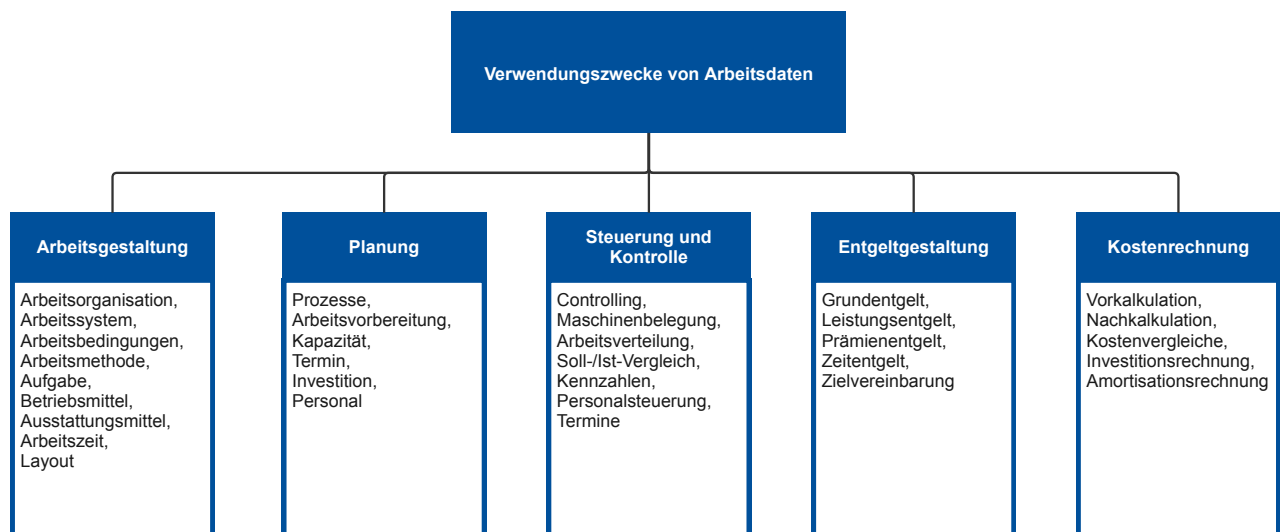


Abb. 4 Verwendungszwecke von Arbeitsdaten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1640).

3.4.2 Arbeitssystem

Im zweiten Schritt des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung „Arbeitssystem beschreiben“ beschreibt der Arbeitsorganisator das Arbeitssystem, in dem die Daten erhoben werden. Nach REFA wird das Arbeitssystem als „eine betriebliche Leistungseinheit, die eine oder mehrere Personen, die zur Arbeitsausführung eingesetzten Anlagen, Maschinen, Werkzeuge, Materialien und Informationen sowie die dabei bestehenden Bedingungen umfasst“ (REFA-Institut 2021, S. 69) definiert. Dabei können Arbeitssysteme unterschiedliche Größen haben und von einem Arbeitsplatz (Mikro-System) bis hin zu ganzen Betrieben oder Unternehmen (Makro-System) reichen (vgl. Arndt 2021b, S. 1623).

Die REFA-Methodenlehre nutzt den Ansatz der Systemwissenschaft, um die komplexen Zusammenhänge der unterschiedlichen Faktoren innerhalb dieser organisatorischen Einheit durch Verallgemeinerung (Abstraktion) und Strukturierung (Systematisierung) zu erklären. Generell wird zwischen drei Arten von Systemen unterschieden: technische Systeme (Maschinensysteme), soziale Systeme (Menschensysteme) und soziotechnische Systeme (Systeme aus Menschen, Maschinen, Material und Umwelt). Ein Unternehmen – und damit auch das

Arbeitssystem – ist stets ein soziotechnisches System (vgl. Arndt 2021b, S. 1620 f.). Das REFA-Arbeitssystem besteht aus folgenden Komponenten, deren Zusammenhänge in Abb. 5 schematisch dargestellt sind:

Die *Aufgabe* definiert den Zweck und die spezifischen Arbeiten des Systems, die einem Arbeitssystem oder einer Person bzw. Gruppe übertragen sind.

Der *Arbeitsablauf* ist eine strukturierte Abfolge von Tätigkeiten und Prozessen, die dazu dienen, die Eingabe (Input) in eine Ausgabe (Output) zu transformieren. Dieser Ablauf erfolgt immer in einer Interaktion zwischen Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmitteln und wird auch als Prozess- oder Zeitverhalten des Systems beschrieben. Näheres im Abschnitt Ablaufanalyse.

Der *Mensch* ist ein zentrales Element des soziotechnischen Arbeitssystems und steuert aktiv den Arbeitsablauf und bedient bzw. justiert die Betriebs- und Arbeitsmittel. Die Leistungsfähigkeit des Menschen wird durch externe Einflussfaktoren sowohl positiv als auch negativ beeinflusst.

Das *Betriebsmittel* bzw. Arbeitsmittel ist ein weiteres wesentliches Element für die effektive Durchführung der Aufgaben, einschließlich Maschinen, Anlagen, Fahrzeuge, Geräte, Werkzeuge, Vorrichtungen, Hard- und Software sowie Organisationsmittel. Eine spezielle Form sind Ausstattungsmittel wie z. B. Tische, Stühle und Schränke am Arbeitsplatz.

Die *Eingabe* bzw. der Input umfasst alle für die Aufgabenerfüllung erforderlichen Elemente wie Rohstoffe, Werkstücke, Produkte, Informationen oder Energie sowie den Menschen, wenn sich die Aufgabe auf Fortbildung richtet.

Die *Ausgabe* bzw. der Output beschreibt alle Elemente, die als Ergebnis aus dem Arbeitssystem hervorgehen, wie fertige Produkte, bearbeitete Werkstücke, Informationen, Energie oder den Menschen selbst. Typische Nebenprodukte sind Emissionen wie Lärm, Staub, Hitze oder Dämpfe, die im Hinblick auf Umwelt- und Arbeitsschutz besonders wichtig sind.

Der *Arbeitsplatz* ist die räumliche Abgrenzung des Arbeitssystems, einschließlich aller vorhandenen Flächen, Ausstattungs- und Betriebsmittel sowie deren Anordnung und Zweckmäßigkeit.

Die *Arbeitsumgebung* umfasst alle externen Umwelteinflüsse, denen das Arbeitssystem ausgesetzt ist. Dazu gehören physikalische, chemische und biologische Faktoren wie Temperatur, Luftqualität, Lärm oder Beleuchtung, die das Systemverhalten und die Leistung beeinflussen können (vgl. Arndt 2021b, S. 1620 ff.).

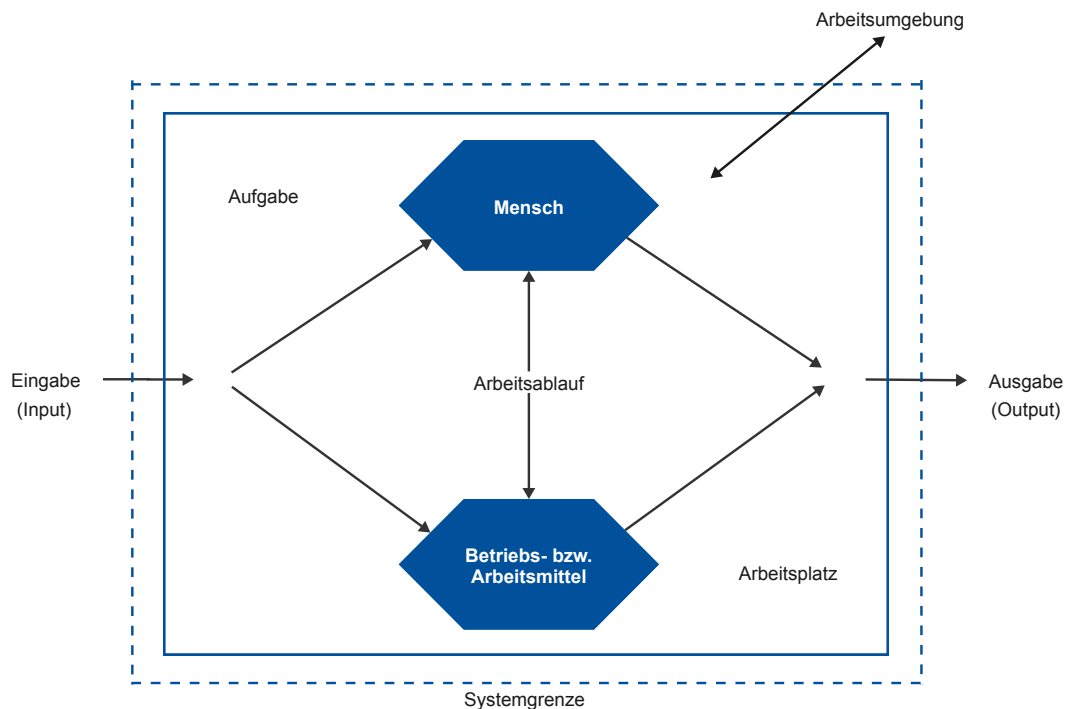


Abb. 5 REFA-Arbeitssystem (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 1).

3.4.3 Ablaufanalyse

Im dritten Schritt des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung „Ist-Arbeitsablauf in Abschnitte gliedern und beschreiben“ wird die Ablaufanalyse durchgeführt. Diese Analyse dient nicht nur der Untersuchung und Dokumentation des Ablaufs, sondern auch dem tiefergehenden Verständnis des Arbeitsorganisations für den Prozess selbst. Dabei werden zunächst alle Ist-Abläufe, die innerhalb des zu untersuchenden Arbeitssystems stattfinden, erfasst (vgl. Arndt 2021b, S. 1621; REFA 1997, S. 23).

Eine zentrale Komponente der Ablaufanalyse ist die *Ablauffolge*, die die Reihenfolge und Häufigkeit der einzelnen Tätigkeiten innerhalb eines Prozesses beschreibt. Dabei wird zwischen Ablauffolgen ohne Wiederholungen, bei denen wenige oder keine Tätigkeiten mehrfach auftreten, und solchen mit regelmäßigen Wiederholungen unterschieden. Wiederkehrende Ablauffolgen werden als Zyklen bezeichnet, da sie sich durch die mehrfache Wiederholung einer identischen Abfolge von Tätigkeiten auszeichnen (vgl. REFA 1997, S. 104).

Die Ist-Abläufe werden systematisch in sogenannte *Ablaufabschnitte* unterteilt. Diese dienen der Unterteilung des Arbeitsablaufs auf unterschiedlichen Detaillierungsgraden und beschreiben spezifische Sequenzen und Schritte innerhalb eines Arbeitsprozesses. Ziel ist es, den Arbeitsprozess in kleinere, handhabbare Einheiten zu zerlegen. Je nach Gliederungstiefe lassen sich diese in Makro- und Mikro-Ablaufabschnitte unterteilen.

Makro-Ablaufabschnitte bilden die übergeordneten Strukturen eines Arbeitsprozesses und lassen sich hierarchisch weiter untergliedern. An oberster Stelle steht der Gesamtablauf, der sämtliche Tätigkeiten umfasst, die notwendig sind, um ein größeres Vorhaben umzusetzen oder ein Produkt mit mehreren Einzelteilen herzustellen. Der Gesamtablauf gliedert sich in Teilabläufe, die spezifische Abschnitte wie die Herstellung einzelner

Baugruppen beschreiben. Diese Teilabläufe werden weiter in Ablaufstufen unterteilt, die zur Erstellung eines Einzelteils erforderlich sind.

Mikro-Ablaufabschnitte ermöglichen eine detailliertere Analyse der Arbeitsprozesse. An der Schnittstelle dieser beiden Ebenen stehen die Vorgänge, die zugleich die kleinste Einheit der Makro-Ablaufabschnitte und die größte Einheit der Mikro-Ablaufabschnitte darstellen. Sie beschreiben die Ausführung einer Mengeneinheit, die sich bei der Bearbeitung eines Auftrags mehrfach wiederholen kann. Vorgänge können weiter in Teilvorgänge untergliedert werden, die mehrere Vorgangsstufen zusammenfassen und dadurch die Übersichtlichkeit erhöhen. Vorgangsstufen wiederum repräsentieren abgeschlossene Sequenzen von Vorgangselementen, die klar definierte Schritte innerhalb eines Arbeitsablaufs abbilden. Die feinste Detaillierungsebene wird durch Prozesselemente und Bewegungselemente erreicht. Prozesselemente bezeichnen die kleinsten von Maschinen ausführbaren Arbeitsschritte, während Bewegungselemente die Grundbewegungen und geistigen Tätigkeiten eines Menschen beschreiben. Letztere spielen insbesondere bei SvZ eine zentrale Rolle, da sie zur Standardisierung und Optimierung von Arbeitsprozessen herangezogen werden (vgl. Arndt 2021b, S. 1621 f.).

In Abb. 6 wird diese Zerlegung eines Gesamtprozesses in die verschiedenen Detaillierungsstufen der Ablaufabschnitte exemplarisch am Prozess der TGA-Grobmontage veranschaulicht.

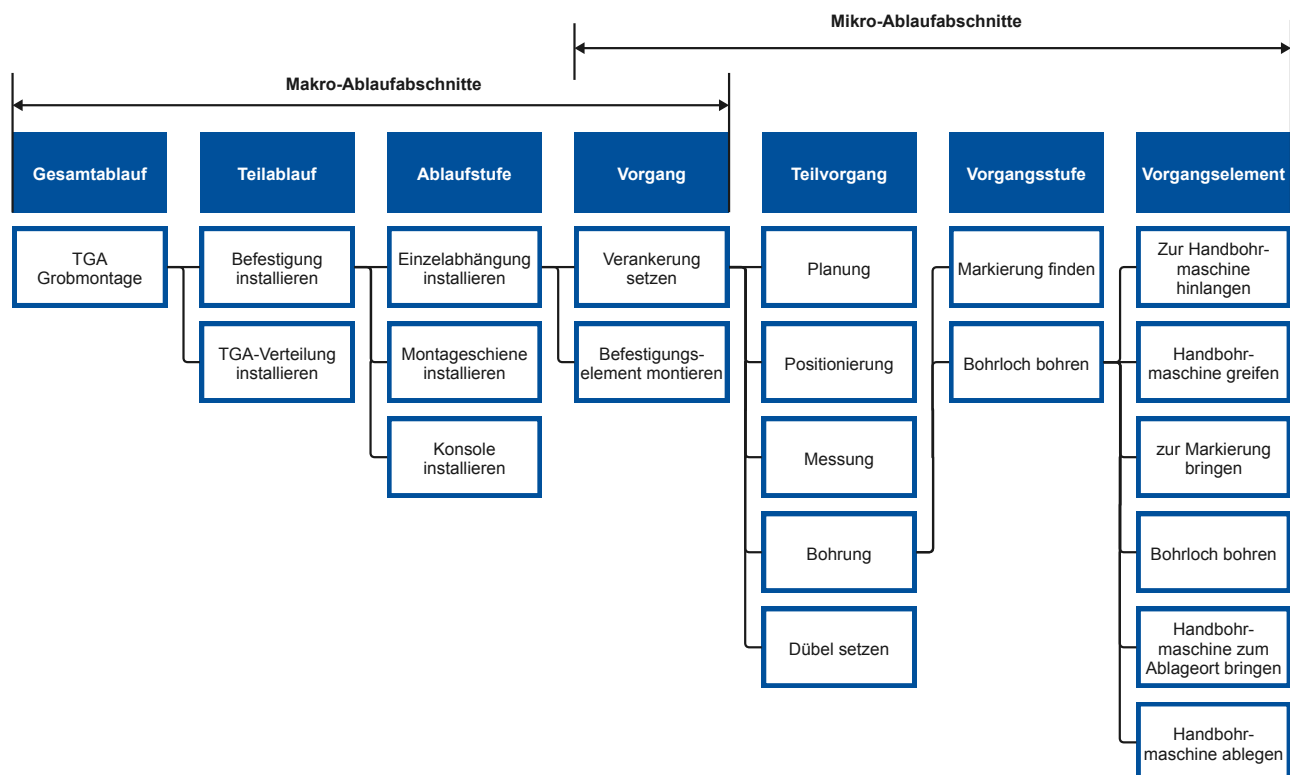


Abb. 6 Beispielhafte Darstellung der Makro- und Mikroablaufabschnitte innerhalb der TGA-Grobmontage (eigene Darstellung).

Jeder Ablaufabschnitt muss ein klar definiertes *Start- und Endereignis* haben, um eine eindeutige Untersuchung beispielsweise der Zeit, vornehmen zu können (siehe Abb. 7). Der Arbeitsorganisator kann diese Ereignisse visuell oder akustisch erfassen. Bei besonders kurzen Abläufen darf die Messungenauigkeit nicht vernachlässigt werden, die aufgrund der Reaktionszeit des Arbeitsorganisators, einem möglichen Ablesefehler bei

analogen Zeitmessgeräten und der Schaltverzögerung des Zeitmessgeräts entstehen können (vgl. REFA 1997, S. 88).

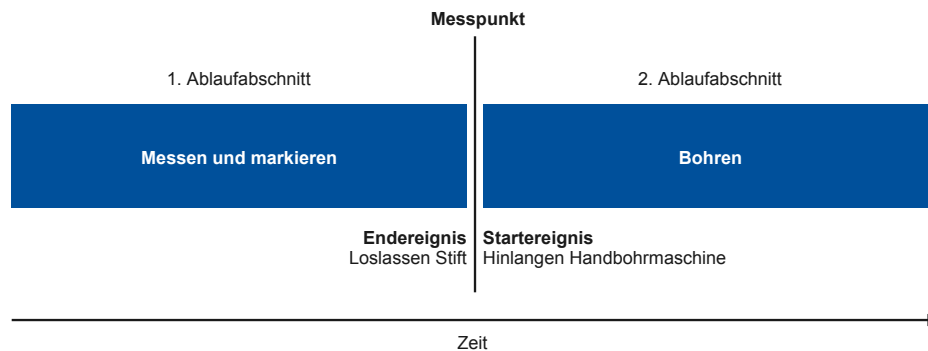


Abb. 7 Messpunkte Ablaufabschnitte (in Anlehnung an REFA 1997, S. 85).

Die REFA-Methodenlehre unterscheidet Arbeitsprozesse nicht nur anhand von Ablaufabschnitten, sondern auch durch sogenannte *Ablaufarten*. Diese Klassifizierung basiert auf der Art und Weise, wie Mensch, Betriebsmittel, Arbeitsgegenstand und Informationen im Arbeitsprozess interagieren, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen. Jeder Ablaufabschnitt eines Arbeitsprozesses, wie etwa „Bohren“ oder „Montieren“, kann einer bestimmten Ablaufart zugeordnet werden. Zu diesen gehören gängige Kategorien wie etwa Haupttätigkeiten, Nebentätigkeiten oder störungsbedingtes Unterbrechen. Ablaufarten ermöglichen so eine vereinheitlichte und vergleichbare Darstellung unterschiedlichster Ablaufabschnitte und deren zugehörigen Daten (wie Arbeitsbedingungen, Bezugsmenge, Einflussgrößen, und Zeit). Dadurch können sie universell eingesetzt werden, etwa zur Ermittlung von Auftragszeiten sowie zum Vergleich verschiedener Prozessvarianten. Werden Ablaufarten zur Definition der zeitlichen Dauer eines Abschnitts genutzt, spricht man von Zeitarten (vgl. REFA 1997, S. 23).

Je nach Fokus der Untersuchung lassen sich Ablaufabschnitte nach den vier Kategorien von Ablaufarten anhand der vier zentralen Systembestandteile *Mensch, Betriebsmittel, Arbeitsgegenstand und Information* gliedern (siehe Abb. 8). In der REFA-Methodenlehre werden diese Kategorien mit Großbuchstaben abgekürzt:

Nach dem Menschen (M) gegliederte Ablaufabschnitte umfassen alle von menschlicher Arbeitskraft ausgeführten Tätigkeiten, die während seiner Beschäftigung im Betrieb ausgeübt werden. Dazu zählen sowohl körperliche als auch geistige Tätigkeiten.

Nach dem Betriebsmittel (B) gegliederte Ablaufabschnitte beziehen sich auf alle Maschinen, Werkzeuge, Geräte und technischen Hilfsmittel, die im Arbeitsprozess eingesetzt werden und somit zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe zur Verfügung stehen.

Nach dem Arbeitsgegenstand (A) gegliederte Ablaufabschnitte setzen den Fokus auf die Materialien, Produkte oder Halbfabrikate, die im Arbeitsprozess bearbeitet, verändert oder montiert werden. Auch der Mensch kann als Arbeitsgegenstand betrachtet werden, solange dieser im Zentrum der Verarbeitung steht (vgl. REFA 1997, S. 24 ff.).

Die Gliederung von Ablaufabschnitten nach Informationen (I) ist eine relativ neue Entwicklung, die aus der wachsenden Relevanz von Informationen in unseren Arbeitsprozessen resultiert. Bei dieser Variante erfolgt die Gliederung in Ablaufabschnitte nach der Aktivität mit der Information, wie z. B. Erfassung oder Verarbeitung (vgl. REFA-Institut 2021, S. 21 f.).

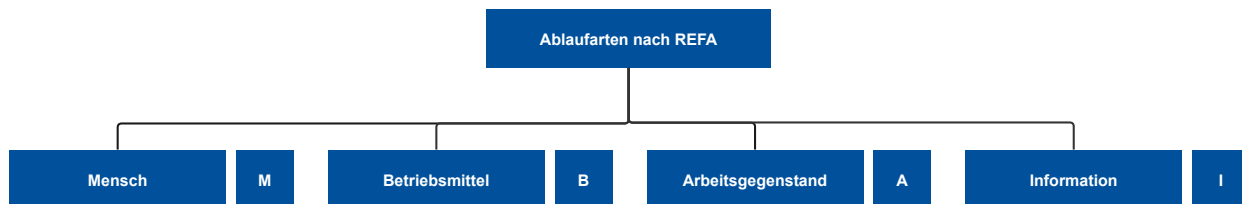


Abb. 8 Gliederung nach Mensch, Betriebsmittel, Arbeitsgegenstand, Information (eigene Darstellung).

Eine weitere Klassifizierung innerhalb der Ablaufarten ist die Unterscheidung zwischen *Ausführen* und *Rüsten* (siehe Abb. 9). Beim Ausführen (A) wird die Eingabe gezielt verändert, um die Arbeitsaufgabe zu erfüllen, wie etwa beim Bohren oder der Montage der TGA-Konstruktion. Im Gegensatz dazu beschreibt das Rüsten (R) Anpassungen am Arbeitssystem, die erforderlich sind, damit die Arbeitsaufgabe umgesetzt werden kann. Typische Rüsttätigkeiten umfassen die Anreise, die Vorbereitung des Arbeitsplatzes oder die Abreise (vgl. REFA 1997, S. 23 f.). Rüsten tritt häufig zu Beginn eines Arbeitsauftrags auf, um die Voraussetzungen für das anschließende Ausführen zu schaffen. Es kann jedoch auch während eines Prozesses notwendig sein, beispielsweise bei einem Umbau, oder am Ende, wenn das Arbeitssystem in seinen ursprünglichen Zustand zurückversetzt wird (vgl. Arndt 2021a, S. 1652).

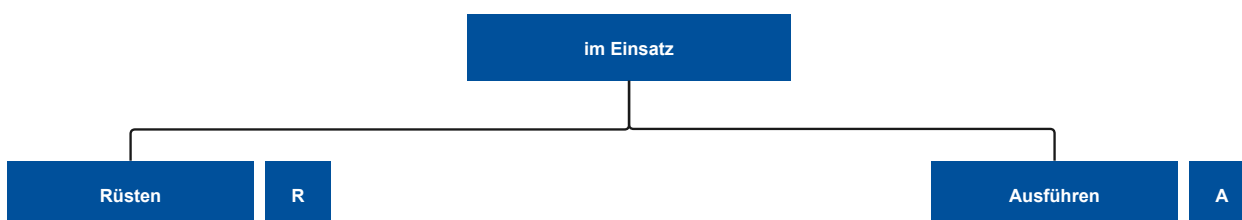


Abb. 9 Gliederung nach Rüsten und Ausführen (in Anlehnung an REFA 1997, S. 20).

Die Einteilung der Ablaufarten nach ihrer *Beeinflussbarkeit* stellt eine weitere Klassifizierungsmethode dar (siehe Abb. 10). Dabei werden die Abläufe in beeinflussbare (B) und unbeeinflussbare (U) unterteilt. Beeinflussbare Abläufe lassen sich weiter differenzieren: Voll beeinflussbare Abläufe zeichnen sich dadurch aus, dass die Ausführungszeit vollständig vom Menschen bestimmt werden kann. Bedingt beeinflussbare Abläufe hingegen bieten nur einen begrenzten Spielraum, innerhalb dessen die die Ausführungszeit vom Menschen abhängig ist. Im Gegensatz dazu stehen die unbeeinflussbaren Abläufe, bei denen die Ausführungszeit fest vorgegeben ist. Diese Abläufe können vom Menschen nicht beeinflusst werden, solange die definierten Arbeitsverfahren und -methoden unverändert bleiben (vgl. Arndt 2021a, S. 1643; REFA 1997, S. 24).

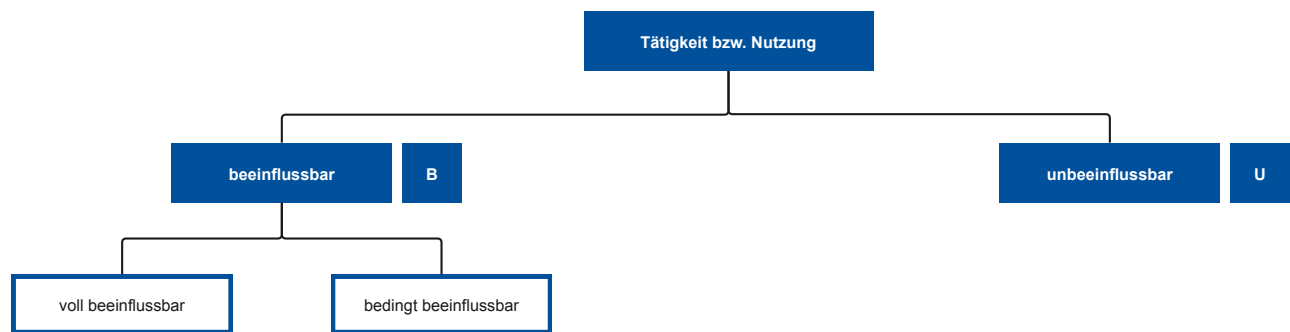


Abb. 10 Gliederung nach beeinflussbar und unbeeinflussbar (in Anlehnung an REFA 1997, S. 21).

Die *erweiterte Gliederung nach dem Menschen* bietet eine weitere umfassende und äußerst detaillierte Klassifikation von Arbeitsabschnitten in Ablaufarten. Sie kombiniert alle zuvor beschriebenen Gliederungsarten und bietet so eine der umfangreichsten Gliederungsarten von Ablaufarten innerhalb der REFA-Methodenlehre. Neben der Gliederung nach dem Menschen, die speziell für die Analyse des manuellen Bohrprozesses genutzt wird, spielt die Gliederung nach dem Betriebsmittel eine zentrale Rolle bei der Untersuchung des semi-autonomen Bohrprozesses. Die Ansätze zur Gliederung nach dem Arbeitsgegenstand und der Information werden in dieser Arbeit bewusst nicht berücksichtigt (vgl. REFA 1997, S. 25). Zur Unterstützung bei der Klassifikation der Ablaufabschnitte kann eine Entscheidungsmatrix nach REFA (siehe Abb. 12) genutzt werden. Sie erleichtert durch gezielte Fragestellungen die Identifikation der passenden Ablaufart (vgl. REFA-Institut 2021, S. 15). Die erweiterte Gliederung bezüglich des Menschen wird in zwei Varianten unterschieden: die Gliederung nach dem Ausführen und die Gliederung nach dem Rüsten.

Im Folgenden wird die *erweiterte Gliederung bezogen auf den Menschen (M) nach dem Ausführen (A)* beschrieben und in Abb. 11 grafisch dargestellt.

Ein Mensch ist im Einsatz (MI), wenn er während der festgelegten Arbeitszeit aktiv Arbeitsaufgaben ausführt. Dies umfasst alle Tätigkeiten zur direkten Erfüllung der Arbeitsaufgabe.

Ein Mensch ist außer Einsatz (ML), wenn er während der festgelegten Arbeitszeit langfristig nicht zur Verfügung steht oder vom Betrieb langfristig nicht beschäftigt werden kann. Beispiele hierfür sind Krankheit, Unfall, Kur, Urlaub, Teilnahme an Weiterbildungsmaßnahmen oder Auftragsmangel.

Die Ablaufart Betriebsruhe (MR) umfasst gesetzlich, tariflich oder betrieblich geregelte Arbeitspausen und sonstige Anlässe, während derer im gesamten Betrieb oder in Teilen des Betriebes nicht gearbeitet wird. Beispiele hierfür sind festgelegte Betriebspausen, Kurzarbeit, Betriebsversammlungen, Feiertage und außerordentliche Auszeiten.

Die Ablaufart „nicht erkennbar“ (MX) wird verwendet, wenn ein Ablaufabschnitt während einer Untersuchung keiner Ablaufart eindeutig zuzuordnen ist. Dies kann der Fall sein, wenn sich der Mensch außerhalb des Beobachtungsbereichs befindet. Somit wird eine durchgängige und einwandfreie Protokollierung sichergestellt.

Die Ablaufart Tätigkeit (MT) bezieht sich auf die tatsächliche Durchführung von Arbeitsabläufen. Hierunter fallen alle Aktivitäten, die direkt oder indirekt zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe beitragen.

Eine Haupttätigkeit (MH) ist eine planmäßige, unmittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Tätigkeit, wie beispielsweise die Bohrung beim Bohrprozess. Sie ist zentral für die Zielerreichung der jeweiligen Arbeitsaufgabe.

Eine Nebentätigkeit (MN) ist eine planmäßige, nur mittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Tätigkeit, wie beispielsweise der Weg zu einer neuen Bohrposition. Sie unterstützt die Haupttätigkeit.

Eine zusätzliche Tätigkeit (MZ) ist eine auftretende Tätigkeit, deren Vorkommen oder Ablauf nicht vorausbestimmt werden kann, wie beispielsweise das Beseitigen von Hindernissen. Ursachen können organisatorische und technische Störungen, freiwillige oder angeordnete Hilfeleistungen, Mangel an Informationen oder Tätigkeiten ohne besonderen Auftrag sein.

Eine Unterbrechung der Tätigkeit (MK) tritt auf, wenn der Mensch seine Arbeitstätigkeiten vorübergehend einstellt. Diese Unterbrechungen können verschiedene Ursachen haben, die weiter untergliedert werden in die Ablaufarten ablaufbedingtes Unterbrechen (MA), störungsbedingtes Unterbrechen (MS), persönlich bedingtes Unterbrechen (MP) und erholungsbedingtes Unterbrechen (ME).

Ablaufbedingtes Unterbrechen (MA) ist ein planmäßiges Warten des Menschen auf das Ende von Ablaufabschnitten, die beim Betriebsmittel oder Arbeitsgegenstand selbstständig ablaufen, wie beispielsweise das Abkühlen des Bohrers. Während der ablaufbedingten Unterbrechung hat der Mensch keinen Einfluss auf die Wartezeit.

Ein störungsbedingtes Unterbrechen (MS) tritt auf, wenn der Mensch aufgrund von technischen und organisatorischen Störungen oder Informationsmangel zusätzlich warten muss, wie beispielsweise das Warten auf den Techniker bei einer technischen Störung. Die Ursache der Unterbrechung wird während des Wartens durch externe Maßnahmen oder Personen beseitigt.

Persönlich bedingtes Unterbrechen (MP) tritt auf, wenn der Mensch seine Tätigkeit aus persönlichen Gründen unterbricht, wie beispielsweise ein Toilettengang oder eine Raucherpause. Im Gegensatz zum erholungsbedingten Unterbrechen erfolgt diese Art der Pause nicht auf Grundlage betrieblicher Richtlinien oder festgelegter Erholungszeiten

Erholungsbedingtes Unterbrechen (ME) ist das Unterbrechen der Tätigkeit, um die durch die Arbeit verursachten Ermüdungserscheinungen zu minimieren. Diese Art der Unterbrechung dient der Wiederherstellung der Arbeitskraft und ist notwendig, um die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter aufrechtzuerhalten. In der Regel erfolgt dies durch festgelegte Pausenzeiten, wie beispielsweise die Frühstücks- oder Mittagspause, an die sich die Mitarbeiter zu halten haben (vgl. Arndt 2021a, S. 1641; REFA 1997, S. 29 ff.; REFA-Institut 2021, S. 13).

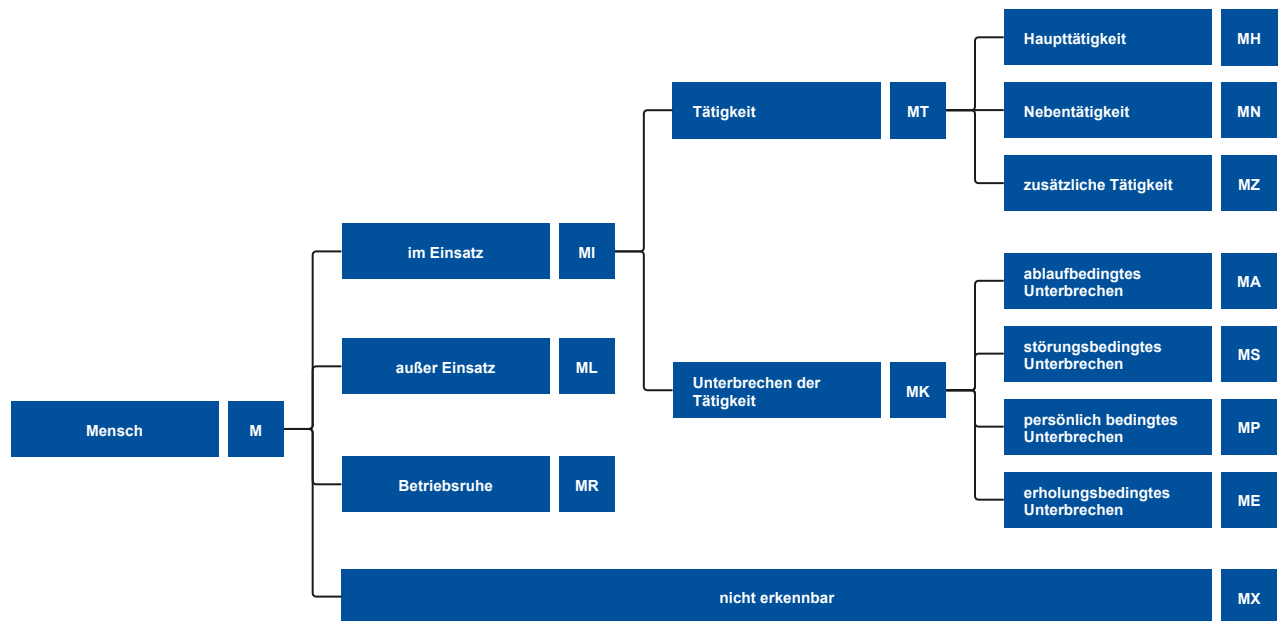


Abb. 11 Erweiterte Gliederung nach Mensch und Ausführen (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1643).

Um Ablaufabschnitte den passenden Ablaufarten bezogen auf den Menschen nach dem Ausführen zuzuordnen, kann die *Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach REFA für den Menschen* genutzt werden (siehe Abb. 12). Diese Matrix führt jeden Ablauf durch mehrere Stufen, in denen spezifische Fragen gestellt werden, um die Zuordnung systematisch zu erleichtern. Neben der vereinfachten Einordnung sorgt dieses Vorgehen insbesondere für eine konsistente Kategorisierung der Abläufe (vgl. REFA-Institut 2021, S. 15).

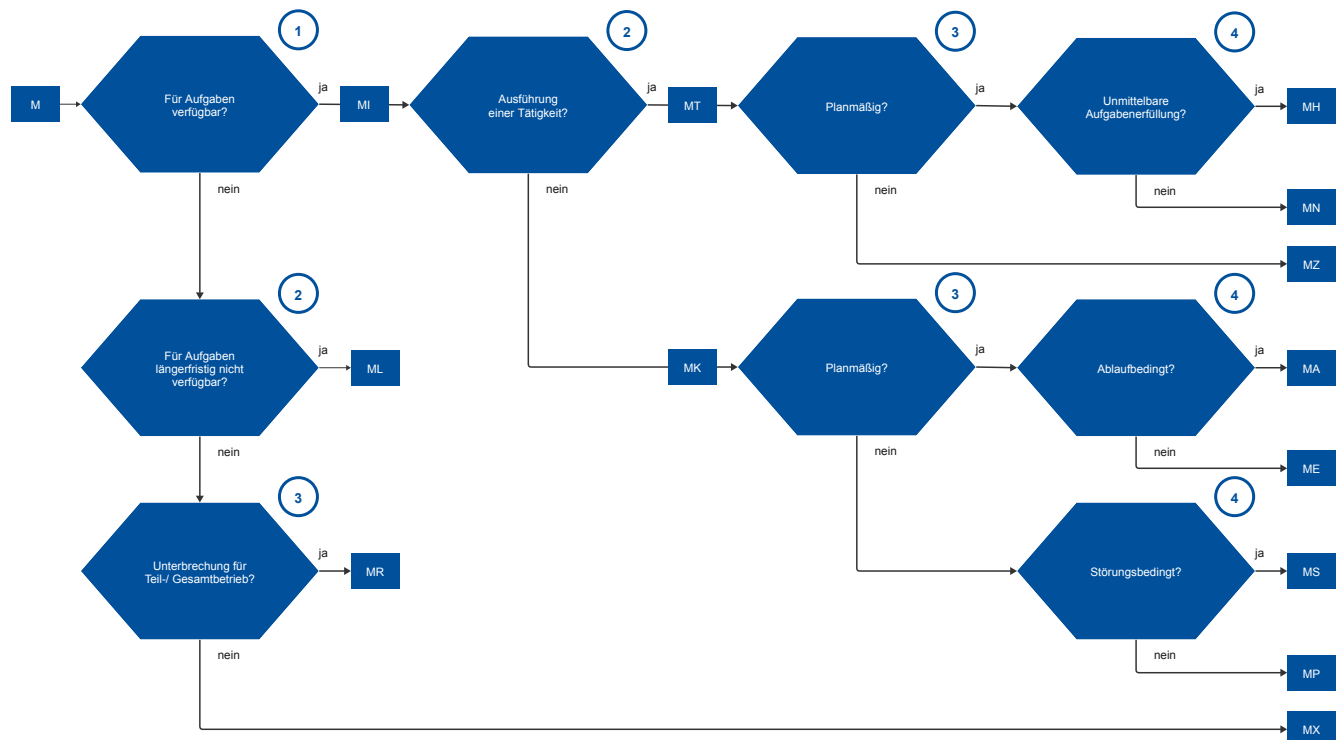


Abb. 12 Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach Mensch (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 15).

Neben der Gliederung für das Ausführen existiert auch eine *erweiterte Gliederung bezogen auf den Menschen (M) nach dem Rüsten (R)*. Diese Gliederung ist zwar analog zur Gliederung nach dem Ausführen aufgebaut, richtet ihren Fokus jedoch auf spezifische Tätigkeiten, die im Rahmen des Rüstens ausgeführt werden, wie etwa das Lesen von Planungsunterlagen oder die Vorbereitung des Arbeitsplatzes. Um zu verdeutlichen, dass es sich um rüstbezogene Ablaufarten handelt, werden diese anders benannt und ihre Abkürzung zusätzlich mit einem „R“ versehen (siehe Abb. 13). Zur Klassifizierung der Ablaufarten nach dem Rüsten existiert keine eigene Entscheidungsmatrix nach REFA, jedoch kann die in Abb. 12 dargestellte Entscheidungsmatrix mit Fokus auf dem Rüsten anstelle der Ausführung weiterhin genutzt werden (vgl. Arndt 2021a, S. 1643).

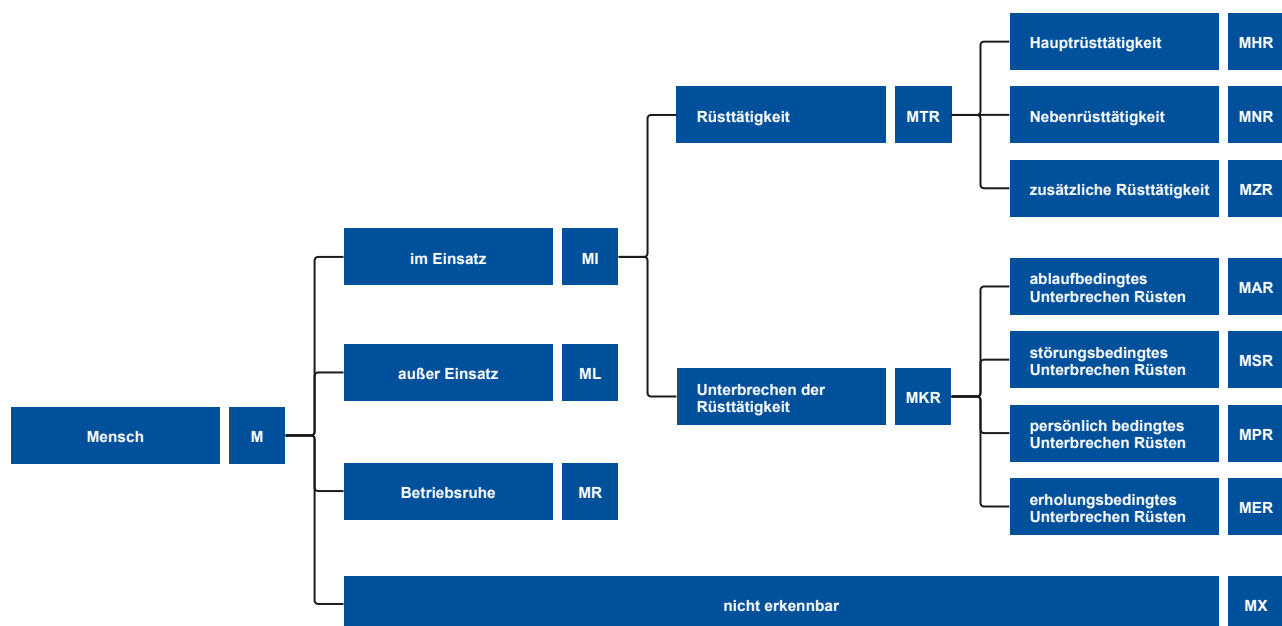


Abb. 13 Erweiterte Gliederung nach Mensch und Rüsten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1643).

Analog zur Gliederung des Menschen wird auch die *erweiterte Gliederung nach dem Betriebsmittels* in zwei Varianten unterteilt: die Gliederung nach dem Ausführen und die Gliederung nach dem Rüsten.

Im Folgenden wird die erweiterte Gliederung bezogen auf das Betriebsmittel (B) nach dem Ausführen (A) beschrieben und in Abb. 14 grafisch dargestellt.

Ein Betriebsmittel ist im Einsatz (BI), wenn es während der festgelegten Betriebszeit aktiv Arbeitsaufgaben ausführt. Dies umfasst alle Nutzungen des Betriebsmittels zur direkten Erfüllung der Arbeitsaufgabe.

Ein Betriebsmittel ist außer Einsatz (BL), wenn es während der festgelegten Betriebszeit langfristig nicht zur Verfügung steht oder es während der Wartungsarbeiten oder aufgrund eines technischen Defekts nicht aktiv genutzt wird.

Die Ablaufart Betriebsruhe (BR) umfasst (wie beim Menschen) gesetzlich, tariflich oder betrieblich geregelte Arbeitspausen und sonstige Anlässe, während derer im gesamten Betrieb oder in Teilen des Betriebes nicht

gearbeitet wird. Beispiele hierfür sind festgelegte Betriebspausen, Kurzarbeit, Betriebsversammlungen, Feiertage und außerordentliche Auszeiten.

Die Ablaufart „nicht erkennbar“ (BX) wird verwendet, wenn ein Ablaufabschnitt während einer Untersuchung keiner Ablaufart eindeutig zuzuordnen ist, etwa wenn sich die Bohrmaschine außerhalb des Sichtbereichs befindet.

Die Ablaufart Nutzung (BT) bezieht sich auf die tatsächliche Durchführung von Arbeitsabläufen des Betriebsmittels. Hierunter fallen alle Aktivitäten, die direkt oder indirekt zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe beitragen.

Eine Hauptnutzung (BH) ist eine planmäßige, unmittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Nutzung, wie beispielsweise das Bohren von Löchern zur Befestigung von Heizungsleitungen.

Eine Nebennutzung (BN) ist eine planmäßige, nur mittelbar der Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienende Nutzung, wie beispielsweise das Versetzen der Bohrmaschine zu einem neuen Bohrloch. Sie unterstützt die Hauptnutzung.

Eine zusätzliche Nutzung (BZ) ist eine auftretende Nutzung, deren Vorkommen oder Ablauf nicht vorausbestimmt werden kann, wie beispielsweise das ungeplante Bohren eines weiteren Loches.

Eine Unterbrechung der Nutzung (BK) tritt auf, wenn das Betriebsmittel vorübergehend nicht genutzt wird. Diese Unterbrechungen können verschiedene Ursachen haben, die weiter untergliedert werden in die Ablaufarten ablaufbedingtes Unterbrechen (BA), störungsbedingtes Unterbrechen (BS), persönlich bedingtes Unterbrechen (BP) und erholungsbedingtes Unterbrechen (BE).

Ablaufbedingtes Unterbrechen (BA) in ein planmäßiges Warten des Betriebsmittels auf das Ende von anderen Ablaufabschnitten, wie beispielsweise das Abkühlen des Bohrers.

Störungsbedingtes Unterbrechen (BS) tritt auf, wenn technische oder organisatorische Probleme die fortlaufende Nutzung des Betriebsmittels verhindern. Ein Beispiel hierfür ist eine Bohrmaschine, die aufgrund eines mechanischen Defekts oder eines unerwarteten Ausfalls der Stromversorgung vorübergehend nicht genutzt werden kann. Die Ursache der Unterbrechung wird während des Stillstands durch externe Maßnahmen oder Personen beseitigt.

Persönlich bedingtes Unterbrechen (BP) tritt auf, wenn das Betriebsmittel aufgrund von persönlichen Gründen des Maschinenführers nicht genutzt wird, wie beispielsweise während einer Raucherpause.

Erholungsbedingtes Unterbrechen (BE) ist das Unterbrechen der Tätigkeit, um die durch die Arbeit verursachten Ermüdungserscheinungen des Menschen zu minimieren. In der Regel erfolgt dies durch feste Pausenzeiten,

wie beispielsweise die Frühstück- oder Mittagspause, an die sich die Mitarbeiter zu halten haben (vgl. Arndt 2021a, S. 1644; REFA 1997, S. 33 f.; REFA-Institut 2021, S. 17).

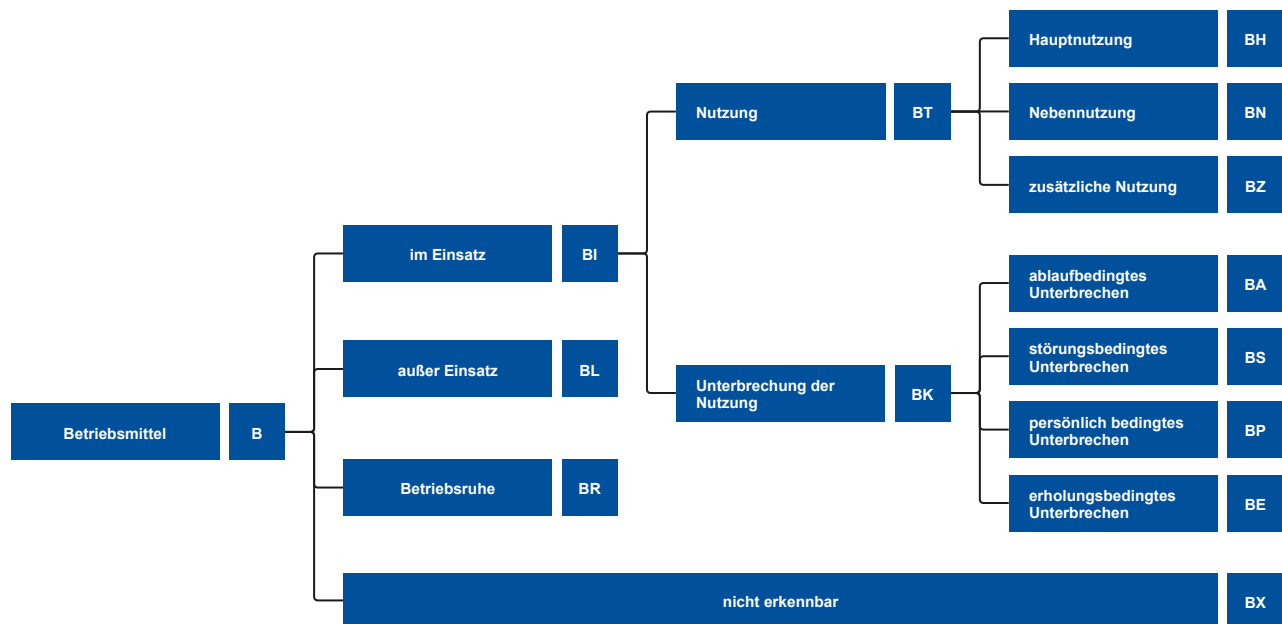


Abb. 14 Erweiterte Gliederung nach Betriebsmittel und Ausführen (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1646).

Ähnlich wie für den Menschen existiert auch eine *Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach REFA für das Betriebsmittel*, die zur Zuordnung der Ablaufabschnitte den passenden Ablaufarten bezogen auf den Menschen nach dem Ausführen genutzt werden kann (siehe Abb. 15).

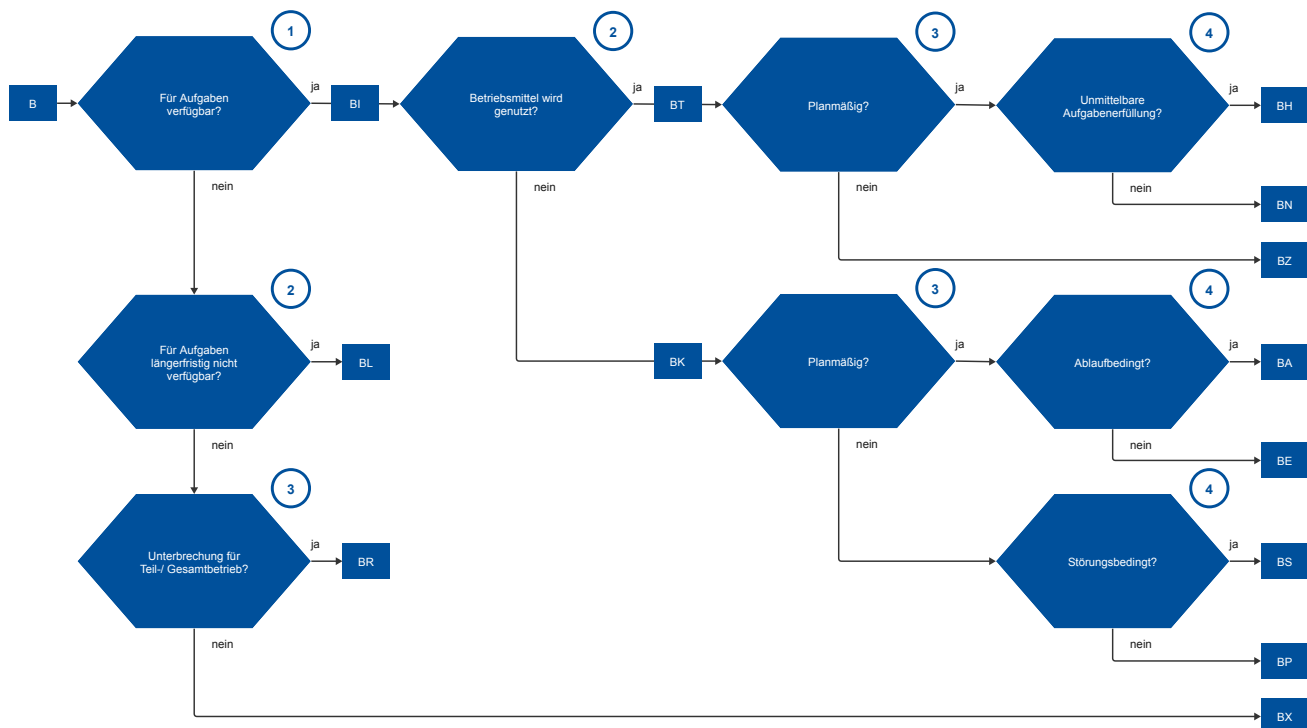


Abb. 15 Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der Ablaufarten nach Betriebsmittel (in Anlehnung an REFA-Institut 2021, S. 19).

Neben der Gliederung für das Ausführen existiert auch eine *erweiterte Gliederung bezogen auf das Betriebsmittel (B) nach dem Rüsten (R)*. Diese Gliederung ist zwar analog zur Gliederung nach dem Ausführen aufgebaut, richtet ihren Fokus jedoch (ähnlich wie beim Menschen) auf eine rüstbezogene Nutzung. Um zu verdeutlichen, dass es sich um rüstbezogenen Ablaufarten handelt, werden diese auch hier anders benannt und ihre Abkürzung zusätzlich mit einem „R“ versehen (siehe Abb. 16). Ähnlich wie beim Menschen existiert keine eigene Entscheidungsmatrix nach REFA für das Rüsten, jedoch kann die in Abb. 15 dargestellte Entscheidungsmatrix mit Fokus auf dem Rüsten anstelle der Ausführung weiterhin genutzt werden (vgl. Arndt 2021a, S. 1643).

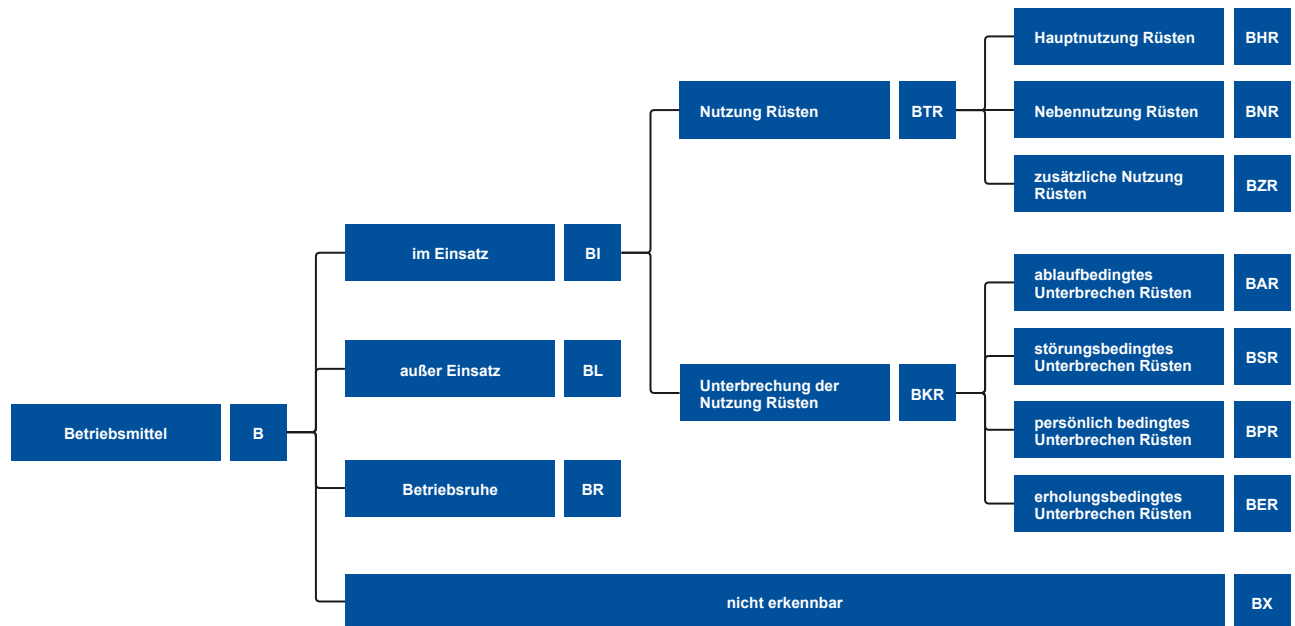


Abb. 16 Erweiterte Gliederung nach Betriebsmittel und Rüsten (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1646).

3.4.4 Vorgabezeitermittlung (Synthese)

Die Vorgabezeitermittlung, auch bekannt als Synthese, ist ein zentrales Vorgehen, das auf der systematischen Zusammenführung aller in der Ablaufanalyse erfassten Daten beruht. Diese Daten umfassen Arbeitsbedingungen, Bezugsmengen, Einflussgrößen, Zeiten sowie Ablaufabschnitte und Ablaufarten. Ziel der Synthese ist es, die sogenannte Vorgabezeit zu ermitteln, die als Soll-Zeit für ganze Arbeitsprozesse dient. Sie bildet die Grundlage für den 10. Schritt „Grundzeiten ermitteln“ und 11. Schritt „Zuschläge addieren“ im REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung (vgl. REFA 1997, S. 41).

In dieser Arbeit wird der Begriff „Synthese“ anstelle von „Vorgabezeitermittlung“ verwendet, um den dualen Prozess des Zerlegens (Ablaufanalyse) und anschließenden Neu-Zusammensetzens der Abläufe in standardisierte Ablaufarten bzw. Zeitarten klar hervorzuheben.

Die Vorgabezeit wird je nach Fokus unterschiedlich bezeichnet und ermittelt: Die auf den Menschen bezogene Vorgabezeit wird als Auftragszeit (T) definiert, während sie für Betriebsmittel als Belegungszeit (T_{dB}) bezeichnet wird (siehe Abb. 17). Unterschieden wird hierbei zwischen auftragsabhängigen Vorgabezeiten, die sich auf spezifische Aufträge wie das Bohren von 255 Bohrlöchern bezieht, und auftragsunabhängigen Vorgabezeiten,

die sich auf standardisierte Bezugsmengen wie 1, 10, 100 und 1000 Bohrlöcher stützt (vgl. Arndt 2021a, S. 1648 f.; REFA 1997, S. 42 ff.).

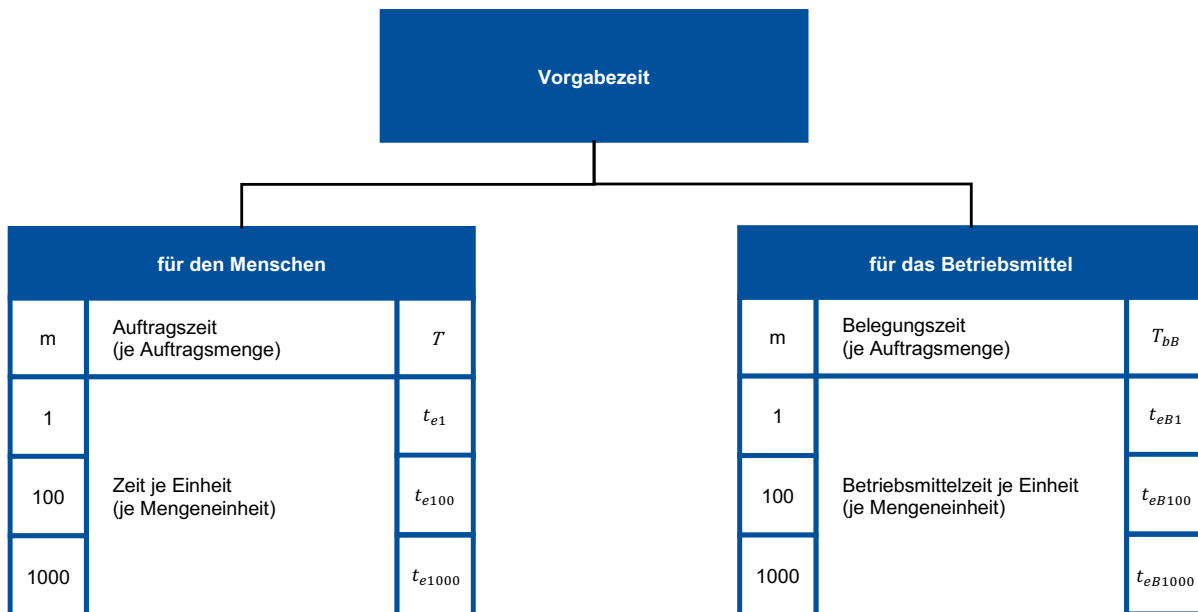


Abb. 17 Vorgabezeit als Auftragszeit nach Mensch und Belegungszeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an REFA 1997, S. 41).

Die *Vorgabezeit nach dem Menschen*, auch Auftragszeit (T) genannt, gliedert sich in die mengenunabhängige Rüstzeit (t_r) und die mengenabhängige Ausführungszeit (t_a) (siehe Abb. 18). Die Rüstzeit umfasst alle rüstbedingten Abläufe innerhalb eines Auftrags, einschließlich der Vorbereitung, des Umbaus und des Rückversetzens des Arbeitsplatzes. Sie setzt sich aus der Rüstgrundzeit (t_{rg}), der Rüsterholungszeit (t_{rer}) und der Rüstverteilzeit (t_{rv}) zusammen. Die Ausführungszeit umfasst alle Tätigkeiten, die zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe notwendig sind und sich häufig entsprechend der Auftragsmenge wiederholen, wie beispielsweise die gesamte Bohrzeit bei einem Bohrprozess. Die Berechnung der Ausführungszeit erfolgt in zwei Schritten: Zunächst wird in einer auftragsunabhängigen Betrachtung die Zeit je Einheit (t_e) aus den verschiedenen Zeitarten zusammengesetzt. Hierbei wird in der Regel die Zeit auf die Bezugsmenge $m = 1$ ausgelegt – also die Zeit, die benötigt wird, um ein einzelnes Bohrloch zu erstellen. Anschließend wird diese Zeit je Einheit mit der Auftragsmenge m (beispielsweise $m = 100$ Bohrlöcher) multipliziert, um die gesamte Ausführungszeit zu ermitteln (vgl. Arndt 2021a, S. 1648 f.; REFA 1997, S. 45).

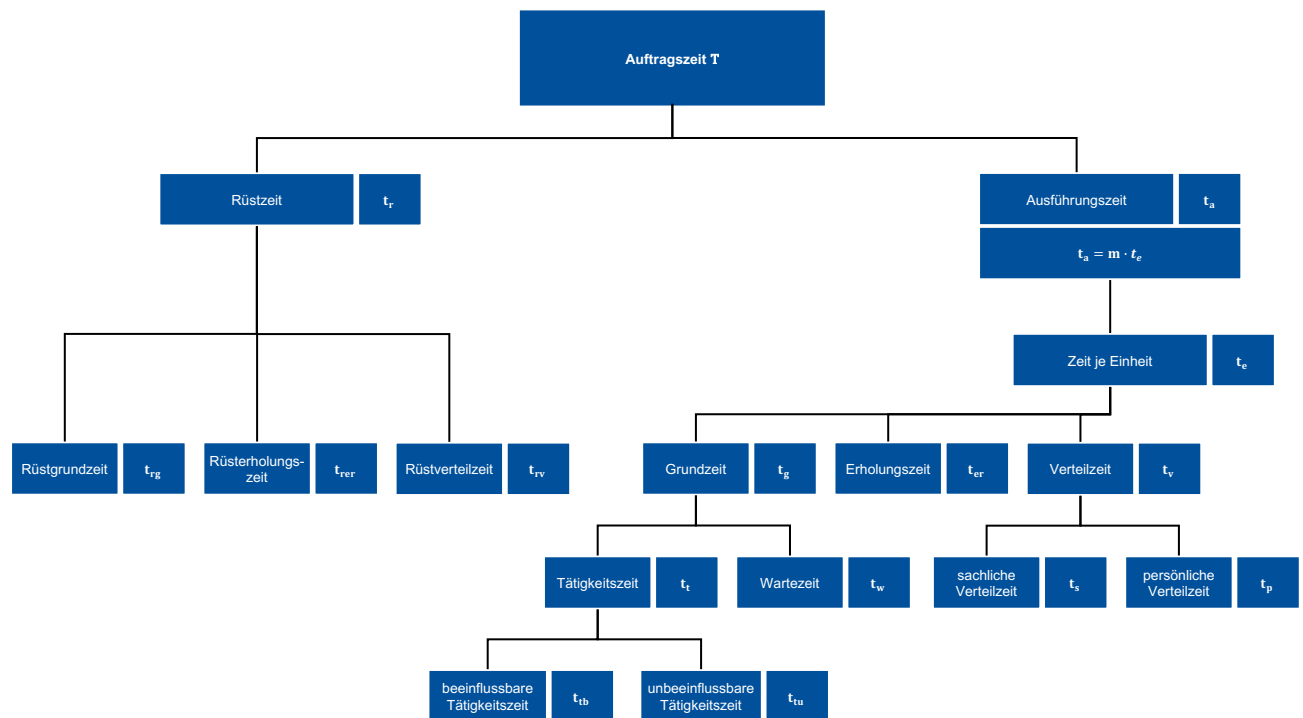


Abb. 18 Gliederung der Auftragszeit nach Mensch (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1650).

Die *Zeit je Einheit nach dem Menschen* (t_e) setzt sich aus der Grundzeit (t_g), der Erholungszeit (t_{er}) und der Verteilzeit (t_v) zusammen und ist vollständig in Abb. 19 grafisch dargestellt. Diese Größe ist in der Regel auf eine Standard-Bezugsmenge von 1 ausgelegt. Für größere Losgrößen oder Tranchen kann die Zeit je Einheit jedoch angepasst und auf andere Mengeneinheiten wie 10, 100 oder 1000 skaliert werden. Diese auftragsunabhängige Größe entsteht aus der systematischen Synthese aller Abläufe, die während der Ausführung durch den Menschen erfolgen (vgl. REFA 1997, S. 42 ff.).

Die Grundzeit (t_g) umfasst alle planmäßigen Abläufe, die zur Erstellung der entsprechenden Menge durch den Menschen notwendig sind. Sie beinhaltet die Tätigkeitszeit (t_t), die sich aus den Soll-Zeiten aller Abläufe zusammensetzt, die den Ablaufarten Haupttätigkeit (MH) und Nebentätigkeit (MN) zugeordnet sind. Falls erforderlich, kann die Tätigkeitszeit weiter in beeinflussbare Tätigkeitszeit (t_{tb}) und unbeeinflussbare Tätigkeitszeit (t_{tu}) unterteilt werden. Zudem ist die Wartezeit (t_w) Teil der Grundzeit; sie ergibt sich aus den Soll-Zeiten der Abläufe, die der Ablaufart ablaufbedingtes Unterbrechen (MA) zugeordnet sind (vgl. REFA 1997, S. 49).

Die Verteilzeit (t_v) umfasst alle außerplanmäßigen und zusätzlichen Abläufe, die während der gesamten Ausführung auftreten. Sie wird unterteilt in sachliche Verteilzeit (t_s) für zusätzliche Tätigkeiten und störungsbedingtes Unterbrechen sowie persönliche Verteilzeit (t_p) für persönlich bedingtes Unterbrechen (vgl. REFA 1997, S. 47). Die sachliche Verteilzeit ergibt sich aus den Soll-Zeiten der Ablaufarten zusätzliche Tätigkeit (MZ) und störungsbedingtes Unterbrechen (MS). Die persönliche Verteilzeit hingegen setzt sich ausschließlich aus den Soll-Zeiten der Ablaufart persönlich bedingtes Unterbrechen (MP) zusammen. Da diese Abläufe unregelmäßig über den Gesamtablauf verteilt sind, wird zunächst oft die Gesamtsumme der Verteilzeiten ermittelt, um daraus

einen Anteil relativ zur Gesamtgrundzeit zu berechnen. Dieser Prozentsatz dient anschließend zur Bestimmung der Verteilzeit je Mengeneinheit.

Die Erholungszeit (t_{er}) umfasst die Summe der Soll-Zeiten aller erholungsbedingten Abläufe, die der Ablaufart Erholen (ME) zugeordnet werden. Da erholungsbedingte Pausen üblicherweise vom Erschöpfungsgrad der Mitarbeiter und nicht direkt von der Bezugsmenge abhängen, erfolgt auch hier die Berechnung über einen Prozentsatz (vgl. REFA 1997, S. 53 f.).

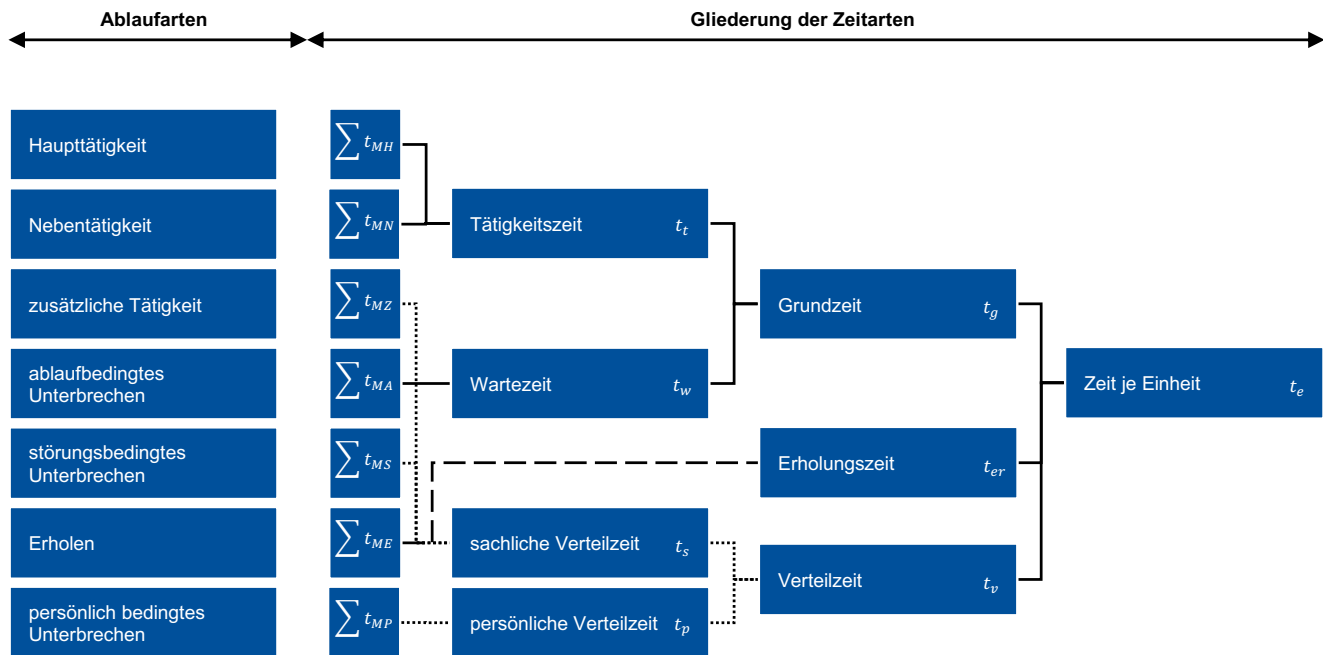


Abb. 19 Gliederung der Zeit je Einheit nach Mensch (in Anlehnung an REFA 1997, S. 47).

Die *Rüstzeit nach dem Menschen* (t_r) umfasst alle Soll-Zeiten rüstbezogener Aktivitäten, die zur Vorbereitung und Durchführung eines Auftrags erforderlich sind. Dabei setzt sich die Rüstzeit aus der Rüstgrundzeit (t_{rg}), der Rüstverteilzeit (t_{rv}) und der Rüsterholzeit (t_{rer}) zusammen, angelehnt an die bereits beim Ausführen beschriebenen Zeitarten (siehe Abb. 20). Die Gliederung der Rüstzeit folgt strukturell der Gliederung der Zeit je Einheit nach dem Menschen, unterscheidet sich jedoch durch die spezifische Benennung der Ablauf- und Zeitarten, die gezielt auf Rüstaktivitäten ausgerichtet sind. Um diese Besonderheit zu verdeutlichen, wird den Abkürzungen – ähnlich wie bei den Ablaufarten – ein kleines „r“ bei den Zeitarten hinzugefügt, was ihre Zugehörigkeit zum Rüsten eindeutig kennzeichnet (vgl. Arndt 2021a, S. 1650 ff.).

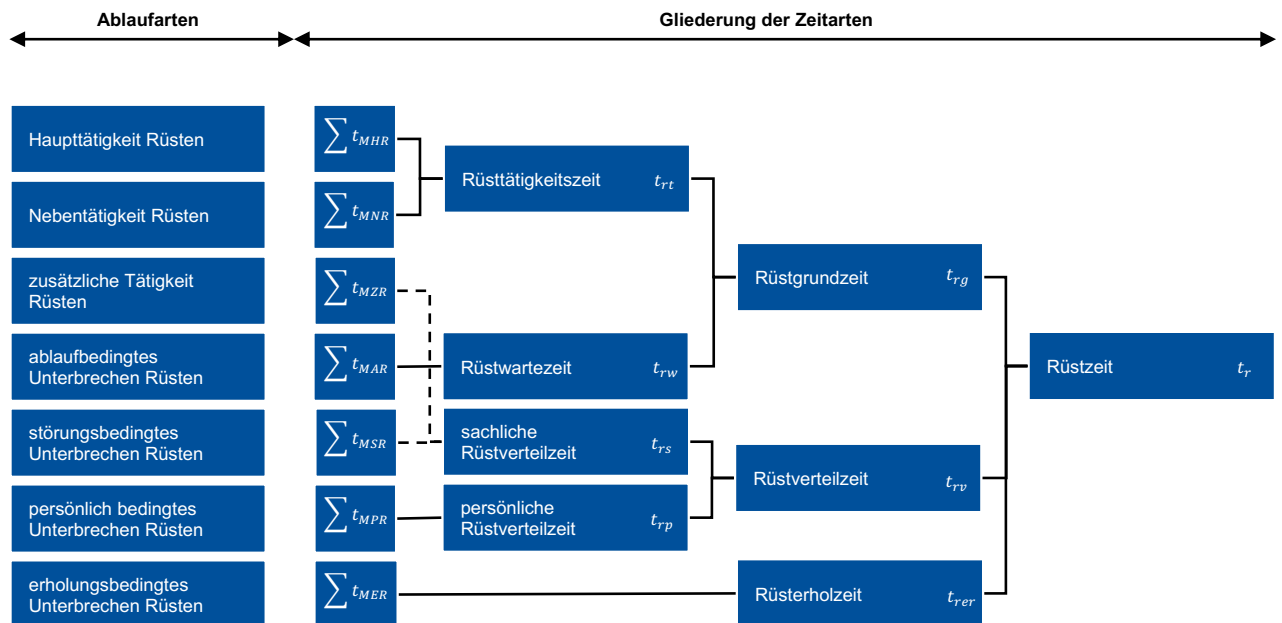


Abb. 20 Gliederung der Rüstzeit nach Mensch (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1651).

Die *Vorgabezeit nach dem Betriebsmittel*, auch Belegungszeit (T_{bB}) genannt, gliedert sich analog zum Menschen in die mengenunabhängige Betriebsmittel-Rüstzeit (t_{rB}) und die mengenabhängige Betriebsmittel-Ausführungszeit (t_{aB}) und ist vollständig in Abb. 21 grafisch dargestellt. Die Betriebsmittel-Rüstzeit umfasst alle rüstbedingten Abläufe die notwendig sind, um das Betriebsmittel für einen Auftrag einzurichten, umzubauen oder zurückzusetzen. Sie setzt sich aus der Betriebsmittel-Rüstgrundzeit (t_{rgB}) und die Betriebsmittel-Rüstverteilzeit (t_{rvB}) zusammen, wobei keine spezielle Erholungszeit wie beim Menschen vorgesehen ist.

Die Betriebsmittel-Ausführungszeit umfasst alle Aktivitäten, die zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe notwendig sind und sich häufig entsprechend der Auftragsmenge wiederholen, wie beispielsweise die gesamte Betriebszeit einer Bohrmaschine in einem Bohrprozess. Die Berechnung der Betriebsmittel Ausführungszeit erfolgt analog zum Menschen in zwei Schritten: Zunächst wird in einer auftragsunabhängigen Betrachtung die Betriebsmittelzeit je Einheit (t_{eB}) aus den verschiedenen Zeitarten zusammengesetzt, wobei sich diese Zeit in der Regel auf die Bezugsmenge $m = 1$ bezieht. Anschließend wird diese Betriebsmittelzeit je Einheit mit der Auftragsmenge m multipliziert, um die gesamte Betriebsmittel-Ausführungszeit zu ermitteln (vgl. Arndt 2021a, S. 1654 f.; REFA 1997, S. 55 ff.).

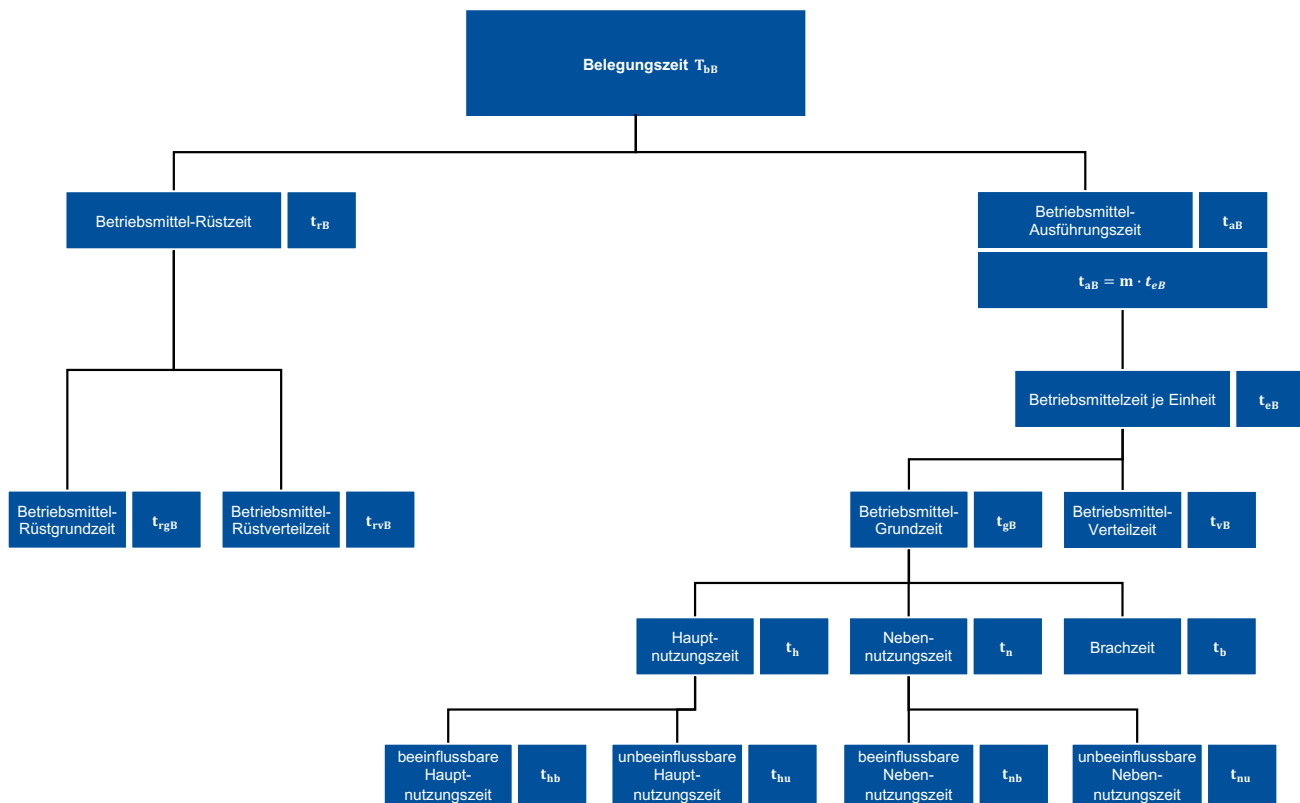


Abb. 21 Gliederung der Belegungszeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1854).

Die *Zeit je Einheit nach dem Betriebsmittel* (t_{eB}) setzt sich aus der Betriebsmittel-Grundzeit (t_{gB}) und der Betriebsmittel-Verteilzeit (t_{vB}) zusammen und ist vollständig in Abb. 22 grafisch dargestellt. Diese Größe ist in der Regel auf eine Standard-Bezugsgröße von 1 ausgelegt. Für größere Losgrößen oder Tranchen kann die Zeit je Einheit jedoch angepasst und auf andere Mengeneinheiten wie 10, 100 oder 1000 skaliert werden. Diese auftragsunabhängige Größe entsteht aus der systematischen Synthese aller Abläufe, die während der Ausführung durch den Menschen erfolgen (vgl. Arndt 2021a, S. 1654 f.; REFA 1997, S. 52 ff.).

Die Betriebsmittel-Grundzeit (t_{gB}) umfasst alle planmäßigen Abläufe, die zur Erstellung der entsprechenden Menge durch das Betriebsmittel notwendig sind. Sie setzt sich aus der Hauptnutzungszeit (t_h) und der Nebennutzungszeit (t_n) zusammen. Die Hauptnutzungszeit ergibt sich aus den Soll-Zeiten aller Abläufe, die den Ablaufarten Hauptnutzung (BH) und Nebennutzung (BN) zugeordnet sind. Zusätzlich werden Zeiten für das ablaufbedingte Unterbrechen der Nutzung (BA) und das erholungsbedingte Unterbrechen der Nutzung (BE) in die Betriebsmittel-Grundzeit einbezogen, da beide als planmäßige Unterbrechungen gelten. Die Summe dieser Zeitarten wird auch als Brachzeit (t_b) bezeichnet (vgl. REFA 1997, S. 51).

Die Betriebsmittel-Verteilzeit (t_{vB}) fasst alle unregelmäßigen und zusätzlichen Vorgänge zusammen, die während der Nutzung des Betriebsmittels auftreten. Diese Kategorie umfasst Soll-Zeiten für zusätzliche Nutzung (BZ), störungsbedingtes Unterbrechen (BS) und persönlich bedingtes Unterbrechen (BP). Im Unterschied zum Menschen erfolgt hier keine separate Unterteilung in sachliche und persönliche Verteilzeiten. Ähnlich wie bei

der Verteilzeit des Menschen wird die Betriebsmittel-Verteilzeit häufig als prozentualer Zuschlag zur Grundzeit berechnet, um die gesamte Belegungszeit präzise zu ermitteln (vgl. REFA 1997, S. 53).

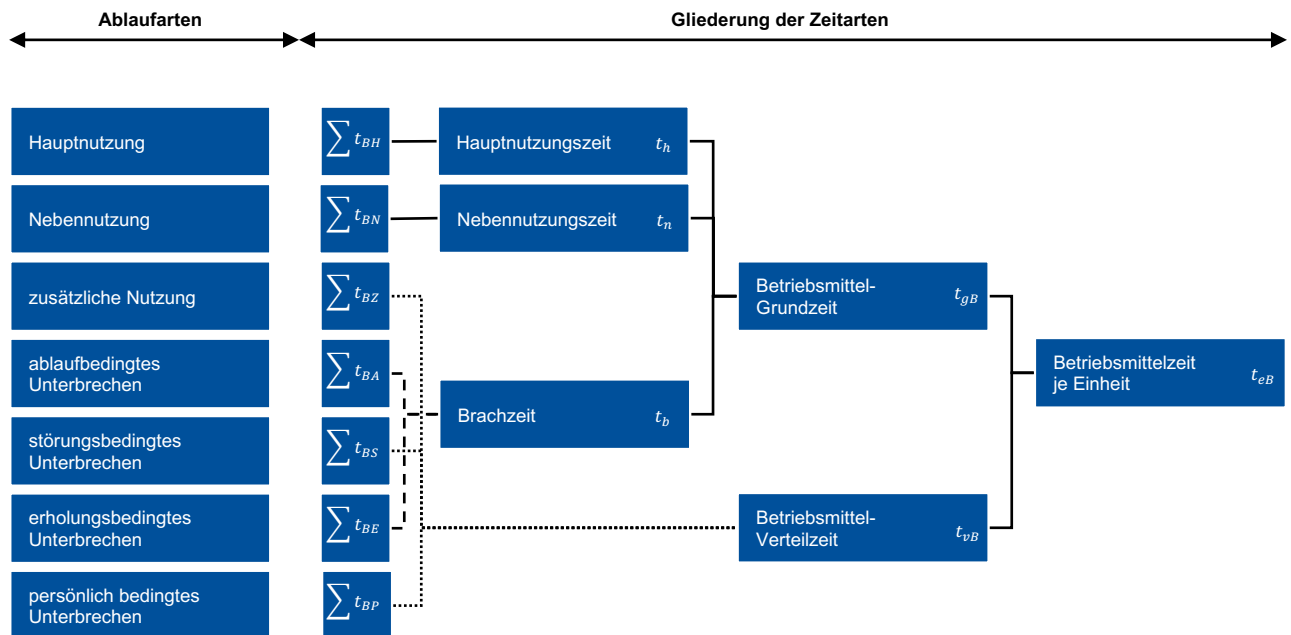


Abb. 22 Gliederung der Betriebsmittelzeit je Einheit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1656).

Die *Betriebsmittelrüstzeit nach dem Betriebsmittel* (t_{rB}) rüstbezogener Aktivitäten, die zur Vorbereitung und Durchführung eines Auftrags erforderlich sind. Dabei setzt sich die Betriebsmittelrüstzeit aus der Betriebsmittelrüstgrundzeit (t_{rgB}) und der Betriebsmittelrüstverteilzeit (t_{rvB}) zusammen, angelehnt an die bereits beim Ausführen beschriebenen Zeitarten (siehe Abb. 23). Die Gliederung der Betriebsmittelrüstzeit folgt strukturell der Gliederung der Betriebsmittelzeit je Einheit nach dem Betriebsmittel, unterscheidet sich jedoch durch die spezifische Benennung der Ablauf- und Zeitarten, die gezielt auf Rüstaktivitäten ausgerichtet sind. Analog zum Menschen werden die Abkürzungen der Zeitarten auch beim Betriebsmittel ein kleines „r“ ergänzt, was ihre Zugehörigkeit zum Rüsten kennzeichnet (vgl. Arndt 2021a, S. 1654 ff.; REFA 1997, S. 56).

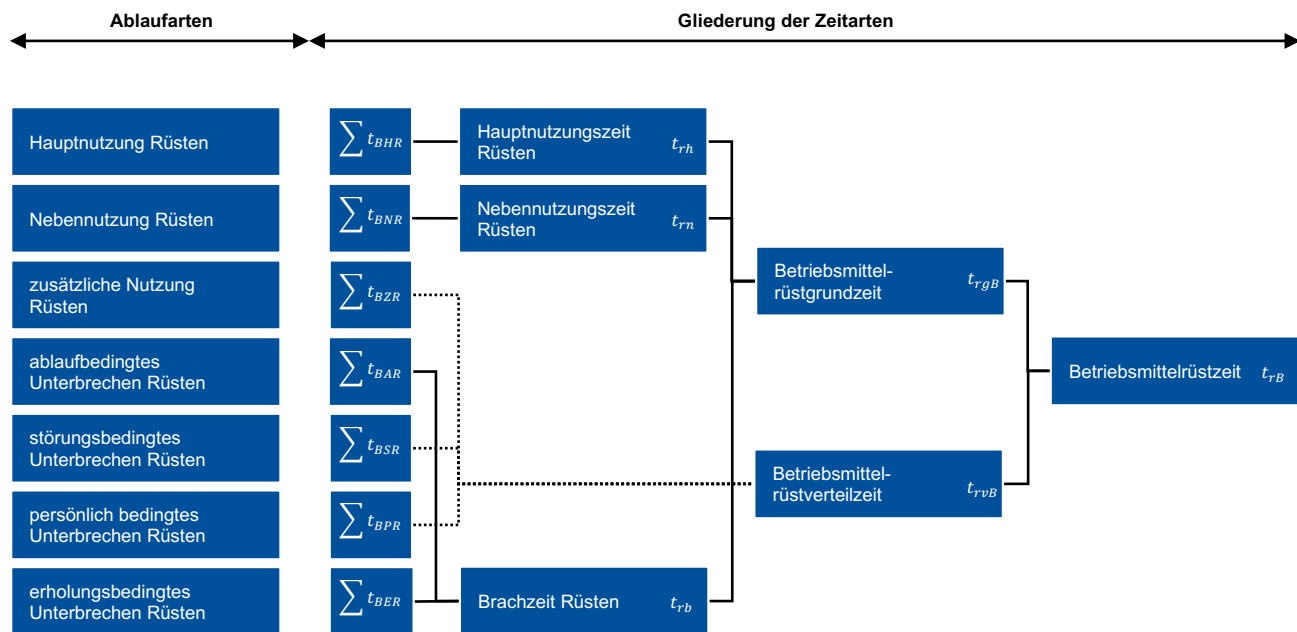


Abb. 23 Gliederung der Betriebsmittelrüstzeit nach Betriebsmittel (in Anlehnung an Arndt 2021a, S. 1655).

3.5 REFA-Zeitaufnahme

Die REFA-Zeitaufnahme (auch Zeitaufnahme) ist eine zentrale Methode der REFA-Methodenlehre zur Ermittlung von Zeitdaten und wird im eigenständigen REFA-Standardprogramm Zeitaufnahme (siehe Abb. 24) beschrieben. Sie erweitert das REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung und kommt darin insbesondere in den Schritten 1, 2, 3, 4, 5a und 6 zur Anwendung. Die Methode dient der Ermittlung von Soll-Zeiten durch die Messung und Auswertung tatsächlich beobachteter Ist-Zeiten und wird von speziell geschulten REFA-Arbeitsorganisatoren durchgeführt. Da die Aufnahme und Protokollierung durch einen externen Beobachter erfolgt, wird sie als Fremdaufschreibung klassifiziert (vgl. REFA 1997, S. 84; REFA-Institut 2015, S. 187).

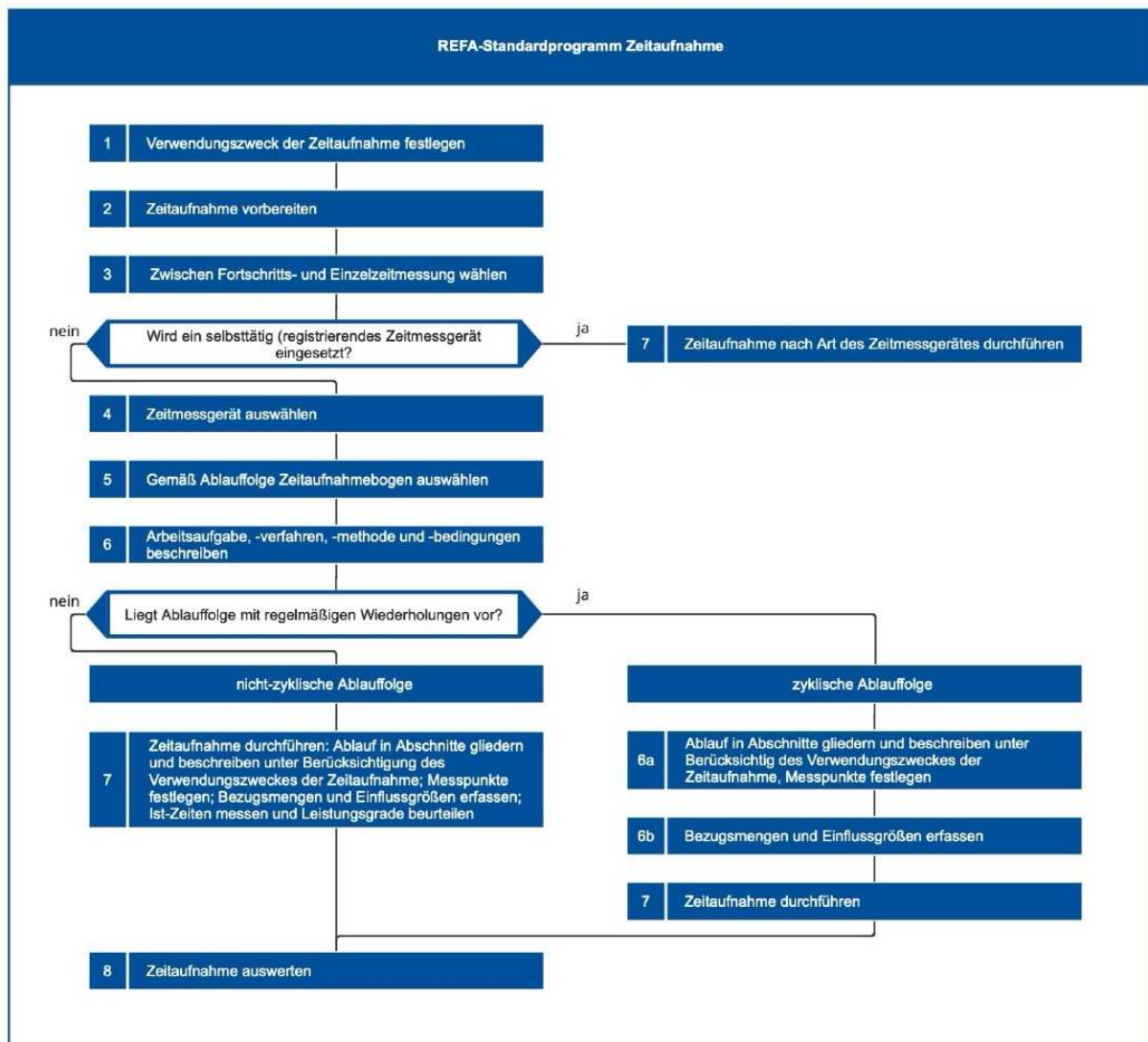


Abb. 24 REFA-Standardprogramm Zeitaufnahme (in Anlehnung an REFA 1997, S. 83).

Die *Reproduzierbarkeit der erfassten Daten* ist auch bei der REFA-Zeitaufnahme von zentraler Bedeutung. Um sie sicherzustellen, müssen die folgenden Daten erfasst werden:

- Arbeitssystem
- Ablaufabschnitte
- Bezugsmengen
- Einflussgrößen
- Leistungsgrad
- Ist-Zeiten der einzelnen Ablaufabschnitte (vgl. REFA 1997, S. 84 f.)

Das Vorgehen bei der REFA-Zeitaufnahme beginnt – wie im REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung – mit der *Festlegung des Verwendungszwecks*. Die Relevanz des Verwendungszwecks wurde bereits in Kap. 3.3 erläutert. Besonders entscheidend ist die Frage, ob die ermittelten Zeiten nur einmalig oder mehrmalig zur

Bildung von Plan-Zeiten genutzt werden sollen, da diese Entscheidung Einfluss auf die Genauigkeit sowie die Untersuchungstiefe der betrachteten Ablaufabschnitte hat (vgl. REFA 1997, S. 85).

Vor der Durchführung einer REFA-Zeitaufnahme müssen umfassende *Vorbereitungen* getroffen werden. So ist es unerlässlich, die betroffenen Mitarbeiter über die anstehende REFA-Zeitaufnahme und deren Zweck zu informieren und gegebenenfalls zu schulen, um ein möglichst natürliches Abbild des normalen Ablaufs zu erhalten. Der Arbeitsorganisator sollte sich zudem bereits im Vorfeld mit der zu untersuchenden Tätigkeit vertraut machen, um fundierte Entscheidungen über das Messverfahren, das Zeitmessgerät und den Zeitaufnahmebogen treffen zu können (vgl. REFA 1997, S. 87).

Ein wesentlicher Bestandteil der Vorbereitung ist die *Wahl des geeigneten Messverfahrens*. Dabei stehen zwei Methoden zur Verfügung: die Fortschrittszeitmessung und die Einzelzeitmessung. Bei der Fortschrittszeitmessung wird das Messgerät zu Beginn der REFA-Zeitaufnahme gestartet und läuft bis zum Ende der Aufnahme durch. Die Endzeiten der einzelnen Ablaufabschnitte werden durch Ablesen notiert, und die Zeitdauern der Abschnitte durch Differenzbildung berechnet. Diese Methode stammt aus der frühen Phase der Zeitaufnahmemethodik, als noch analoge REFA-Stoppuhren (siehe Abb. A1.19 im Anhang 1) verwendet wurden. Die Einzelzeitmessung hingegen erfasst für jeden Ablaufabschnitt eine eigene Zeitdauer, was die Erfassung von Fehlern erleichtert und die Werte übersichtlicher macht (vgl. REFA 1997, S. 88 ff.). Unabhängig vom Zeitmessverfahren unterliegt jede Messung den in Kap. 3.4.3 beschriebenen Messunsicherheiten.

Die *Wahl des Zeitmessgeräts* richtet sich nach den spezifischen Anforderungen an Genauigkeit und Messverfahren. Mindestens sollte das Gerät Zeitmessungen in Hundertstelminuten (HM) ermöglichen, da diese Darstellung eine historisch gewachsene Besonderheit der REFA-Zeitaufnahme ist. Sie erleichtert die Berechnung und Handhabung der Werte durch den Arbeitsorganisator, indem beispielsweise 50 HM anstelle von 0,02 Minuten notiert werden (vgl. REFA 1997, S. 93 ff.). Während in der Vergangenheit die Zeitmessung ausschließlich mit analogen REFA-Stoppuhren und handschriftlichen Notizen durchgeführt wurde, stehen heute moderne Alternativen zur Verfügung. Diese umfassen sowohl Hardwarelösungen wie Mini-Laptops und mobile Aufnahmebretter als auch Softwarelösungen für Desktop-Computer, die zusätzliche Funktionen wie Videoauswertungen bieten (vgl. REFA 1997, S. 97 ff.).

Unabhängig von den technischen Möglichkeiten bleibt der klassische *REFA-Zeitaufnahmebogen* (auch Zeitaufnahmebogen) ein wesentliches Mittel bei der Erfassung der zu erhebenden Daten. Dieser speziell entwickelte Vordruck dient der Notierung und Dokumentation aller relevanten Daten. Als Urkunde muss der Zeitaufnahmebogen lückenlos und korrekt ausgefüllt werden; nachträgliche Änderungen sind unzulässig, da sie die Datenintegrität beeinträchtigen würden (vgl. REFA 1997, S. 87). Der Aufbau des Zeitaufnahmebogens richtet sich nach der Art und Anzahl der zu messenden Ablaufabschnitte. Eine Übersicht über die häufig verwendeten Zeitaufnahmebögen Z1, Z2 und Z3 sowie deren Ergänzungsbögen Z1E und Z2E, einschließlich der Kriterien zur Auswahl des geeigneten Bogens, ist in Tabelle (Tab.) A1.1 im Anhang 1 dargestellt. Diese Auswahl kann jedoch bei Bedarf durch individuell angepasste Zeitaufnahmebögen für spezielle Anwendungsfälle erweitert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, unabhängig von den REFA-Standardbögen eigene Zeitaufnahmebögen zu

entwickeln, um spezifische Anforderungen oder besondere Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. (vgl. REFA 1997, S. 104 f.). Die grundlegende Struktur der Zeitaufnahmebögen ähnelt sich jedoch, unabhängig von ihrer spezifischen Form, und ist beispielhaft in Abb. A1.20 und Abb. A1.21 im Anhang 1 dargestellt. Jeder Zeitaufnahmebogen sollte mindestens das Datum der Zeitaufnahme, den verantwortlichen Arbeitsorganisator sowie das Unternehmen, in dem die Zeitaufnahme stattfindet, umfassen. Zudem ist die Bezeichnung des Ablaufs, auf den sich die Zeitaufnahme bezieht, und die Beschreibung des allgemeinen Arbeitssystems, in dem der Ablauf stattfindet, von großer Bedeutung. Im Hauptteil des Zeitaufnahmebogens erfolgt die konkrete Erfassung der Abläufe, der Zeitdaten, der Bezugsmengen und der Einflussgrößen. Zudem werden eventuelle Bemerkungen wie Änderungen im Arbeitssystem oder Gründe für Störungen festgehalten (vgl. REFA 1997, S. 109 ff.).

Nach Abschluss der Vorbereitungen macht sich der Arbeitsorganisator mit dem *Arbeitssystem* vertraut. Dazu dokumentiert er die Eigenschaften des Arbeitssystems und orientiert sich an den Merkmalen, die bereits in Kap. 3.4.2 beschrieben wurden. In dieser Phase werden auch die Ablaufabschnitte des zu beobachtenden Prozesses identifiziert, beschrieben und die entsprechenden Messpunkte definiert. Dies erfolgt durch die direkte Beobachtung vor Ort oder durch Befragung der mit dem Prozess vertrauten Mitarbeiter (vgl. REFA 1997, S. 111 f.).

Während der *Durchführung der Zeitaufnahme* verfolgt der Arbeitsorganisator den Ablauf präzise, wobei er darauf achtet, die Arbeitsumgebung und die Mitarbeiter möglichst wenig zu beeinflussen. Gespräche mit den Beteiligten werden auf ein Minimum reduziert, um eine natürliche Ausführung der Arbeit sicherzustellen. Zudem sind die geltenden Arbeitsschutzvorschriften einzuhalten, was unter Umständen das Tragen von Sicherheitskleidung erfordert. Zu Beginn der Zeitaufnahme dokumentiert der Arbeitsorganisator den Zustand des Arbeitssystems. Veränderungen, die während der Zeitaufnahme auftreten, müssen fortlaufend erfasst und dokumentiert werden. Die Ist-Zeiten der zuvor definierten Ablaufabschnitte werden mit dem gewählten Zeitmessgerät erfasst. Dabei notiert der Arbeitsorganisator nicht nur die Zeiten, sondern auch die Bezugsmengen und Einflussgrößen auf dem Zeitaufnahmebogen. Werden während der Beobachtung neue, bisher unbekannte Ablaufabschnitte erkannt, sind diese ebenfalls zu dokumentieren. Besonders wichtig ist die präzise Erfassung der Bezugsmengen und Einflussgrößen, da diese für die spätere Umwandlung der Ist-Zeiten in Soll-Zeiten entscheidend sind (vgl. REFA 1997, S. 84 ff.).

Eine der wichtigsten Einflussgrößen bei vom Menschen beeinflussbaren Tätigkeiten ist der *Leistungsgrad* (L). Dieser beschreibt das Verhältnis der tatsächlich erbrachten Leistung eines Mitarbeiters zur sogenannten Normalleistung. Die Normalleistung stellt eine theoretische Bezugsgröße dar, die eine flüssige, geübte Arbeitsweise eines eingearbeiteten und erfahrenen Mitarbeiters widerspiegelt und über längere Zeit ohne besondere Erschöpfung aufrechterhalten werden kann (vgl. REFA 1997, S. 130; vgl. REFA-Institut 2021, S. 81). Ziel der Leistungsgradbeurteilung ist es, die beobachtete Ist-Zeit so zu korrigieren, dass sie eine Soll-Zeit unter Standardbedingungen repräsentiert. Die Beurteilung des Leistungsgrades erfordert Erfahrung und Schulung des Arbeitsorganisators, da der Vergleich zwischen beobachtetem Bewegungsablauf und Normleistung gedanklich erfolgt.

Die Ermittlung des Leistungsgrades entspricht folgender Gleichung:

$$L = \frac{\text{beobachtete Ist - Leistung}}{\text{vorgestellte Bezugsleistung}} \cdot 100 \%$$

(vgl. REFA 1997, S. 128 ff.)

Die *Auswertung* der REFA-Zeitaufnahme folgt dem erweiterten REFA-Standardprogramm zur Auswertung von Zeitaufnahmen. Idealerweise beginnt diese Auswertung noch am selben Tag, um die aufgenommenen Daten auf Richtigkeit und Vollständigkeit zu überprüfen. Dabei werden die Angaben zum Arbeitssystem, die Beschreibung der Ablaufabschnitte und der zugehörigen Messpunkte sowie die Vollständigkeit der erfassten Bezugsmengen und Einflussgrößen kontrolliert. Fehlende oder fehlerhafte Daten müssen entweder entfernt oder in Absprache mit den Mitarbeitern oder dem Auftraggeber korrigiert werden. Die weitere Auswertung kann zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Abhängig vom Zeitmessverfahren müssen bei einer Fortschrittszeitmessung zunächst die Ist-Einzelzeiten für jeden Ablaufabschnitt berechnet werden. Messfehler oder Ausreißer sind zu kennzeichnen und gegebenenfalls zu eliminieren. Anschließend werden die Einzelzeiten summiert und mit der Gesamtdauer der Aufnahme abgeglichen, um die Konsistenz der Daten sicherzustellen (vgl. REFA 1997, S. 161 ff.).

Die Berechnung des mittleren Leistungsgrades ($\bar{L}$) erfolgt nach:

$$\bar{L} = \frac{\sum L}{n}$$

Parallel dazu wird die mittlere Ist-Einzelzeit ($\bar{t}_i$) für jeden Abschnitt berechnet:

$$\bar{t}_i = \frac{\sum t_i}{n}$$

Diese Werte dienen als Grundlage zur Berechnung der Soll-Zeit (t) für den jeweiligen Ablaufabschnitt:

$$t = \frac{\bar{L}}{100 \%} \cdot \bar{t}_i$$

Für unbeeinflussbare Tätigkeiten entspricht die Soll-Zeit der mittleren Ist-Einzelzeit:

$$t = \bar{t}_i$$

Nach der Berechnung der Soll-Zeiten für jeden Ablaufabschnitt ist die Auswertung der REFA-Zeitaufnahme abgeschlossen. Im nächsten Schritt werden die Ablaufabschnitte mit den ermittelten Soll-Zeiten im Rahmen der Ablaufanalyse den entsprechenden Ablauf- bzw. Zeitarten zugeordnet. Anschließend erfolgt in der Synthese

die Zusammenführung dieser Daten zu einer Auftragszeit bzw. Belegungszeit. Beide Verfahren sind Bestandteil des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung, das bereits in Kap. 3.4 ausführlich erläutert wurde (vgl. REFA 1997, S. 115 f.).

3.6 Weitere Methoden zur Zeitdatenermittlung

Die REFA-Methodenlehre bietet neben der bekannten REFA-Zeitaufnahme eine Vielzahl weiterer Ansätze zur Ermittlung von Zeitdaten. Die Wahl der Methode hängt dabei vom Verwendungszweck, dem gewünschten Umfang und Aufwand der Datenerhebung sowie den prozess- und unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ab. Das REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung unterteilt die Zeitermittlungsmethoden grundsätzlich in zwei Kategorien: die Erfassung von Ist-Zeiten und die Bestimmung von Soll-Zeiten. Diese Unterscheidung erfolgt anhand der Entscheidungsfrage, ob Ist-Zeiten erfasst werden sollen, die nach dem vierten Schritt im REFA-Standardprogramm zur Datenermittlung gestellt wird (siehe Abb. 3) (vgl. REFA 1997, S. 61). Abb. 25 bietet eine umfassende Übersicht über alle REFA-Methoden zur Zeitermittlung und ihre Einordnung in diese beiden Kategorien.

Die Erfassung von Ist-Zeiten basiert auf der Analyse realer, beobachtbarer Prozesse und Zeiten. Diese können entweder durch direkte Beobachtung (Messen) oder durch indirekte Befragung der Mitarbeiter ermittelt werden. Für die Messung stehen dem REFA-Arbeitsorganisator die Methoden der Fremdaufschreibung (Zeitaufnahme), Selbstaufschreibung und die MMA zur Verfügung. Während bei der Fremdaufschreibung ein externer Beobachter die Ist-Zeiten und Abläufe dokumentiert, erfolgt die Selbstaufschreibung direkt durch die Mitarbeiter. Die MMA stellt einen Sonderfall dar, da sie Ist-Zeiten nicht durch direkte Messung erfasst, sondern über eine statistische Analyse ermittelt.

Die Bestimmung von Soll-Zeiten erfolgt auf Basis bereits vorhandener Ist-Zeiten oder theoretischer Annahmen, ohne dass die zu analysierenden Prozesse tatsächlich stattfinden müssen. Diese Herangehensweise ermöglicht es, auch zukünftige oder theoretische Abläufe, wie beispielsweise neue Montageverfahren, zu untersuchen. Soll-Zeiten können durch das Zusammensetzen mehrerer Plan-Zeiten oder Zeitelemente der SvZ ermittelt oder durch Berechnung anhand von Prozessparametern, wie beispielsweise der Vorschubgeschwindigkeit einer Bohrmaschine, bestimmt werden. Wenn keine validen Soll-Zeiten für den beschriebenen Ablauf vorliegen, kann auf die Methode Vergleichen und Schätzen zurückgegriffen werden, bei der die Soll-Zeiten durch einen Vergleich mit ähnlichen Prozessen oder auf Grundlage von Erfahrungswerten geschätzt werden (vgl. Schlick et al. 2010, S. 665 ff.).

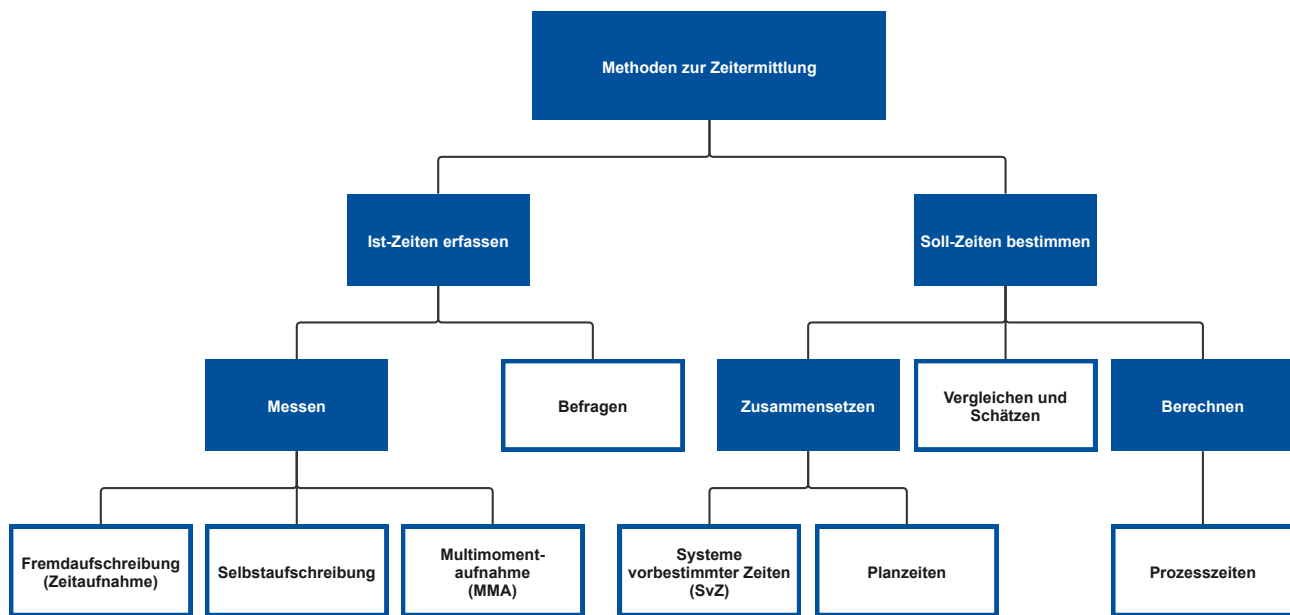


Abb. 25 Übersicht der REFA-Methoden zur Zeitermittlung (in Anlehnung an REFA 1997, S. 61).

Fremdaufschreibung (Zeitaufnahme) wurde bereits ausführlich in Kap. 3.5 beschrieben und stellt die präziseste Methode zur Erfassung von Ist-Zeiten dar. Dabei dokumentiert eine externe Person nicht nur einzelne Ablaufabschnitte und deren Zeitwerte, sondern auch die vollständige Ablauffolge. Als einzige Methode innerhalb der REFA-Methodik ermöglicht sie so eine detaillierte und umfassende Darstellung des gesamten Ablaufs (vgl. REFA 1997, S. 82 ff.).

Selbstaufschreibung erfolgt durch die Mitarbeiter selbst oder automatisiert über digitale Messsysteme am Betriebsmittel. Sie wird häufig für die langfristige Datenerfassung und die Erhebung großer Datenmengen eingesetzt, da sie ohne externe Beobachtung auskommt. Dabei kann sie manuell durch das Ausfüllen von Zeitaufnahmebögen oder digitale Zeiterfassungssysteme erfolgen, etwa durch das Festhalten von Start- und Endzeiten eines Auftrags oder das Übermitteln von Stückzahlen. Allerdings ist die Selbstaufschreibung weniger präzise als die Fremdaufschreibung, da subjektive Einflüsse, individuelle Erfassungsmethoden und mögliche Inkonsistenzen zwischen verschiedenen Mitarbeitern die Datenqualität beeinträchtigen können (vgl. REFA 1997, S. 295 ff.).

Multimomentaufnahme (MMA) basiert auf stichprobenartigen Beobachtungen zu zufälligen Zeitpunkten. Dabei wird die Häufigkeit bestimmter Ablaufabschnitte über eine größere Anzahl an Erhebungen statistisch bestimmt. Diese Methode ist besonders für Prozesse mit hohem Wiederholungsanteil geeignet, da sie eine effiziente und vergleichsweise geringe Erhebungsbelastung bietet. Allerdings liefert die MMA keine exakten Einzelzeiten, sondern nur Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten bestimmter Abläufe, weshalb sie nicht für detaillierte Zeitstudien oder Prozessanalysen geeignet ist (vgl. REFA 1997, S. 234 ff.; REFA-Institut 2015, S. 93 ff.).

Befragung dient der indirekten Erhebung von Zeitdaten, indem Mitarbeiter zu ihren Tätigkeiten und den benötigten Zeiten befragt werden. Dies kann retrospektiv, also nach Abschluss eines Arbeitsvorgangs, oder

prospektiv zur Abschätzung zukünftiger Abläufe erfolgen. Die Methode ermöglicht eine schnelle Datenerhebung und ist besonders hilfreich, wenn direkte Messungen nicht praktikabel oder zu zeitaufwendig sind. Allerdings unterliegt sie subjektiven Verzerrungen, da sich Befragte oft nur ungenau an Zeitdauern erinnern oder diese idealisiert wiedergeben. Daher wird die Befragung häufig als ergänzende Methode genutzt, um zusätzliche Kontextinformationen zu bestehenden Messungen zu erhalten (vgl. REFA 1997, S. 310 ff).

Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ) wie Methods-Time Measurement (MTM) analysieren Arbeitsabläufe, indem sie diese in standardisierte Bewegungselemente zerlegen und mit vordefinierten Soll-Zeiten versehen. Diese Methode ermöglicht eine präzise Bewertung von Arbeitsprozessen, ohne dass diese tatsächlich gemessen werden müssen. Sie ist besonders in der Serien- und Massenproduktion verbreitet, da sie eine detaillierte Planung ermöglicht. Allerdings ist MTM nur auf manuelle Tätigkeiten anwendbar und berücksichtigt keine maschinellen oder autonomen Prozesse (vgl. Arndt 2021a, S. 1667; REFA 1997, S. 68 ff.; Schlick et al. 2010, S. 696 ff.).

Plan-Zeiten sind standardisierte Soll-Zeiten, die aus Ist-Zeiten abgeleitet und für ähnliche Arbeitsabläufe wiederverwendet werden können. Sie ermöglichen eine frühzeitige Kalkulation von Arbeitszeiten und sind besonders für die Prozessplanung und Kostenkalkulation geeignet. Ihre Anwendung setzt voraus, dass vergleichbare Referenzwerte aus ähnlichen Prozessen vorliegen, da sie nicht durch direkte Messung, sondern durch Übertragung bestehender Zeitwerte ermittelt werden. In neuen oder stark variierenden Arbeitsabläufen müssen sie durch zusätzliche Messungen oder Schätzungen ergänzt bzw. validiert werden (vgl. REFA 1997, S. 350 ff.).

Vergleichen und Schätzen ermöglicht die Ableitung von Soll-Zeiten durch den Vergleich eines Prozesses mit bereits bekannten Abläufen oder durch Erfahrungswerte. Dabei werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den Abläufen identifiziert und die Soll-Zeiten durch Zuschläge oder Abschläge angepasst. Die Methode ist besonders nützlich, wenn keine präzisen Zeitdaten vorliegen oder eine schnelle Abschätzung erforderlich ist. Da die Qualität der Ergebnisse jedoch stark von der Erfahrung des analysierenden Experten abhängt, ist sie weniger objektiv und sollte nur für grobe Zeitabschätzungen oder in Kombination mit anderen Methoden eingesetzt werden (vgl. Arndt 2021a, S. 1657; REFA 1997, S. 279 ff.).

Prozesszeiten beschreiben die Dauer, die ein Betriebsmittel für spezifische, nicht beeinflussbare Abläufe benötigt. Sie werden in der Regel durch Berechnungen ermittelt, die auf den physikalischen und technischen Parametern des Ablaufs basieren. Beispielsweise kann die Prozesszeit eines Bohrers anhand seiner Vorschubgeschwindigkeit und Rotationsgeschwindigkeit präzise berechnet werden. Diese Methode eignet sich besonders für automatisierte Prozesse mit festen technischen Vorgaben, kann jedoch nicht auf manuelle Tätigkeiten übertragen werden (vgl. REFA 1997, S. 268).

4 Praktische Datenermittlung

4.1 Festlegung Verwendungszweck

Nach der theoretischen Darstellung der verschiedenen Zeitermittlungsmethoden in den vorangegangenen Kapiteln beginnt mit diesem Kapitel die praktische Anwendung der REFA-Zeitaufnahme. Die Festlegung des Verwendungszwecks bildet dabei Schritt 1 sowohl des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung als auch des REFA-Standardprogramms zur Zeitaufnahme. Dieser Schritt dient als Grundlage für die anschließende Erhebung und Auswertung der Zeitdaten. Ziel ist es, die beiden untersuchten Prozesse – den manuellen und den semi-autonomen Bohrprozess – unter gleichen Rahmenbedingungen zu vergleichen. Daher ist es unerlässlich, dass beide Zeitaufnahmen der gleiche Verwendungszweck zugrunde liegt. Nachfolgend wird dieser Verwendungszweck erarbeitet und für beide Prozesse festgelegt.

Bezugnehmend auf die Ziele und Abgrenzungen aus Kap. 1.2 liegt das Hauptziel dieser Arbeit darin, ein detailliertes Verständnis der beiden Prozesse zu gewinnen. Gemäß Ziel Z4 sollen Ablauf- und Zeitdaten erhoben werden, die dem Leser eine fundierte Grundlage bieten sollen, um die Abläufe beider Verfahren besser zu verstehen. Darüber hinaus verfolgt die Erhebung den Zweck einer vergleichenden Analyse beider Prozesse gemäß Ziel Z5. Diese Analyse soll Entscheidungsträgern eine fundierte Basis für die Bewertung und Wahl zwischen beiden Verfahren bereitstellen.

Die erhobenen Daten sollen sowohl qualitative als auch quantitative Einblicke liefern. Sie sollen sowohl eigenständig aussagekräftig sein und zugleich eine belastbare Grundlage für den Vergleich der beiden Prozesse darstellen. Über diese spezifische Untersuchung hinaus sollen die Daten eine allgemeine Anwendbarkeit und universelle Aussagekraft besitzen. Sie sind als Referenz für ähnliche Projekte vorgesehen und können in vergleichbaren Untersuchungen sowie zur Prozessoptimierung herangezogen werden. Dies setzt voraus, dass sie nicht nur einmalig, sondern mehrfach verwendbar sind. Die erforderliche Genauigkeit der Daten wurde gemäß Abgrenzung A3 so festgelegt, dass sie für einen belastbaren Vergleich ausreichend ist, jedoch nicht den Anforderungen entsprechen, die beispielsweise für vertragliche oder tarifliche Zwecke erforderlich wären. Daher sind die Daten ausdrücklich nicht für die Entlohnungsberechnung oder andere vertraglich relevante Verwendungen geeignet.

Auf Basis dieser Zielsetzungen und Abgrenzungen lässt sich der Verwendungszweck der Datenerhebung der Kategorie ‚Planung, Steuerung und Kontrolle‘ zuordnen. Darüber hinaus ergibt sich aus der Anforderung universell einsetzbarer Daten die Notwendigkeit ihrer Wiederverwendbarkeit.

4.2 Festlegung Zeitermittlungsmethode

In diesem Kapitel erfolgt die systematische Auswahl der Zeitermittlungsmethode, die im Rahmen der praktischen Datenerhebung in dieser Arbeit zum Einsatz kommt. Auch wenn die Entscheidung zugunsten der REFA-Zeitaufnahme bereits durch Ziel Z3 vorgegeben wurde, erfolgt dennoch eine exemplarische Bewertung der in Kap. 3.6 beschriebenen Methoden auf Ihre Tauglichkeit in Bezug auf die Zielsetzung und den

Verwendungszweck dieser Arbeit. Dies dient dazu, die Wahl der Methode im Kontext dieser Arbeit nachvollziehbar aufzuzeigen und zu begründen.

Die Wahl der Zeitermittlungsmethode basiert auf mehreren spezifischen Anforderungen, die sicherstellen sollen, dass die erhobenen Daten für den Vergleich des manuellen und semi-autonomen Bohrprozesses geeignet sind. Um eine belastbare Vergleichbarkeit zu gewährleisten, ist es essenziell, beide Prozesse mit derselben Methode zu erfassen. Gleichzeitig müssen die Daten sowohl qualitative als auch quantitative Einblicke liefern, indem sie die Ablaufabschnitte, deren Ablauffolge sowie die jeweilige Dauer präzise dokumentieren. Dieser ganzheitliche Ansatz ist erforderlich, da beide Datenarten – die Ablaufdaten und die Zeitdaten – eine fundierte Grundlage für den Vergleich beider Verfahren bieten, insbesondere da für den semi-autonomen Bohrprozess bislang keine belastbaren Prozessdaten vorliegen. Die Datenerhebung erfolgt unter realen Baustellenbedingungen, um praxisnahe Werte zu erhalten, die eine realitätsgetreue Analyse ermöglichen. Darüber hinaus wird eine hohe Datenqualität angestrebt, um eine spätere Weiterverwendung und weiterführende Forschung auf Grundlage dieser Daten zu ermöglichen.

Anhand dieser Anforderungen wurde die *Zeitaufnahme* bzw. Fremdaufschreibung als optimale Methode identifiziert. Sie erfüllt sämtliche Kriterien und bietet die Möglichkeit, alle bei den Prozessen auftretenden Ablaufabschnitte, deren Ist- und Soll-Zeiten sowie die Ablauffolge präzise zu erfassen. Unter realen Baustellenbedingungen liefert diese Methode sowohl qualitative als auch quantitative Einblicke, die eine fundierte Grundlage für den Vergleich der beiden Bohrprozesse bilden.

Die *Selbstaufschreibung* wurde ebenfalls in Betracht gezogen, erwies sich jedoch als problematisch. Diese Methode erfordert, dass die Mitarbeiter die Daten eigenständig erheben, was bei handwerklichen Baustellenarbeiten unpraktikabel ist. Die parallele Dokumentation und Ausführung der Tätigkeiten könnte die Genauigkeit der Ergebnisse erheblich beeinträchtigen. Zudem fehlen oft die personellen Ressourcen, um diese Daten präzise zu erfassen. Diese Einschränkungen machen die Selbstaufschreibung für diese Untersuchung ungeeignet.

Die *MMA* zeigt spezifische Einschränkungen, die ihre Anwendung in diesem Kontext erschweren. Die Methode setzt voraus, dass die Ablaufabschnitte vorab definiert sind, was bei unvorhergesehenen Tätigkeiten zu Problemen führen kann. Solche Tätigkeiten lassen sich oft nur unscharf anderen Ablaufabschnitten oder der Verteilzeit zuordnen, was die Genauigkeit der Daten beeinträchtigt. Zudem erfasst die MMA keine exakten Zeitwerte, sondern lediglich Häufigkeiten, die in Zeitanteile umgerechnet werden können. Präzise Einzelzeiten fehlen somit, wodurch der Informationsgehalt der Daten und deren Vergleichbarkeit eingeschränkt wird.

Die Methode der *Befragung* erfüllt die Anforderungen nicht, da sie auf Erinnerungen der Befragten basiert und somit tendenziell idealisierte oder unvollständige Abläufe widerspiegelt. Für die präzise Erhebung quantitativer Zeitdaten ist sie ungeeignet. Jedoch wurde die Befragung als ergänzende Methode in dieser Arbeit angewendet, um vorab einen Überblick über die zu untersuchenden Abläufe zu gewinnen und die Durchführung der Zeitaufnahme zu erleichtern.

Die *MTM-Methode*, die auf der Analyse von Grundbewegungen basiert, wurde ebenfalls als potenzielle Methode geprüft, erweist sich jedoch als ungeeignet, da mit ihr ausschließlich menschliche Tätigkeiten untersucht werden könne, was eine Untersuchung des semi-autonomen Bohrprozess, bei dem ein Roboter zum Einsatz kommt, ausgeschlossen hätte. Durch diese fehlende Untersuchungsmöglichkeit ist sie für den Vergleich somit ungeeignet.

Die Methoden *Plan-Zeiten* und *Vergleichen und Schätzen* beruhen auf theoretischen Annahmen und können eine reale Datenerhebung nicht ersetzen. Beide Methoden würden lediglich idealisierte Szenarien abbilden, weshalb sie für die spezifischen Anforderungen dieser Arbeit nicht infrage kommen.

Die Methode der *Prozesszeiten* wurde ebenfalls im Hinblick auf ihre Eignung geprüft. Während sie für den semi-autonomen Bohrprozess mit dem Jaibot anwendbar wäre, da sich die notwendigen Parameter wie die Vorschubgeschwindigkeit präzise berechnen lassen, ist ihre Anwendung auf den vom Menschen ausgeführten manuellen Bohrprozess nicht möglich, weshalb diese Methode ebenfalls für diese Arbeit nicht geeignet ist.

Zusammenfassend zeigt diese systematische Prüfung, dass die Zeitaufnahme als einzige Methode alle festgelegten Anforderungen erfüllt. Sie gewährleistet eine vollständige und präzise Erfassung der Ablauf- und Zeitdaten unter realen Bedingungen. Damit stellt sie sicher, dass die erhobenen Daten den Zielen und Abgrenzungen aus Kap. 1.2 entsprechen werden und eine belastbare Grundlage für den Vergleich der beiden Bohrprozesse bilden.

4.3 Zeitaufnahmen

Nachdem in Kap. 4.2 die Zeitaufnahme als geeignete Methode festgelegt wurde, wird in diesem Kapitel die praktische Durchführung der Prozesse ‚Manueller Bohrprozess‘ und ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ detailliert beschrieben. Das Vorgehen orientiert sich dabei an Schritt 5a des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung sowie den Schritten 2, 3, 4, 5 und 7 des REFA-Standardprogramms zur Zeitaufnahme. Dabei werden das gewählte Messverfahren, das Zeitmessgerät, der entwickelte Zeitaufnahmebogen sowie die Definition der Bezugsgrößen und Einflussfaktoren erläutert. Abschließend wird die konkrete Herangehensweise an die Zeitaufnahmen für beide Bohrprozesse im Detail beschrieben.

Für die Zeitaufnahme wurde bei der *Wahl des Messverfahrens* auf eine Einzelzeitmessung zurückgegriffen. Zum Einsatz kam eine digitale Stoppuhr mit Rundenfunktion, die es ermöglicht, die Messung des nächsten Ablaufabschnitts genau in dem Moment zu starten, in dem die Erfassung des vorherigen Abschnitts endet. So konnten die Vorteile der Einzelzeitmessung genutzt werden, ohne dass Verzögerungen durch wiederholtes Starten und Stoppen der Zeitmessung entstanden.

Die *Wahl des Zeitmessgeräts* fiel nach umfassender Recherche auf eine flexible Lösung, die spontane Änderungen im Ablauf erfassen kann: die klassische Kombination einer einfachen digitalen Stoppuhr mit einem handschriftlichen Zeitaufnahmebogen. Verschiedene Softwarelösungen wie TimeStudy, REFA Time und ORTIM a6

sowie die Nutzung einer automatisierten Excel-Tabelle wurden geprüft, erwiesen sich jedoch als wenig anpassungsfähig, da viele Systeme nur vorab definierte Ablaufabschnitte erfassen konnten. Dies hätte insbesondere bei dynamischen Baustellenabläufen eine wesentliche Einschränkung dargestellt. Letztlich wurde die Stoppuhrfunktion eines Apple iPhones verwendet (siehe Abb. A1.22 im Anhang 1), betrieben unter iOS 16.1.1 (Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘) und 16.4.1 (Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘). Als Einschränkung dieser Methode stellte sich nur heraus, dass die Zeitmessung ausschließlich in Minuten und Sekunden (mm:ss Min) erfolgt, anstelle der für Zeitaufnahmen gängigen Einheit HM. Um auch weiterhin eine methodenkonforme Datenverarbeitung sicherzustellen und die Vergleichbarkeit mit der REFA-Methodik zu gewährleisten, wurde auf eine nachträgliche automatisierte Umrechnung in Microsoft Excel zurückgegriffen.

Für die Dokumentation der Daten wurde ein eigener, maßgeschneiderter *Zeitaufnahmebogen* entwickelt, da im Rahmen dieser Arbeit kein vorgefertigter REFA-Zeitaufnahmebogen verfügbar war. Der Bogen bietet Platz für die Erfassung von bis zu 20 Ablaufabschnitten pro DIN A4-Seite und umfasst alle wesentlichen Informationen zur Dokumentation von Arbeitsabfolgen, Zeiten und Einflussfaktoren. Er wurde in Microsoft Excel entworfen und für die Verwendung vor Ort ausgedruckt. Während der Zeitaufnahmen diente eine Klemmbrettmappe als stabile Schreibunterlage und als Ablage für das iPhone als Stoppuhr. Der entwickelte Zeitaufnahmebogen ist in Abb. A1.23 im Anhang 1 vollständig dargestellt. Er gliedert sich in die drei Abschnitte „Allgemeines“, „Arbeitssystem“ und „Ablauf-/ und Zeitaufnahme“. Im Abschnitt „Allgemeines“ werden alle wesentlichen Informationen, die den Kontext der Zeitaufnahme definieren, dokumentiert. Dazu gehören der übergeordnete Ablauf, wie etwa die Arbeitsplatzvorbereitung oder das Bohren, das Datum und die Startzeit der Zeitaufnahme, Name des Praxispartners, besondere Umgebungsbedingungen sowie die Soll- und Ist-Daten zur Gesamtleistung. Ergänzend werden Anzahl, Namen und Alter der beteiligten Mitarbeiter dokumentiert, um bei Bedarf zusätzliche Informationen einholen zu können. Im Abschnitt „Arbeitssystem“ werden spezifische Details zur Beschaffenheit des Arbeitssystems festgehalten. Diese Angaben dienen dazu, die Rahmenbedingungen der Untersuchung zu dokumentieren und die Nachvollziehbarkeit der Arbeitsabläufe sicherzustellen. Im Abschnitt „Ablauf-/ und Zeitaufnahme“ werden die einzelnen Ablaufabschnitte im Detail erfasst. Hier werden die Nummerierung und Bezeichnung der Abschnitte, die Anzahl der beteiligten Mitarbeiter sowie die gemessene Ist-Einzelzeit eingetragen. Darüber hinaus bietet der Bogen die Möglichkeit, außergewöhnliche Ereignisse mit einer zusätzlichen Zeitanzeige zu berücksichtigen. Die Bezugsmenge (Bez.-menge), also die Anzahl der erfolgreich erstellten Bohrlöcher, wird ebenfalls vermerkt. Eine Spalte für Notizen schafft Raum für weitere Erläuterungen zu besonderen Bedingungen oder Auffälligkeiten, die während eines Ablaufabschnitts beobachtet wurden.

Die im Rahmen der Zeitaufnahme erfassten und analysierten *Ablaufabschnitte* konzentrieren sich gemäß Abgrenzung A2 aus Kap. 1.2 ausschließlich auf den eigentlichen Bohrprozess. Rüsttätigkeiten sowie zusätzliche, zur Montage gehörende Ablaufabschnitte wie Dübeln, Schlagschrauben und Montieren wurden zwar im Sinne einer umfassenden Dokumentation erfasst, um einen ganzheitlichen Überblick über die relevanten Arbeitsabläufe und deren Zeitaufwand zu ermöglichen, jedoch in der späteren Auswertung nicht weiter berücksichtigt.

Für die Zeitaufnahmen wurde die Anzahl der erfolgreich erstellten Bohrlöcher als *Bezugsmenge* festgelegt, da sie eine zentrale Erfolgskennzahl für den Bohrprozess darstellt.

Gemäß Abgrenzung A1 aus Kap. 1.2 liegt der Fokus dieser Arbeit nicht auf einer umfassenden Erhebung der *Einflussgrößen*. Dennoch wurden die während der Zeitaufnahme beobachteten Einflussfaktoren dokumentiert, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen. Ziel war es, für jeden Ablaufabschnitt relevante Einflussgrößen zu identifizieren und, soweit möglich, zu quantifizieren, um die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der erhobenen Daten zu gewährleisten. Besonders hervorzuheben ist die eigens definierte Einflussgröße „zusätzliche Bohrungen“, die Bohrvorgänge umfasst, die beispielsweise aufgrund von Bewehrungstreffern⁴ oder anderen Hindernissen abgebrochen werden mussten und somit nicht in die Bezugsmenge der erfolgreich erstellten Bohrlöcher einfließen. Darüber hinaus werden die erfassten Einflussgrößen in Kap. 5.3. verwendet, um einen standardisierten Vergleichsprozess zu entwickeln, der eine objektive Gegenüberstellung des manuellen und des semi-autonomen Bohrprozesses ermöglichen soll.

Eine *Leistungsgradbewertung* wurde in dieser Arbeit bewusst nicht vorgenommen, da hierfür fundierte Praxiserfahrung notwendig wäre, die durch die Rahmenbedingungen dieser Bachelorarbeit nicht gewährleistet werden konnte. Stattdessen wurde aufgrund der Erfahrung des Mitarbeiters und seiner Vertrautheit mit der Baustelle ein durchschnittlicher Leistungsgrad von $\bar{L} = 100 \%$ angenommen. Dadurch wird sichergestellt, dass die erhobenen Zeiten nicht durch fehlerhafte subjektive Einschätzungen verzerrt werden und die Datengrundlage für die Analyse objektiv bleibt.

4.3.1 Manueller Bohrprozess

Die Zeitaufnahmen des manuellen Bohrprozesses wurden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt und umfassten drei separate Messungen: eine am 08.05.2023 sowie zwei am 09.05.2023. Durch die Verteilung der Messungen auf mehrere Zeitpunkte sollte ein möglichst breites und repräsentatives Bild des Bohrprozesses gewonnen werden, um potenzielle Schwankungen und unterschiedliche Arbeitsbedingungen besser auszugleichen. Die Original-Zeitaufnahmebögen dieser Aufnahme sind in Abb. A2.1 bis Abb. A2.17 im Anhang 2 abgebildet.

Eine Besonderheit weist die Zeitaufnahme vom 09.05.2023 (1) auf, die mit dem Arbeitsbeginn der Mitarbeiter vor Ort startet. Der Beginn dieser Messung umfasst daher die vorbereitenden Rüsttätigkeiten vor dem eigentlichen Ausführen, bevor die Erfassung auf die Tätigkeiten nach dem Ausführen übergeht. Alle anderen Zeitaufnahmen beschränken sich ausschließlich auf das Ausführen.

Die Gesamtdauer der erfassten Zeiten beträgt 414:44 Min (41473,33 HM), die sich auf die drei Zeitaufnahmen wie folgt verteilen:

- 08.05.2023: 247:49 Min (24781,67 HM),
- 09.05.2023 (1): 102:43 Min (10271,67 HM),
- 09.05.2023 (2): 64:12 Min (6420,00 HM).

⁴ *Bewehrungstreffer*: Ein Bewehrungstreffer tritt auf, wenn beim Bohren in Beton eine Bewehrung – also eine im Beton eingebrachte Stahllarmierung – getroffen wird. Dies kann zu Verzögerungen im Arbeitsprozess führen und erfordert gegebenenfalls den Einsatz spezieller Bohrer oder eine Änderung der Bohrposition.

Da im Rahmen dieser Zeitaufnahmen auch montagebezogene Tätigkeiten wie Dübeln, Schlagschrauben und Montieren erfasst wurden, wurden diese Abschnitte für die abschließende Analyse herausgerechnet. Nach der Bereinigung beträgt die Gesamtdauer der relevanten Zeitaufnahmen 340:50 Min (34083,33 HM), verteilt auf die drei einzelnen Messungen wie folgt:

- 08.05.2023: 207:38 Min (20763,33 HM),
- 09.05.2023 (1): 83:29 Min (8348,33 HM),
- 09.05.2023 (2): 49:43 Min (4971,67 HM).

Insgesamt dokumentierte diese Erhebung 84 erfolgreich abgeschlossene Bohrlöcher sowie 14 zusätzliche Bohrungen (Zus. B.). Die digitalisierten Daten der Zeitaufnahmen stehen zur weiteren Analyse in Tab. A2.1 bis Tab. A2.5 im Anhang 2 zur Verfügung.

4.3.2 Semi-autonomer Bohrprozess

Die Zeitaufnahmen des manuellen Bohrprozesses wurden an drei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt und umfassten fünf separate Messungen: eine am 23.11.2022, zwei am 24.11.2022 und zwei am 25.11.2022. Die Original-Zeitaufnahmebögen dieser Aufnahmen sind in Abb. A2.18 bis Abb. A2.34 im Anhang 2 abgebildet.

Diese Zeitaufnahmen weisen ebenfalls einige Besonderheiten auf. So konzentrierte sich die Messung vom 24.11.2022 (2) ausschließlich auf nachbereitende Rüsttätigkeiten nach dem Ausführen, während die Messung vom 25.11.2022 (1) die vorbereitenden Rüsttätigkeiten vor dem Ausführen erfasste. Alle anderen Zeitaufnahmen dokumentieren ausschließlich Tätigkeiten nach dem Ausführen.

Die Gesamtdauer der erfassten Zeiten beläuft sich auf 710:46 Min (71076,67 HM) und verteilt sich wie folgt auf die fünf Messungen:

- 23.11.2022: 104:54 Min (10490,00 HM),
- 24.11.2022 (1): 334:36 Min (33460,00 HM),
- 24.11.2022 (2): 15:47 Min (1578,33 HM),
- 25.11.2022 (1): 27:16 Min (2726,67 HM),
- 25.11.2022 (2): 228:13 Min (22821,67 HM).

Insgesamt wurden während dieser Erhebung 429 erfolgreich abgeschlossene Bohrlöcher sowie 65 Zus. B. dokumentiert. Die digitalisierten Daten der Zeitaufnahmen stehen zur weiteren Analyse in Tab. A2.6 bis Tab. A2.12 im Anhang 2 zur Verfügung.

4.4 Arbeitssysteme

In diesem Kapitel werden die Arbeitssysteme der Prozesse ‚Manueller Bohrprozess‘ und ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ näher beschrieben. Die Analyse orientiert sich an Schritt 2 des REFA-Standardprogramms zur

Datenermittlung und Schritt 6 des REFA-Standardprogramms zur Zeitaufnahme. Ziel dieser Betrachtung ist es, die strukturellen Rahmenbedingungen sowie die spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Arbeitsumgebung zu erfassen. Dabei stehen sowohl die baulichen Gegebenheiten als auch die organisatorischen und technischen Voraussetzungen im Fokus, die die Durchführung der Bohrprozesse maßgeblich beeinflussen. Diese detaillierte Darstellung bildet die Grundlage, um die beiden Arbeitssysteme miteinander zu vergleichen und die Einflüsse unterschiedlicher Bedingungen auf die Prozessabläufe sowie die daraus resultierenden Zeitwerte zu bewerten.

4.4.1 Manueller Bohrprozess

Die Zeitaufnahmen für den manuellen Bohrprozess wurden auf der Baustelle des neuen Logistikzentrums von Levi Strauss & Co. im Industriepark „Große Heide Wulfen“ in Dorsten durchgeführt. Dieses Bauvorhaben umfasst ein vollautomatisiertes Distributionszentrum, das auf einer Fläche von etwa 75.595 m² die logistische Versorgung mit etwa 55 Millionen Artikeln in ganz Europa sicherstellen soll. Die Anlage wird künftig von vier festen Mitarbeitern sowie bis zu 650 Arbeitskräften für Value Added Services betrieben. Zum Zeitpunkt der Zeitaufnahmen war der Rohbau des Zentrums abgeschlossen und der Innenausbau bereits weit fortgeschritten, wobei mehrere Gewerke parallel tätig waren. Die Baustelle und die durchgeführten Arbeiten sind exemplarisch in Abb. A1.24 bis Abb. A1.28 im Anhang 1 dargestellt. Die MRA-Montagen GmbH aus Roßtal führte im Auftrag der PohlCon GmbH aus Berlin die Installation der Befestigungssysteme durch und fungierte dabei als Partner für die Zeitaufnahmen.

Die Aufgabe bestand in der Installation der Befestigungssysteme des Herstellers PohlCon GmbH, für die die MRA-Montagen GmbH als Nachunternehmen beauftragt war. Der Auftrag umfasste die vollständige Montage aller Installationssysteme, darunter das Bohren von etwa 4.000 Löchern für M10-Dübel. Diese Bohrungen dienten der späteren Befestigung von Kabelrinnen für die Elektroinstallation. Entsprechend den Vorgaben der Elektroplanung wurden jeweils zwei Bohrungen in einem Abstand von 1,5 m entlang der Trassenführung in die Decke gesetzt.

Der *Arbeitsablauf* konzentrierte sich primär auf die Deckenbohrungen. Der Arbeitsprozess bestand aus unterschiedlichen Ablaufabschnitten, die direkt oder indirekt mit den Bohrungen zusammenhingen. Wurde bei einer Bohrung ein Bewehrungstreffer festgestellt, wurde die Bohrung abgebrochen und in einer leicht versetzten Position erneut durchgeführt. Diese nicht abgeschlossenen Bohrungen wurden in der Zeitaufnahme als Zus. B. markiert.

Die Eingabe im Arbeitssystem des manuellen Bohrprozesses erfolgte anhand zweidimensionaler Plandateien, die als DIN A0-gedruckte Pläne vorlagen. Diese Pläne enthielten den Grundriss des Gebäudes sowie die vorgesehenen Elektrotrassen und Befestigungspunkte. Neben den Planunterlagen umfasste die Eingabe auch die benötigten Materialien, insbesondere 10 mm Bohrer und Befestigungselemente.

Die *Ausgabe* des Auftrags bestand in der vollständig montierten Kabeltrasse einschließlich der Befestigungselemente, die als Basis für die anschließenden Elektroinstallationen dienen sollten. Zum Zeitpunkt der Zeitaufnahme lag jedoch eine Zwischenausgabe vor, bei der alle während der Zeitaufnahme zu bohrenden Bohrlöcher

bereits fertiggestellt waren und ein Großteil der entsprechenden Dübel sowie Teile der Befestigungssysteme installiert worden waren.

Der Mensch als zentrale Akteur im manuellen Bohrprozess übernahm sämtliche Tätigkeiten der Zeitaufnahme, von der Positionsbestimmung bis zur Bohrung selbst. Die Arbeiten wurden von einem bis zwei erfahrenen Monteuren der MRA-Montagen GmbH ausgeführt. Die beteiligten Mitarbeiter waren 53 und 44 Jahre alt, verfügten über umfassende Berufserfahrung in der Industriemontage und befanden sich beide in einer guten körperlichen Verfassung.

Die Betriebsmittel umfassten eine Kombination aus Fahrzeugen, Arbeitsbühnen und Werkzeugen, die für den manuellen Bohrprozess erforderlich waren. Der Transport zur Baustelle erfolgte mit einem Mercedes Sprinter Mixto, der ausreichend Platz für sowohl die Mitarbeiter als auch das notwendige Material und Werkzeug bot. Die Arbeiten in der Decke wurden von einer elektrischen Scherenarbeitsbühne aus durchgeführt, die eine flexible Arbeitshöhe ermöglichte und über ein Bedienpult von der Plattform aus gesteuert wurde. Aus Sicherheitsgründen war das Tragen eines Auffanggurts vorgeschrieben, der an der Arbeitsbühne befestigt wurde. Die Bohrarbeiten wurden mit einem Hilti Akku-Bohrhammer TV 6-A22 und einem 10 mm Bohrer durchgeführt, während für die Befestigung von Dübeln ein Hilti Akku-Schlagschrauber SIW 6AT 22 zum Einsatz kam. Zur Ausleuchtung des Arbeitsbereichs, insbesondere in schwach beleuchteten Bereichen, wurde ein Hilti Akku-Baustrahler SL 6-22 verwendet. Zusätzlich gehörten eine Kabeltrommel sowie weiteres Handwerkzeug wie Hammer und Gliedermaßstab zur Ausrüstung der Mitarbeiter.

Der Arbeitsplatz befand sich auf der Scherenarbeitsbühne im Inneren der Logistikhalle, die auf eine Höhe von etwa 8 m ausgefahren wurde. Von dieser Plattform aus wurden die Bohrungen über Kopf in die Stahlbetondecke gesetzt. Die Decke wies häufig 40 bis 60 cm hohe Unterzüge auf und war mit bereits installierten Sprinkleranlagen, Lüftungen und Beleuchtungseinrichtungen anderer Gewerke versehen. Werkzeuge wie der Bohrhammer, der Schlagschrauber und der Hammer lagen aus Sicherheitsgründen auf dem Boden der Plattform, während der Gliedermaßstab in der Hosentasche des Mitarbeiters griffbereit war. Das Akku-Ladegerät und Ersatzakkus befanden sich auf dem Hallenboden und waren über eine Kabeltrommel mit Strom versorgt. Der Hallenboden war eben und größtenteils frei von Hindernissen, jedoch mussten gelegentlich umherstehende Materialien und Arbeitsbühnen anderer Gewerke umfahren werden. Während der gesamten Arbeit war das Tragen persönlicher Schutzausrüstung (PSA) vorgeschrieben, bestehend aus Schutzhelm, Warnweste, langer Arbeitskleidung, Sicherheitsschuhen der Klasse S3, Handschuhen, einer Schutzbrille und einem Gehörschutz. Der Auffanggurt war mit einem Sicherheitshaken an der Arbeitsbühne verankert.

Die Arbeitsumgebung war durch parallele Tätigkeiten anderer Gewerke geprägt, bot jedoch durch die großzügige Fläche der Halle ausreichend Platz, sodass es nur gelegentlich zu Überschneidungen mit anderen Teams kam.

Die Umwelteinflüsse spielten in diesem Innenbereich eine untergeordnete Rolle, da die Baustelle durch die geschlossene Außenhülle weitgehend von äußeren Witterungsbedingungen abgeschirmt war. Die

Temperaturen lagen zwischen 13 und 19 °C, wobei die Halle aufgrund der fehlenden Heizung etwas kühler war. Die Beleuchtung war in den meisten Arbeitsbereichen ausreichend, wobei während der Zeitaufnahme am 09.05.2023 (1) zusätzlich mobile Beleuchtung eingesetzt wurde.

4.4.2 Semi-autonomer Bohrprozess

Die Zeitaufnahmen des semi-autonomen Bohrprozesses erfolgten im neuen Zentrum für Stoffwechselforschung an der Universitätsklinik Köln. Dieses Pilotprojekt zur Integration von BIM umfasst einen fünfgeschossigen Laborneubau, der mit einer Fläche von 7.240 m² zur Erforschung von Stoffwechselerkrankungen dienen soll. Die Baustelle befand sich zum Zeitpunkt der Zeitaufnahme im Rohbau; die Außenhülle war nicht vollständig geschlossen, sodass Witterungseinflüsse auf die Innenräume wirkten. Die Baustelle und die durchgeführten Arbeiten sind exemplarisch in Abb. A1.29 bis Abb. A1.33 im Anhang 1 dargestellt. Partner für die Zeitaufnahmen war die MD Haustechnik GmbH aus Köln, die im Auftrag der Nessler Bau GmbH die Bohrarbeiten durchführte.

Die Aufgabe der MD Haustechnik GmbH bestand in der Durchführung von rund 15.000 Deckenbohrungen in den fünf Etagen des Gebäudes für die Befestigungselemente der haustechnischen Anlagen. Diese Bohrungen mussten sich an den Planungen von Hilti für die Gesamtausstattung der technischen Gewerke orientieren und variierten im Bohrdurchmesser zwischen 6, 8 und 12 mm.

Der Arbeitsablauf umfasste sämtliche Tätigkeiten, die der Jaibot-Bohrroboter und sein Jaibot-Operator ausführten. Bei einem Bewehrungstreffer während des Bohrvorgangs brach der Jaibot die Bohrung automatisch ab und markierte diese in der Jaibot-Cloud als „Abgebrochen“. Anders als beim manuellen Bohrprozess wurden die Bohrpunkte nicht nach Gewerken sortiert, sondern in zusammenhängenden Bereichen gebohrt.

Die Eingaben für den Arbeitsprozess umfasste BIM-Bohrdateien, die nach Geschossen und Arbeitsbereichen unterteilt waren, sowie ein Messkonzept, das in Zusammenarbeit mit einem Vermessungsingenieur und Hilti erstellt wurde. Als benötigte Materialien kamen Bohrer mit Durchmessern von 6, 8 und 12 mm, Fett zur Wartung, Staubbeutel und Markierungsfarbe zum Einsatz.

Die Ausgabe der Bohrarbeiten umfasste die vollständig gebohrten Löcher, die sowohl durch eine farbliche Markierung an der Decke als auch in der Jaibot-Cloud dokumentiert wurden. Zudem wurden abgebrochene Bohrvorgänge, beispielsweise aufgrund von Bewehrungstreffern, erfasst und entsprechend als unfertig gekennzeichnet.

Der Mensch, der in diesem Prozess als Jaibot-Operator tätig war, verfügte über mehrjährige Erfahrung in der technischen Gebäudeausrüstung. Der Mitarbeiter war zwischen 20 und 30 Jahre alt und körperlich fit, mit hoher technischer Versiertheit.

Die Betriebsmittel für den semi-autonomen Bohrprozess umfassten den Bohrroboter Jaibot von Hilti, der vom Jaibot-Operator über eine Fernsteuerung bedient wurde. Die Steuerung des Bohrvorgangs erfolgte über das Tablet PLC 400, das die Bohrdaten aus der Jaibot-Cloud lud und nach Abschluss der Bohrungen wieder

zurückspiegelte. Mithilfe der PLT-Station und der an den Wänden angebrachten Reflektormarken konnte der Jaibot exakt im Raum lokalisiert werden. Für die Nachkontrolle der Bohrlöcher, insbesondere deren Tiefe, nutzte der Jaibot-Operator eine Messlanze. Die Aufbewahrung und der sichere Transport des Jaibots erfolgten in einer speziell dafür vorgesehenen Transportbox. Als Bohrer kamen Modelle mit Durchmessern von 6, 8 und 12 mm zum Einsatz, begleitet von Verbrauchsmaterialien wie Markierungsfarbe, Fett und Staubbeutel.

Der *Arbeitsplatz* des Jaibots erstreckte sich über die gesamte Etage im Inneren des Zentrums für Stoffwechselforschung und befand sich auf einem Rohbetonboden. Der Bohrroboter führte die Bohrungen in einer Höhe von 4,6 m an der glatten Stahlbetondecke durch, die weder Unterzüge noch Installationen aufwies, abgesehen von vereinzelt Elektroleitungen. Der Arbeitsbereich war frei von Hindernissen, abgesehen von wenigen schweren Fensterrahmen, die fest an bestimmten Stellen platziert waren und aufgrund ihres Gewichts nicht bewegt werden konnten. Der Jaibot-Operator des Jaibots trug während der gesamten Zeitaufnahmen die gesetzlich vorgeschriebene PSA, einschließlich Schutzhelm, Warnweste, langer Arbeitskleidung und Sicherheitsschuhen der Klasse S3. Die Arbeitshöhe und das offene Umfeld im Gebäude erlaubten es dem Jaibot-Operator, den Roboter ohne Einschränkungen zu bedienen.

Die Arbeitsumgebung war während der Zeitaufnahme frei von anderen Gewerken, sodass es zu keinen Überschneidungen der Tätigkeiten kam.

Die *Umwelteinflüsse* wirkten sich durch die noch nicht vollständig geschlossene Gebäudehülle auf den Innenraum der Baustelle aus. Die Außentemperaturen lagen zwischen 6 und 13 °C. An zwei Tagen war leichter Niederschlag vorhanden, und das Tageslicht wurde durch mobile Baustrahler ergänzt, insbesondere bei den abends durchgeführten Aufnahmen am 24.11.2022 und 25.11.2022 (2) Aufgrund der elektrischen Betriebsweise des Jaibots mit seiner Staubabsaugung waren die Lärm- und Staubbelastung im Arbeitsbereich sehr gering.

4.5 Ablaufanalysen

In diesem Kapitel wird die praktische Ablaufanalyse der Prozesse ‚Manueller Bohrprozess‘ und ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ beschrieben. Die Analyse orientiert sich an Schritt 3 und 4 des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung sowie den Schritten 7 und 8 des REFA-Standardprogramms zur Zeitaufnahme. Ziel ist es, die in den Zeitaufnahmen erfassten Ablaufdaten systematisch auszuwerten und den jeweiligen Kategorien und Ablaufarten zuzuordnen. Diese Betrachtung liefert ein umfassendes Verständnis der Prozessabläufe, ermöglicht die Identifikation spezifischer Anforderungen und Optimierungspotenziale und bildet zugleich die wesentliche Grundlage für den ablaufspezifischen Vergleich der beiden Bohrprozesse.

4.5.1 Manueller Bohrprozess

Alle in der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ beobachteten Ablaufabschnitte sind in Tab. A3.1 bis Tab. A3.2 im Anhang 3 dokumentiert. Dazu zählen auch die zusätzlich aufgezeichneten Ablaufabschnitte, die bereits zur Montage gehören, wie Dübeln, Schlagschrauben und Montieren. Die Tabellen bieten eine Übersicht über

alle aufgenommenen Ablaufabschnitte mit den jeweiligen Start- und Endereignissen sowie einer kurzen Beschreibung der Aktivitäten, die innerhalb des Ablaufabschnitts durchgeführt wurden.

Im ersten Schritt der Ablaufanalyse wurden die ursprünglich analogen Zeitaufnahmebögen digitalisiert und in Excel-Tabellen überführt. Diese digitalen Tabellen enthalten sämtliche Rohdaten der Zeitaufnahmen und bieten die Möglichkeit für weiterführende Ergänzungen und Auswertungen. Beispielsweise können zusätzliche Zuordnungen wie die der Ablaufarten sowie eine farbliche Kodierung vorgenommen werden. Für den manuellen Bohrprozess wurde dabei jeder Abschnitt einer Ablaufart nach dem Ausführen und dem Menschen (siehe Kap. 3.4.3) zugeordnet.

Diese Zuordnungen wurden zunächst in einer pauschalen Kategorisierung versucht, wie es in der REFA-Literatur üblich ist. Jedoch zeigte sich, dass eine starre Klassifikation für den hier untersuchten Kontext weniger geeignet ist. In einigen Fällen stellte sich heraus, dass ein Ablaufabschnitt je nach Situation unterschiedlichen Ablaufarten zugeordnet werden muss. So kann der Abschnitt „Scherenarbeitsbühne herunterfahren“ während der Rüstphase als rüstbezogene Tätigkeit (MZR) klassifiziert werden, während er im Kontext des Ausführens eher als Nebentätigkeit (MN) betrachtet wird. Um dieser Flexibilität gerecht zu werden und den situativen Kontext zu berücksichtigen, erfolgte die Zuordnung daher individuell in der digitalen Zeitaufnahmetabelle, sodass die Ablaufarten spezifisch und kontextbezogen bestimmt werden konnten.

Außerdem wurde zunächst versucht, jedem Ablaufabschnitt sowohl eine Ablaufart nach dem Menschen (M) als auch nach dem Betriebsmittel (B) zuzuweisen. Dieses Vorgehen erwies sich jedoch sowohl beim manuellen als auch beim semi-autonomen Bohrprozess als wenig praktikabel. Beim manuellen Prozess war unklar, welches Betriebsmittel – ob Bohrhammer, Scherenarbeitsbühne oder anderes Werkzeug – als Bezugspunkt für die Kategorisierung dienen sollte. Analog dazu hätte der semi-autonome Bohrprozess erfordert, auch menschliche Aktivitäten zu berücksichtigen, obwohl der Fokus während der Aufnahme primär auf der Roboterarbeit lag. Diese anfänglich versuchte doppelte Zuordnung führte zu einem uneinheitlichen und weniger intuitiven Schema. Daher wurde entschieden, die Kategorisierung beim manuellen Bohrprozess auf die Ablaufarten nach dem Menschen und beim semi-autonomen Bohrprozess auf Ablaufarten nach dem Betriebsmittel zu beschränken.

Um die zeitlichen Abläufe und Kontexte zu visualisieren, wurde in der digitalen Tabelle eine farbliche Kodierung vorgenommen. So sind wiederkehrende Bohrzyklen in verschiedenen Blautönen eingefärbt, um aufeinanderfolgende Zyklen klar abzugrenzen. Tätigkeiten, die keine direkten Bestandteile des Bohrzyklus sind – wie zusätzliche Tätigkeiten (MZ), ablaufbedingte Unterbrechungen (MA), störungsbedingte Unterbrechungen (MS), persönlich bedingte Unterbrechungen (MP) und erholungsbedingte Unterbrechungen (ME) – sind grau markiert. Alle Rüsttätigkeiten erhielten eine rote Markierung, während nicht weiter untersuchte oder nicht eindeutig beobachtbare Tätigkeiten (MX) weiß gekennzeichnet sind. Diese farbliche Unterscheidung soll beim Erkennen von Schwerpunkten und Mustern in der Ablauffolge helfen.

Die Zuordnung der Ablaufarten und die farbliche Kennzeichnung der Ablaufabschnitte sind als Auszug aus der digitalen Zeitaufnahmetabelle in Abb. 26 dargestellt. Eine vollständige Übersicht über die digitalen Zeitaufnahmedaten sind in Tab. A2.1 bis Tab. A2.5 im Anhang 2 zu finden.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.-menge	Zus. B.	Einfluss-größe [Einheit]	Einfluss-größe [Wert]	MA
Koordinationsgespräch	MZR	-	01:48	180,00						2
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:21	135,00				m	6	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:51	85,00	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	01:40	166,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:00	100,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:48	80,00				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:15	25,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:31	51,67				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:23	38,33				m	2	1
Messen und markieren	MN	-	01:27	145,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:03	105,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1

Abb. 26 Auszug aus den digitalisierten Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Zur besseren visuellen Vergleichbarkeit der Ablauffolge beider Prozesse wurde im Rahmen dieser Arbeit eine eigene Darstellungsform der Zeitaufnahmedaten in Form eines *Zeitbands* entwickelt (siehe Abb. Abb. A3.1 im Anhang 3). Diese Darstellung basiert auf der farblichen Kennzeichnung der Ablaufabschnitte und ermöglicht eine intuitive Erfassung von Prozessstrukturen. Alle beobachteten Ablaufabschnitte sind als Farbböcke angeordnet, die ihre jeweilige Dauer und Ablaufkategorien widerspiegeln. Das Farbschema folgt dabei konsequent der eingangs beschriebenen Kategorisierung. Das Zeitband ist in mehrere Abschnitte unterteilt, die den einzelnen Zeitaufnahmen entsprechen. Die Darstellung wurde bewusst so konzipiert, dass sie eine übersichtliche und leicht interpretierbare Visualisierung der Prozessdynamik bietet. Um die Lesbarkeit zu erhöhen, verläuft die Zeit in der ersten Zeile von links nach rechts und wird in der darunterliegenden Zeile weitergeführt. Diese Anordnung bietet eine klare visuelle Übersicht des Prozessverlaufs, ohne detaillierte Zeiteinheiten zu zeigen. Im Unterschied zu den detaillierten Zeitaufnahmedaten verfolgt das Zeitband vor allem den Zweck einer qualitativen Darstellung. Es dient weniger der exakten Messung als vielmehr der visuellen Einschätzung von Wiederholungen, Häufigkeiten und Zeitintervallen innerhalb der Ablaufkategorien, wodurch der Gesamtablauf auf einen Blick nachvollziehbar werden soll. Damit ergänzt das Zeitband die klassischen tabellarischen Darstellungen der REFA-Zeitaufnahme um eine alternative Betrachtungsweise, die insbesondere für den Vergleich beider Prozesse von Vorteil sein kann. Das Zeitband des manuellen Bohrprozesses weist im Unterschied zum semi-autonomen Bohrprozess zusätzliche weiße Felder auf, die über das ursprünglich definierte Farbschema hinausgehen und nicht erkennbare oder zusätzliche Ablaufabschnitte kennzeichnen.

Der *Bohrzyklus* stellt den zentralen und wiederkehrenden Kernprozess des manuellen Bohrprozesses dar. Die Abb. 27 zeigt diesen Zyklus in seiner optimalen, unterbrechungsfreien Form und bildet dabei die wesentlichen Schritte des Bohrvorgangs ab. Für die Visualisierung wurde eine vereinfachte Prozessgrafik gewählt, bei der die Ablaufabschnitte als farbige Quadrate dargestellt sind – angelehnt an das zuvor beschriebene Farbschema. Pfeile zwischen den Quadraten veranschaulichen die logische Reihenfolge der Abschnitte. Zusätzlich enthält die Darstellung eine graue Raute als Entscheidungsoperator, der mögliche Verzweigungen bei einem Bewehrungstreffer während des Bohrvorgangs symbolisiert. Falls ein Bewehrungstreffer auftritt, führt der Ablauf über einen alternativen Pfad zum Ablaufabschnitt „Bohren (Zus. B.)“, bevor er später wieder im Hauptprozess mündet.

Obwohl die Abschnitte Dübeln, Montieren und Schlagschrauben nicht primärer Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind, wurden sie als ergänzende, wiederkehrende Schritte im Bohrzyklus integriert, um die vollständige Ablaufstruktur des Zyklus abzubilden.

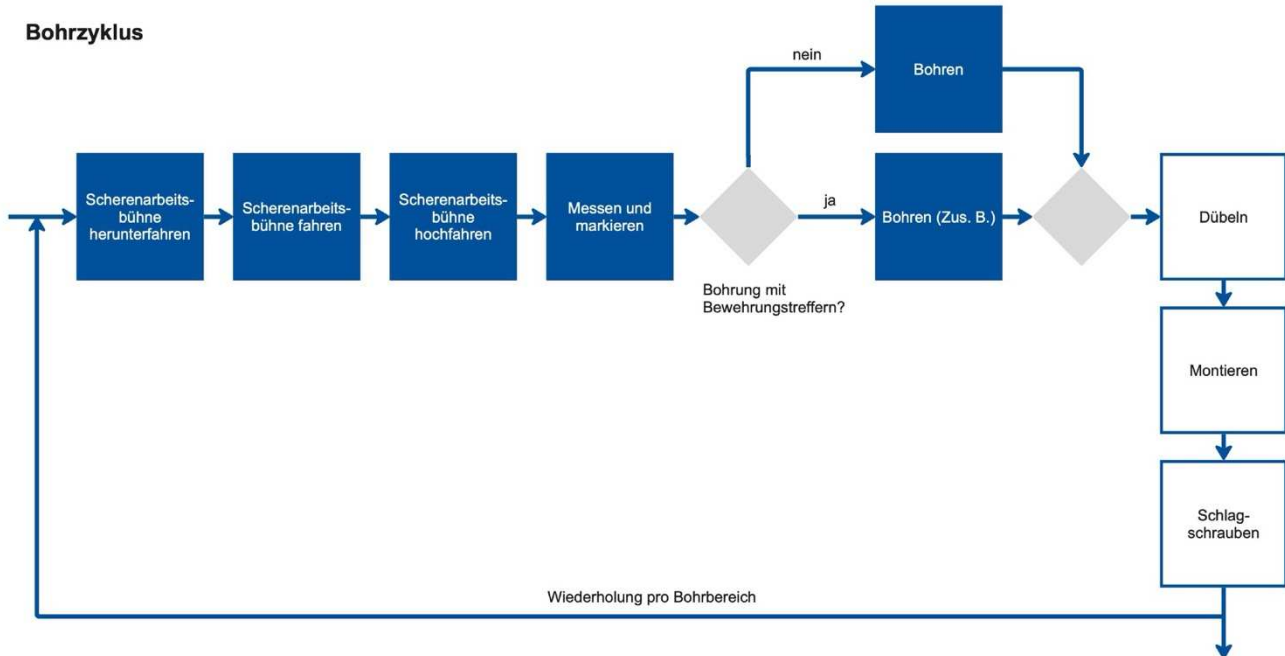


Abb. 27 Prozessdarstellung des Bohrzyklus aus der Zeitaufnahme „Manueller Bohrprozess“ (eigene Darstellung).

Im Folgenden wird die *Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den jeweiligen Ablaufarten* erläutert und in den Abb. 28 bis Abb. 31 veranschaulicht. Die farbliche Kennzeichnung folgt dabei dem oben beschriebenen Schema. Zusammenhängende Ablaufabschnitte, die in einer logischen Reihenfolge stehen, sind weiterhin mithilfe von Pfeilen als fortlaufende Ablauffolge gekennzeichnet. Wenn die Einzelzeit eines Ablaufabschnitts wesentlich durch eine Bezugsmenge oder Einflussgröße beeinflusst wird, ist diese unter dem jeweiligen Ablaufabschnitt angegeben. Da die aufgenommenen Rüsttätigkeiten nicht Gegenstand dieser Untersuchung sind, wurden sie nicht nach spezifischen Ablaufarten des Rüstens zugeordnet, sondern in funktionale Kategorien eingeteilt, um ihre Bedeutung für die Ausführung besser zu verstehen.

Die folgende Abb. 28 zeigt die Ablaufabschnitte, die innerhalb der Zeitaufnahme „Manueller Bohrprozess“ den Ablaufarten Haupttätigkeit (MH) und Nebentätigkeit (MN) zugeordnet wurden.

Haupttätigkeiten (MH)



Nebentätigkeiten (MN)



Abb. 28 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten MH und MN, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Die folgende Abb. 29 zeigt die Ablaufabschnitte des manuellen Bohrprozesses, die ergänzenden Tätigkeiten und Unterbrechungen zugeordnet sind, welche nicht den Haupt- und Nebentätigkeiten oder den Rüsttätigkeiten angehören. Dazu zählen die Ablaufarten zusätzliche Tätigkeit (MZ), störungsbedingtes Unterbrechen (MS), persönlich bedingtes Unterbrechen (MP) und erholungsbedingtes Unterbrechen (ME). Da während der Zeitaufnahme keine Unterbrechungen auftraten, die durch den Ablauf selbst bedingt waren, wurde keinem Ablaufabschnitt die Ablaufart ablaufbedingtes Unterbrechen (MA) zugeordnet.

zusätzliche Tätigkeit (MZ)



störungsbedingtes Unterbrechen (MS)



persönlich bedingtes Unterbrechen (MP)



erholungsbedingtes Unterbrechen (ME)

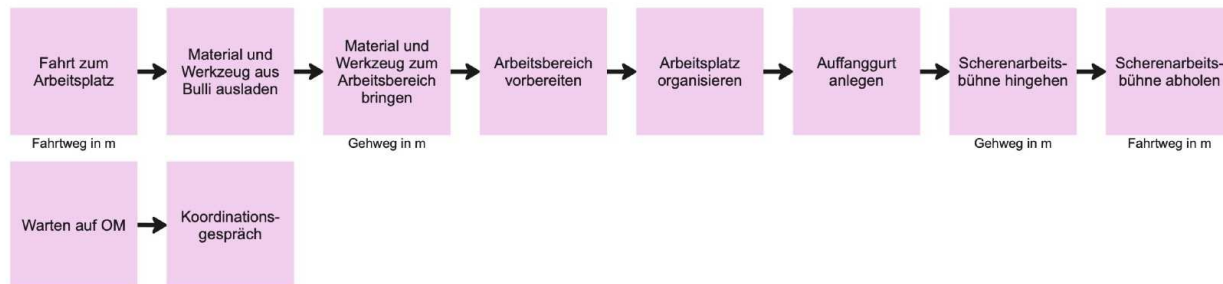


Abb. 29 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten MZ, MS, MP und ME, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Die folgende Abb. 30 zeigt die im Rahmen des manuellen Bohrprozesses erfassten Rüsttätigkeiten, die in die Kategorien „Rüsten vor Ausführen“ und „Rüsten während Ausführen“ unterteilt wurden. Ablaufabschnitte, die

dem „Rüsten nach Ausführen“ zugeordnet wären, wurden in dieser Zeitaufnahme nicht erfasst. Diese Kategorisierung ist für den späteren Vergleich der Bohrprozesse nicht direkt von Bedeutung, soll jedoch beim Verständnis des Gesamtprozesses unterstützen. Zudem bietet die Darstellung eine vollständige Übersicht aller aufgenommenen Ablaufabschnitte.

Rüsten vor Ausführen



Rüsten während Ausführen



Abb. 30 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Rüsttätigkeiten vor und während des Ausführens, basierend auf der Zeitaufnahme „Manueller Bohrprozess“ (eigene Darstellung).

In der folgenden Abb. 31 sind jene Ablaufabschnitte dargestellt, die während der Zeitaufnahme erfasst wurden, aber nicht eindeutig erkennbar waren oder nicht zum untersuchten Prozess gehörten, da sie beispielsweise bereits zum Montageprozess zählten, welcher außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Arbeit liegt. Diese Abschnitte wurden entweder als „nicht erkennbar“ (MX) klassifiziert oder der Kategorie „Kein Untersuchungsgegenstand“ zugeordnet.

Nicht erkennbar**Kein Untersuchungsgegenstand**

Abb. 31 Zuordnung der nicht untersuchten Ablaufabschnitte, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Nach der umfassenden Zuordnung der Ablaufabschnitte zu spezifischen Ablaufarten widmet sich die Untersuchung der *Ermittlung der Zeitwerten der einzelnen Ablaufabschnitte*. Der Fokus lag hierbei auf der Analyse der Ist-Einzelzeiten, Gesamtzeiten, mittleren Ist-Einzelzeiten und Soll-Zeiten für jeden Ablaufabschnitt des manuellen Bohrprozesses. Diese Auswertung ergänzt die qualitative Analyse der Ablaufarten durch eine quantitative Betrachtung der Prozesszeiten und legt so eine wesentliche Grundlage für die zeitliche Vergleichbarkeit der Bohrprozesse.

Die Untersuchung folgt der in Kap. 3.5 beschriebenen Methodik zur Auswertung einer Zeitaufnahme. Wie Tab. 1 zeigt, wurden zunächst für jeden Ablaufabschnitt die erfassten Ist-Einzelzeiten (t_i) zu einer Gesamtzeit ($\sum t_i$) summiert. Zusätzlich ermittelten wir den prozentualen Anteil der Zeit jedes Abschnitts an der Gesamtdauer des manuellen Bohrprozesses. Dies spielt für den späteren Vergleich beider Bohrprozesse eine wichtige Rolle. Anschließend wurden die mittlere Ist-Einzelzeit ($\bar{t}_i$) und die Soll-Zeit (t) für jeden Ablaufabschnitt berechnet. Die mittlere Ist-Einzelzeit wurde mit dem angenommenen mittleren Leistungsgrad ($\bar{L}$) von 100 % (Normalleistung) multipliziert, um die Soll-Zeit zu bestimmen. Alle Zeiten werden in dieser Analyse sowohl in mm:ss Min als auch in HM angegeben; alle Zeitanteile sind in % dargestellt. Die Anzahl der Messwerte (n) pro Ablaufabschnitt ermöglicht zusätzlich eine Einschätzung der statistischen Zuverlässigkeit der ermittelten Soll-Zeiten und ist in dieser Analyse von entscheidender Bedeutung.

Ablaufabschnitt	n	$\sum t_i$			$L = \frac{\sum L}{n}$	$\bar{t}_i = \frac{\sum t_i}{n}$		$t = \frac{L}{100\%} \cdot \bar{t}_i$	
		mm:ss	HM	%		mm:ss	HM	mm:ss	HM
Akkutausch Bohrmaschine	1	00:45	75,00	0,2%	100%	00:45	75,00	00:45	75,00
Arbeitsbereich vorbereiten	3	02:33	255,00	0,6%	100%	00:51	85,00	00:51	85,00
Arbeitsplatz organisieren	6	06:07	611,67	1,5%	100%	01:01	101,94	01:01	101,94
Auffanggurt anlegen	1	00:42	70,00	0,2%	100%	00:42	70,00	00:42	70,00
Auffanggurt umhaken	3	01:03	105,00	0,3%	100%	00:21	35,00	00:21	35,00
Bohren	29	25:36	2560,00	6,2%	100%	00:53	88,28	00:53	88,28
Bohren (Zus. B.)	10	30:31	3051,67	7,4%	100%	03:03	305,17	03:03	305,17
Bohrenwechsel	1	00:28	46,67	0,1%	100%	00:28	46,67	00:28	46,67
Fahrt zum Arbeitsplatz	1	03:00	300,00	0,7%	100%	03:00	300,00	03:00	300,00
Dübeln	36	30:29	3048,33	7,4%	100%	00:51	84,68	00:51	84,68
Gespräch	6	02:13	221,67	0,5%	100%	00:22	36,94	00:22	36,94
Hindernis umklettern	1	01:09	115,00	0,3%	100%	01:09	115,00	01:09	115,00
Kabeltrommel verlegen	1	02:13	221,67	0,5%	100%	02:13	221,67	02:13	221,67
Koordinationsgespräch	6	14:23	1438,33	3,5%	100%	02:24	239,72	02:24	239,72
Ladegerät anschließen und Akkutausch Bohrmaschine	1	01:22	136,67	0,3%	100%	01:22	136,67	01:22	136,67
Material holen	1	02:04	206,67	0,5%	100%	02:04	206,67	02:04	206,67
Material und Werkzeug aus Bulli ausladen	1	03:28	346,67	0,8%	100%	03:28	346,67	03:28	346,67
Material und Werkzeug zum Arbeitsbereich bringen	1	03:09	315,00	0,8%	100%	03:09	315,00	03:09	315,00
Messen	11	07:10	716,67	1,7%	100%	00:39	65,15	00:39	65,15
Messen und markieren	40	66:42	6670,00	16,1%	100%	01:40	166,75	01:40	166,75
Mittagspause	1	60:00	6000,00	14,5%	100%	60:00	6000,00	60:00	6000,00
Montieren	17	16:58	1696,67	4,1%	100%	01:00	99,80	01:00	99,80
Nicht beobachtet	3	20:00	2000,00	4,8%	100%	06:40	666,67	06:40	666,67
Pause	5	11:37	1161,67	2,8%	100%	02:19	232,33	02:19	232,33
Scherenarbeitsbühne abholen	1	01:40	166,67	0,4%	100%	01:40	166,67	01:40	166,67
Scherenarbeitsbühne absteigen	6	01:10	116,67	0,3%	100%	00:12	19,44	00:12	19,44
Scherenarbeitsbühne absteigen MA 2	1	00:10	16,67	0,0%	100%	00:10	16,67	00:10	16,67
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	6	01:31	151,67	0,4%	100%	00:15	25,28	00:15	25,28
Scherenarbeitsbühne aufsteigen MA 2	1	00:15	25,00	0,1%	100%	00:15	25,00	00:15	25,00
Scherenarbeitsbühne fahren	51	38:43	3871,67	9,3%	100%	00:46	75,92	00:46	75,92
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	31	14:41	1468,33	3,5%	100%	00:28	47,37	00:28	47,37
Scherenarbeitsbühne hingehen	1	00:42	70,00	0,2%	100%	00:42	70,00	00:42	70,00
Scherenarbeitsbühne hochfahren	33	18:39	1865,00	4,5%	100%	00:34	56,52	00:34	56,52
Scherenarbeitsbühne Plattform verkleinern	1	00:29	48,33	0,1%	100%	00:29	48,33	00:29	48,33
Scherenarbeitsbühne Strom anschließen	1	00:34	56,67	0,1%	100%	00:34	56,67	00:34	56,67
Schlagschrauben	11	04:00	400,00	1,0%	100%	00:22	36,36	00:22	36,36
Warten auf OM	1	12:39	1265,00	3,1%	100%	12:39	1265,00	12:39	1265,00
Warten auf Hindernisse	4	05:49	581,67	1,4%	100%	01:27	145,42	01:27	145,42
Gesamtdauer aller Zeitaufnahmen			414:44		41473,33				

Tab. 1 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Anzahl der Ist-Einzelzeiten, Gesamtzeit, mittlerem Leistungsgrad, mittlerer Ist-Einzelzeit und Soll-Zeit je Ablaufabschnitt (eigene Darstellung).

4.5.2 Semi-autonomer Bohrprozess

Der semi-autonome Bohrprozess wird analog zum zuvor beschriebenen manuellen Bohrverfahren analysiert. Auch hier wurde eine detaillierte Übersicht aller erfassten Ablaufabschnitte erstellt, die jeweiligen Start- und Endereignisse sowie eine kurze Beschreibung der durchgeführten Aktivitäten beinhaltet. Diese Informationen sind in Tab. A3.3 bis Tab. A3.5 im Anhang 3 dokumentiert.

Die analogen Zeitaufnahmedaten wurden, wie bereits beim manuellen Bohrprozess, digitalisiert und in Excel-Tabellen übertragen. Diese digitalen Tabellen enthalten die vollständigen Rohdaten und bieten ebenfalls die Möglichkeit für weiterführende Auswertungen. Entsprechend der Vorgehensweise beim manuellen Prozess wurden auch hier die Ablaufabschnitte individuell Ablaufarten zugeordnet. Beim semi-autonomen Bohrprozess liegt der Fokus jedoch auf den betriebsmittelbezogenen Ablaufarten, passend zur Ausrichtung auf die Arbeitsvorgänge des Roboters, sodass den Ablaufabschnitten hier Ablaufarten nach dem Ausführen und dem Betriebsmittel zugewiesen wurden.

Zur visuellen Strukturierung wurde erneut das bereits beschriebene Farbschema eingesetzt. Unterschiedliche Blautöne heben die einzelnen Bohrzyklen deutlich voneinander ab. Ergänzende Tätigkeiten wie zusätzliche Nutzung (BZ), ablaufbedingtes Unterbrechen (BA), störungsbedingtes Unterbrechen (BS), persönlich bedingtes

Unterbrechen (BP) und erholungsbedingtes Unterbrechen (BE) sind in Grau gehalten. Rüstbezogene Aktivitäten erscheinen in Rot, während nicht erkennbare Ablaufabschnitte (BX) in Weiß dargestellt sind.

Ein Auszug der digitalen Zeitaufnahmedaten mit der Zuordnung und farblichen Kodierung der Ablaufabschnitte für den semi-autonomen Bohrprozess ist in Abb. 32 zu sehen. Eine vollständige Übersicht über die digitalen Zeitaufnahmedaten findet sich in Tab. A2.6 bis Tab. A2.12 im Anhang 2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.-menge	Zus. B.	Einflussgröße [Einheit]	Einflussgröße [Wert]	MA
Jaibot fahren	-	BN	00:35	58,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:34	56,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:58	396,67		5	1	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:42	70,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:25	241,67	Löcher eng beieinander	5	1	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	02:51	285,00						1
Jaibot fahren	-	BN	00:21	35,00				m	0,5	1
MA sucht Fernsteuerung	-	BZ	00:44	73,33	Fernsteuerung verlegt					1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren	-	BH	03:06	310,00		8		Bohrpunkte		1

Abb. 32 Auszug aus den digitalisierten Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Das *Zeitband* des semi-autonomen Bohrprozesses, dargestellt in Abb. A3.2 bis Abb. A3.3 im Anhang 3, zeigt die erfasste Ablauffolge. Die Ablaufabschnitte sind auch hier als durchgehende farbige Blöcke dargestellt, wobei derselbe Farbcode wie beim manuellen Bohrprozess verwendet wird. Im Gegensatz dazu enthält diese Darstellung keine weißen Felder, da im semi-autonomen Bohrprozess keine „nicht erkennbaren“ Ablaufabschnitte oder Abschnitte, die außerhalb des Untersuchungsbereichs liegen, verzeichnet wurden.

Der *Bohrzyklus* des semi-autonomen Bohrprozesses ist in Abb. 33 dargestellt. und folgt der gleichen Farbkodierung und Darstellungsform wie beim manuellen Bohrprozess.

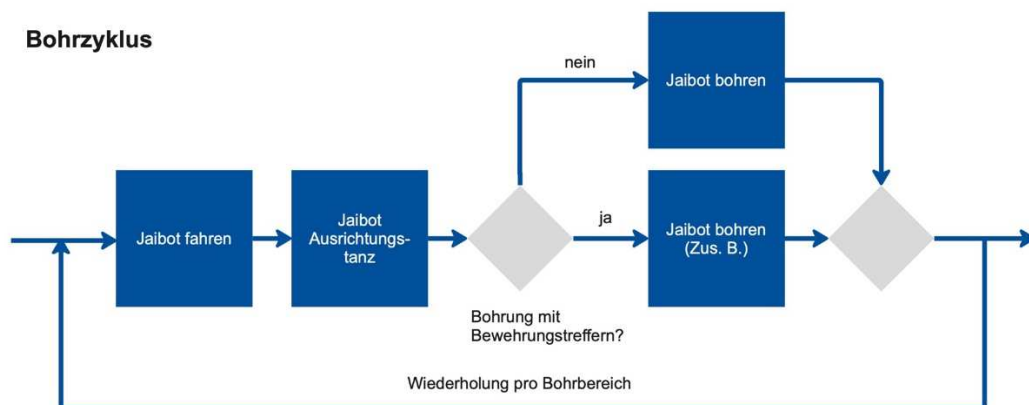


Abb. 33 Prozessdarstellung des Bohrzyklus aus der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Im Folgenden wird, analog zum manuellen Bohrprozess, die *Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den jeweiligen Ablaufarten* des semi-autonomen Bohrprozesses erläutert und in den Abb. 34 bis Abb. 36 veranschaulicht. Die farbliche Kennzeichnung und Strukturierung folgen dabei dem bereits beschriebenen Schema.

Die folgende Abb. 34 zeigt die Ablaufabschnitte, die innerhalb der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ den Ablaufarten Hauptnutzung (BH) und Nebennutzung (BN) zugeordnet wurden.

Hauptnutzung (BH)



Nebennutzung (BN)



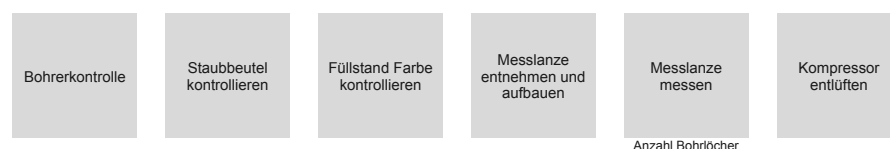
Abb. 34 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten BH und BN, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Die folgende Abb. 35 zeigt die Ablaufabschnitte des semi-autonomen Bohrprozesses, die ergänzenden Nutzungen und Unterbrechungen zugeordnet sind, welche nicht den Ablaufarten Haupt- und Nebennutzungen oder den Rüstvorgängen angehören. Dazu zählen die Ablaufarten zusätzliche Nutzung (BZ), ablaufbedingtes Unterbrechen (BA), störungsbedingtes Unterbrechen (BS), persönlich bedingtes Unterbrechen (BP) und erholungsbedingtes Unterbrechen (BE).

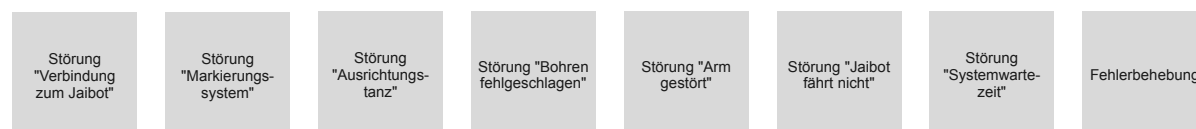
zusätzliche Nutzung (BZ)



ablaufbedingtes Unterbrechen (BA)



störungsbedingtes Unterbrechen (BS)



persönlich bedingtes Unterbrechen (BP)



erholungsbedingtes Unterbrechen (BE)



Abb. 35 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Ablaufarten BZ, BA, BS, BP und BE, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Im Gegensatz zum manuellen Bohrprozess wurden im semi-autonomen Bohrprozess alle Rüsttätigkeiten vor, während und nach dem Ausführen erfasst. Die folgende Abb. 36 zeigt diese Rüstvorgänge und bietet damit eine vollständige Übersicht über die vorbereitenden, unterstützenden und nachbereitenden Tätigkeiten.

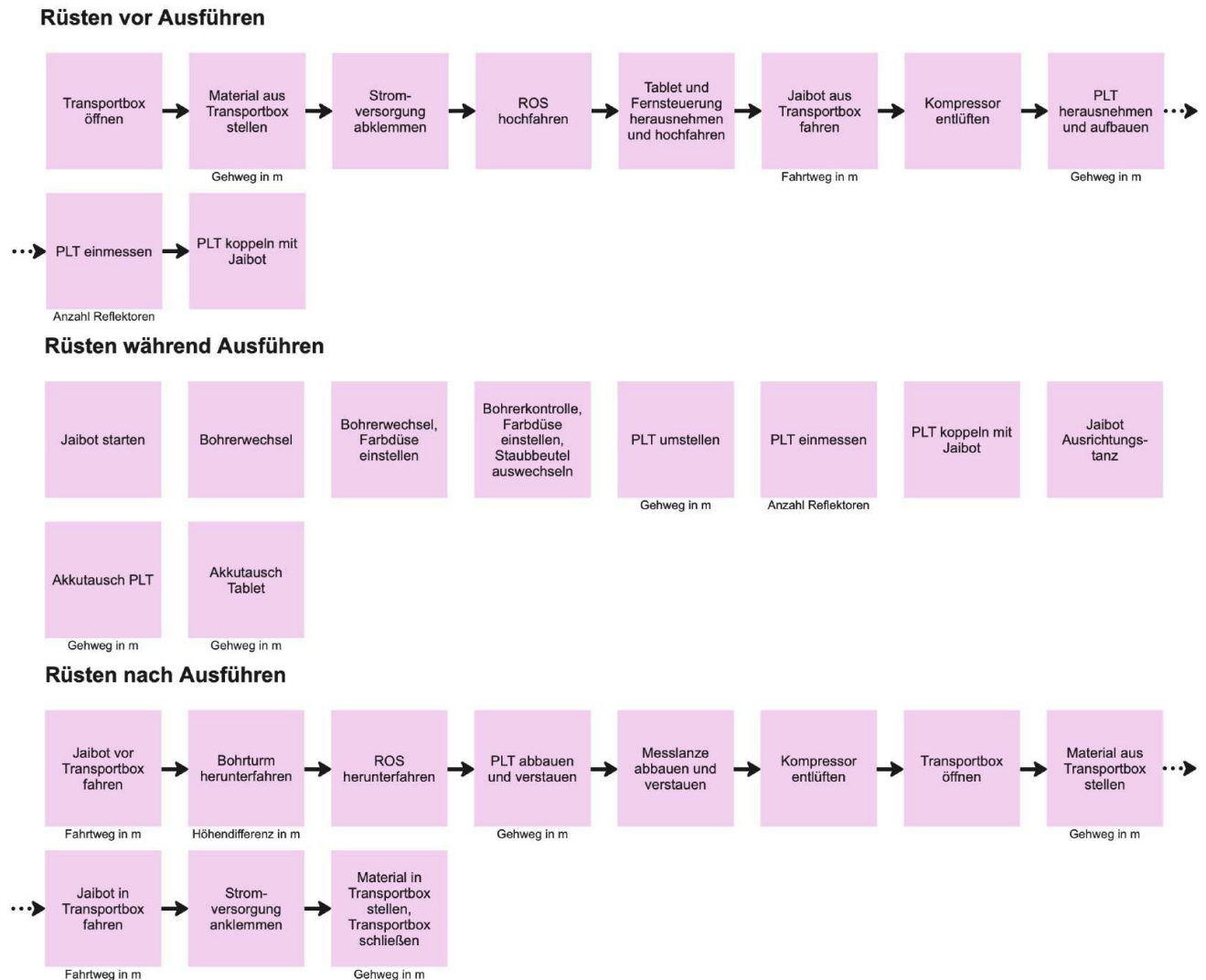


Abb. 36 Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den Rüsttätigkeiten vor, während und nach dem Ausführen, basierend auf der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Im Gegensatz zum manuellen Bohrprozess wurden beim semi-autonomen Bohrprozess keine zusätzlichen Ablaufabschnitte außerhalb des zu untersuchenden Prozesses erfasst, und es gab auch keine Ablaufabschnitte während der Zeitaufnahme, die nicht eindeutig erkennbar waren. Daher wurde kein Ablaufabschnitt der Kategorie „nicht erkennbar“ (BX) oder „Kein Untersuchungsgegenstand“ zugeordnet, weshalb auf eine entsprechende Abbildung verzichtet wurde.

Nach der Zuordnung der Ablaufabschnitte zu den spezifischen Ablaufarten konzentriert sich die weitere Untersuchung auf die *Ermittlung der Zeitwerte der einzelnen Ablaufabschnitte* für den semi-autonomen Bohrprozess. Analog zum manuellen Bohrprozess umfasst diese Analyse die Berechnung der Gesamtzeiten ($\sum t_i$), mittleren Ist-Einzelzeiten ($\bar{t}_i$) sowie die Soll-Zeiten (t) für jeden Ablaufabschnitt. Die Anzahl der Messwerte (n) pro

Ablaufabschnitt dient erneut zur Beurteilung der statistischen Zuverlässigkeit der ermittelten Werte. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich in Tab. 2.

Ablaufabschnitt	n	$\sum t_i$			$L = \frac{\sum L}{n}$	$\bar{t}_i = \frac{\sum t_i}{n}$		$t = \frac{L}{100\%} \cdot \bar{t}_i$	
		mm:ss	HM	%	%	mm:ss	HM	mm:ss	HM
Akkutausch PLT	1	00:52	86,67	0,1%	100%	00:52	86,67	00:52	86,67
Akkutausch Tablet	3	10:13	1021,67	1,4%	100%	03:24	340,56	03:24	340,56
Bohrerkontrolle	18	17:19	1731,67	2,4%	100%	00:58	96,20	00:58	96,20
Bohrerkontrolle, Farbdüse einstellen, Staubbeutel auswechseln	1	06:43	671,67	0,9%	100%	06:43	671,67	06:43	671,67
Bohrerwechsel	9	28:16	2826,67	4,0%	100%	03:08	314,07	03:08	314,07
Bohrerwechsel, Farbdüse einstellen	1	02:50	283,33	0,4%	100%	02:50	283,33	02:50	283,33
Bohrturm herunterfahren	2	00:53	88,33	0,1%	100%	00:26	44,17	00:26	44,17
Fehlerbehebung	1	11:42	1170,00	1,6%	100%	11:42	1170,00	11:42	1170,00
Füllstand Farbe kontrollieren	1	00:36	60,00	0,1%	100%	00:36	60,00	00:36	60,00
Gespräch	1	01:28	146,67	0,2%	100%	01:28	146,67	01:28	146,67
Jaibot aus Transportbox fahren	1	01:59	198,33	0,3%	100%	01:59	198,33	01:59	198,33
Jaibot Ausrichtungstanz	66	40:57	4095,00	5,8%	100%	00:37	62,05	00:37	62,05
Jaibot bohren	40	93:19	9331,67	13,1%	100%	02:20	233,29	02:20	233,29
Jaibot bohren (Zus. B.)	32	145:28	14546,67	20,5%	100%	04:33	454,58	04:33	454,58
Jaibot fahren	65	57:10	5716,67	8,0%	100%	00:53	87,95	00:53	87,95
Jaibot in Transportbox fahren	1	02:26	243,33	0,3%	100%	02:26	243,33	02:26	243,33
Jaibot starten	1	02:28	246,67	0,3%	100%	02:28	246,67	02:28	246,67
Jaibot vor Transportbox fahren	1	01:04	106,67	0,2%	100%	01:04	106,67	01:04	106,67
Kompressor entlüften	3	02:43	271,67	0,4%	100%	00:54	90,56	00:54	90,56
MA sucht Fernsteuerung	1	00:44	73,33	0,1%	100%	00:44	73,33	00:44	73,33
Material aus Transportbox stellen	2	03:44	373,33	0,5%	100%	01:52	186,67	01:52	186,67
Material in Transportbox stellen, Transportbox schließen	1	01:52	186,67	0,3%	100%	01:52	186,67	01:52	186,67
Messlanze abbauen und verstauen	1	01:34	156,67	0,2%	100%	01:34	156,67	01:34	156,67
Messlanze entnehmen und aufbauen	1	00:59	98,33	0,1%	100%	00:59	98,33	00:59	98,33
Messlanze messen	1	00:10	16,67	0,0%	100%	00:10	16,67	00:10	16,67
Mittagspause	2	73:32	7353,33	10,3%	100%	36:46	3676,67	36:46	3676,67
PLT abbauen und verstauen	1	03:01	301,67	0,4%	100%	03:01	301,67	03:01	301,67
PLT einmessen	4	11:25	1141,67	1,6%	100%	02:51	285,42	02:51	285,42
PLT herausnehmen und aufbauen	1	03:12	320,00	0,5%	100%	03:12	320,00	03:12	320,00
PLT koppeln mit Jaibot	6	05:28	546,67	0,8%	100%	00:55	91,11	00:55	91,11
PLT umstellen	3	07:15	725,00	1,0%	100%	02:25	241,67	02:25	241,67
ROS herunterfahren	1	01:30	150,00	0,2%	100%	01:30	150,00	01:30	150,00
ROS hochfahren	1	04:30	450,00	0,6%	100%	04:30	450,00	04:30	450,00
Staubbeutel kontrollieren	2	01:05	108,33	0,2%	100%	00:33	54,17	00:33	54,17
Störung "Arm gestört"	9	21:18	2130,00	3,0%	100%	02:22	236,67	02:22	236,67
Störung "Ausrichtungstanz"	2	00:50	83,33	0,1%	100%	00:25	41,67	00:25	41,67
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	6	07:19	731,67	1,0%	100%	01:13	121,94	01:13	121,94
Störung "Jaibot fährt nicht"	1	01:32	153,33	0,2%	100%	01:32	153,33	01:32	153,33
Störung "Markierungssystem"	2	114:57	11495,00	16,2%	100%	57:29	5747,50	57:29	5747,50
Störung "Systemwartzeit"	2	01:35	158,33	0,2%	100%	00:47	79,17	00:47	79,17
Störung "Verbindung zum Jaibot"	2	05:32	553,33	0,8%	100%	02:46	276,67	02:46	276,67
Stromversorgung abklemmen	1	01:01	101,67	0,1%	100%	01:01	101,67	01:01	101,67
Stromversorgung anklemmen	1	00:32	53,33	0,1%	100%	00:32	53,33	00:32	53,33
Tablet und Fernsteuerung herausnehmen und hochfahren	1	04:16	426,67	0,6%	100%	04:16	426,67	04:16	426,67
Transportbox öffnen	2	03:27	345,00	0,5%	100%	01:44	172,50	01:44	172,50

Gesamtdauer aller Zeitaufnahmen

710:46 71076,67

Tab. 2 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess mit Anzahl der Ist-Einzelzeiten, Gesamtzeit, mittlerem Leistungsgrad, mittlerer Ist-Einzelzeit und Soll-Zeit je Ablaufabschnitt (eigene Darstellung).

4.6 Synthesen

In diesem Kapitel wird die Synthese der Prozesse ‚Manueller Bohrprozess‘ und ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ beschrieben. Die methodische Vorgehensweise orientiert sich an Schritt 10, 11 und 12 des REFA-Standardprogramms zur Datenermittlung. Ziel der Synthese ist es, die in der Ablaufanalyse zugeordneten Ablaufarten zu standardisierten Zeitarten zusammenzuführen und daraus eine aussagekräftige Vorgabezeit zu berechnen. Diese strukturierte Aufbereitung bildet die Grundlage, um die zeitlichen Unterschiede und Gemeinsamkeiten der beiden Bohrprozesse systematisch analysieren und bewerten zu können. Zunächst wurden die Gesamtzeiten je Ablaufart für beide Prozesse aufsummiert, bevor die Synthese in zwei Varianten durchgeführt wurde: Die erste Variante basiert auf den unveränderten Originaldaten der Zeitaufnahmen. In der zweiten Variante wurden die Zeiten für erholungsbedingte Unterbrechungen durch einen pauschalen Wert ersetzt, um mögliche

Unterschiede hinsichtlich der Pausenzeiten zwischen den beiden Zeitaufnahmen auszugleichen und so eine bessere zeitliche Vergleichbarkeit zu erreichen.

4.6.1 Manueller Bohrprozess

Zur Vorbereitung der Synthese beider Prozesse wurde eine Übersichtstabelle erstellt, die die *Gesamtzeiten der einzelnen Ablaufarten* sowie deren Anteile am Ausführen und Rüsten darstellt (siehe Tab. 3). Die Ist-Einzelzeiten wurden zunächst nach Ablaufart in mm:ss Min und HM aufsummiert. Anschließend wurde der prozentuale Anteil jeder Ablaufart getrennt für das Ausführen und das Rüsten berechnet, wobei die Gesamtzeit für das Ausführen und die Gesamtzeit für das Rüsten jeweils 100 % ergeben.

In der ersten Variante erfolgte die Berechnung auf Basis der unveränderten Originaldaten, einschließlich der Zeiten für erholungsbedingte Unterbrechungen („Anteil mit erholungsbedingtem Unterbrechen“). Da die Zeitaufnahmen jedoch nicht immer den gesamten Arbeitstag abdecken und zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt wurden, können Schwankungen in der Erfassung von Pausenzeiten auftreten. So könnte eine Zeitaufnahme die Mittagspause vollständig berücksichtigen, während eine andere erst nach der Pause beginnt. Um diese Verzerrungen auszugleichen und die Vergleichbarkeit zu verbessern, wurde ein zweiter Anteil berechnet, der die erholungsbedingten Unterbrechungen expliziert ausschließt („Anteil ohne erholungsbedingtes Unterbrechen“). Zusätzlich wurden bei der Auswertung des manuellen Bohrprozesses sämtliche Zeiten für Ablaufabschnitte wie Dübeln, Montieren und Schlagschrauben aus der Gesamtdauer beider Varianten herausgerechnet. Dadurch wird sichergestellt, dass sich die Berechnungen ausschließlich auf den eigentlichen Bohrprozess beziehen und keine zusätzlichen, nicht relevanten Zeiten einfließen.

	Ablaufarten (M)		$\sum t_i$		Anteil mit erholungsbedingtem Unterbrechen	Anteil ohne erholungsbedingtes Unterbrechen
	Ablaufart	Abkürzung	mm:ss	HM	%	%
Ausführen	Haupttätigkeit	MH	56:07	5611,67	20%	25%
	Nebentätigkeit	MN	115:03	11505,00	40%	51%
	zusätzliche Tätigkeit	MZ	16:53	1688,33	6%	7%
	ablaufbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit	MA	00:00	0,00	0%	0%
	störungsbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit	MS	05:49	581,67	2%	3%
	persönlich bedingtes Unterbrechen der Tätigkeit	MP	13:50	1383,33	5%	6%
	erholungsbedingtes Unterbrechen der Tätigkeit	ME	60:00	6000,00	21%	0%
	nicht erkennbar	MX	20:00	2000,00	7%	9%
Rüsten	Hauptrüstzeit	MHR	12:27	1245,00	13%	13%
	Nebenrüsttätigkeit	MNR	23:04	2306,67	25%	25%
	zusätzliche Rüsttätigkeit	MZR	24:58	2496,67	27%	27%
	ablaufbedingtes Unterbrechen Rüsten	MAR	12:39	1265,00	14%	14%
	störungsbedingtes Unterbrechen Rüsten	MSR	00:00	0,00	0%	0%
	persönlich bedingtes Unterbrechen Rüsten	MPR	00:00	0,00	0%	0%
	erholungsbedingtes Unterbrechen Rüsten	MER	00:00	0,00	0%	0%
	nicht erkennbar	MX	20:00	2000,00	21%	21%
Gesamtdauer aller Zeitaufnahmen			380:50	38083,33	200%	200%

* ohne zusätzliche Ablaufabschnitte wie z. B. Dübeln, Montieren, Schlagschrauben

Tab. 3 Ablaufarten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Gesamtzeit je Ablaufart sowie prozentualem Anteil nach Ausführen und Rüsten, mit und ohne erholungsbedingter Unterbrechungen (eigene Darstellung).

Die *erste Variante der Synthese* basiert vollständig auf den zuvor ermittelten Gesamtzeiten je Ablaufart und folgt der Vorgehensweise des REFA-Standardprogramms zur Synthese (siehe Kap. 3.4.4). Da sich die

Untersuchung des manuellen Bohrprozesses in der praktischen Ablaufanalyse (siehe Kap. 4.5.1) ausschließlich auf Ablaufarten nach dem Ausführen und dem Menschen (M) beschränkt hat, erfolgt die Synthese ebenfalls nur für diese Kategorien. Eine zusätzliche Betrachtung der Ablaufarten nach dem Rüsten oder dem Betriebsmittel wurde somit nicht vorgenommen. Für diese Synthese wurden daher gezielt die Ablaufarten MH, MN, MZ, MA, MS, ME, MP und MX herangezogen, die dem Menschen und dem Ausführen zugeordnet sind. Die Berechnung der Zeiten je Einheit erfordert eine Bezugsmenge, die durch die Anzahl aller während der Zeitaufnahme erfolgreich abgeschlossenen Bohrlöcher definiert ist. Für den manuellen Bohrprozess wurden insgesamt 84 Bohrlöcher dokumentiert. Die bereinigte Gesamtdauer aller Zeitaufnahmen, bei der Rüsttätigkeiten sowie die bereits zur Montage zählenden Ablaufabschnitte Dübeln, Schlagschrauben und Montieren nicht berücksichtigt wurden, beträgt 287:42 Min (28770,00 HM). Die Ergebnisse dieser Synthese sind in Abb. 37 dargestellt und veranschaulichen die Überführung der Ablaufzeiten in die Zeit je Einheit.

Synthese nach Ausführen (M)

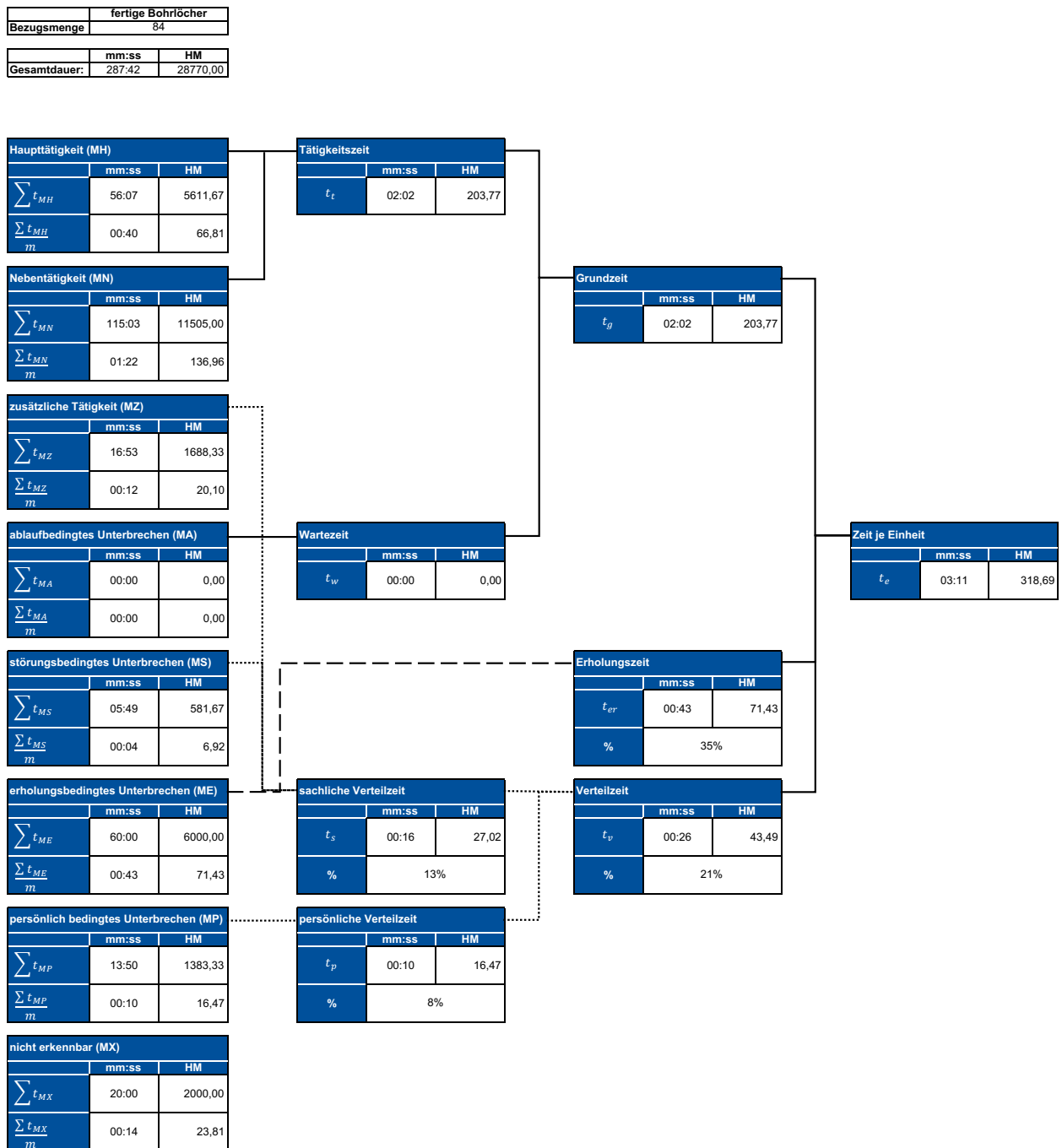


Abb. 37 Synthese nach Ausführen (Mensch) für die Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘, mit Überführung der Ablaufzeiten in die Zeit je Einheit (eigene Darstellung).

Da die Pausenzeiten während der Zeitaufnahmen beider Bohrprozesse nicht einheitlich erfasst wurden, besteht die Möglichkeit einer Verzerrung der Daten. Um diesem Einfluss entgegenzuwirken, wurde eine *zweite Synthesevariante* entwickelt, in der erholungsbedingte Unterbrechungen nicht anhand der gemessenen Werte berücksichtigt, sondern durch einen pauschalen Prozentsatz ersetzt wurden. Dieses Vorgehen, das auch im REFA-Standard anerkannt ist, dient der Ermittlung eines standardisierten Pausenanteils und ermöglicht eine konsistente Vergleichbarkeit unabhängig von individuellen Schwankungen in den Zeitaufnahmen.

Dafür wurde der Pausenanteil für den manuellen Bohrprozess auf Basis der betriebsüblichen Pausenzeit berechnet. Bei einer täglichen Arbeitszeit von 9 Stunden (540:00 Min bzw. 54000 HM) und einer vorgesehenen Pausenzeit von 1 Stunde (60:00 Min bzw. 6000 HM) ergibt sich ein Pausenanteil von 11,1 %. Dieser Prozentsatz wurde verwendet, um die Zeit für das erholungsbedingte Unterbrechen auf Grundlage der bereinigten Gesamtzeit ohne Pausenzeiten zu berechnen. Für den manuellen Bohrprozess beträgt die bereinigte Gesamtzeit 227:42 Min (22770,00 HM), woraus sich eine rechnerische Zeit für das erholungsbedingte Unterbrechen von etwa 25:30 Min (2530,00 HM) ergibt. Die Gesamtzeit nach Anwendung des pauschalierten Pausenanteils beträgt somit 253:00 Min (25300,00 HM). Die Ergebnisse dieser zweiten Synthesevariante sind in Abb. 38 dargestellt. Die Struktur entspricht der von Variante 1 und zeigt die Zeitwerte des manuellen Bohrprozesses unter Berücksichtigung des standardisierten Pausenwerts für das erholungsbedingte Unterbrechen.

Synthese nach Ausführen (M)

mit pauschalisiertem Prozentwert für das erholungsbedingte Unterbrechen (ME)

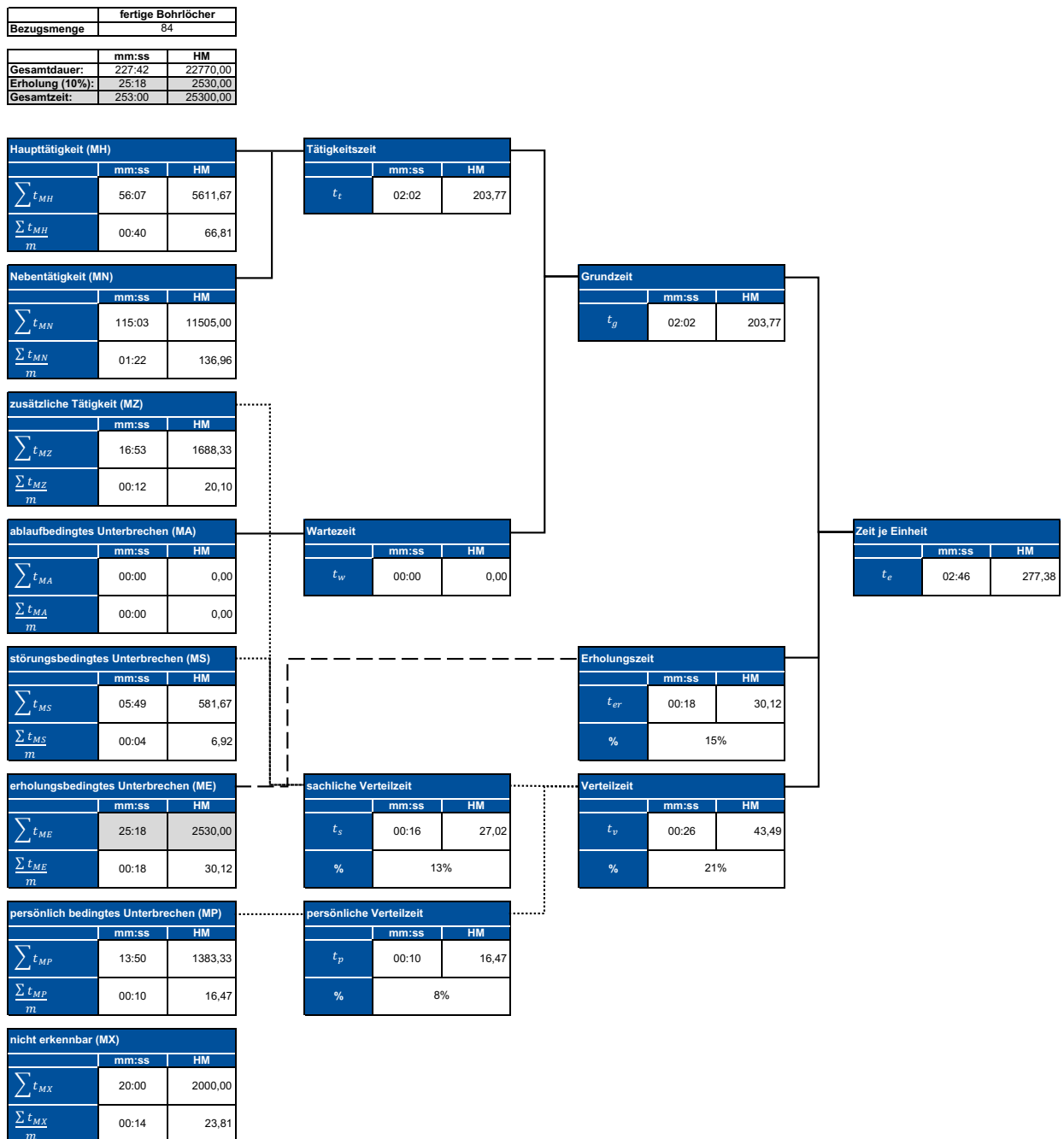


Abb. 38 Synthese nach Ausführen (Mensch) für die Zeitaufnahme 'Manueller Bohrprozess' in Zeit je Einheit unter Verwendung eines pauschalisierten Prozentwertes für das erholungsbedingte Unterbrechen (eigene Darstellung).

4.6.2 Semi-autonomer Bohrprozess

Wie beim manuellen Bohrprozess wurde auch für den semi-autonomen Bohrprozess eine Übersichtstabelle erstellt, die die *Gesamtzeiten der einzelnen Ablaufarten* in mm:ss Min und HM sowie deren prozentuale Anteile am Ausführen und Rüsten darstellt (siehe Tab. 4). Anders als beim manuellen Bohrprozess war hier keine Bereinigung der Gesamtdauer erforderlich, da ausschließlich relevante Ablaufabschnitte erfasst wurden. Das weitere Vorgehen entspricht dem für den manuellen Bohrprozess beschriebenen Ansatz.

	Ablaufarten (B)		$\sum t_i$		Anteil mit erholungsbedingtem Unterbrechen	Anteil ohne erholungsbedingtes Unterbrechen
	Ablaufart	Abkürzung	mm:ss	HM	%	%
Ausführen	Hauptnutzung	BH	235:27	23545,00	39%	44%
	Nebennutzung	BN	87:37	8761,67	15%	17%
	zusätzliche Nutzung	BZ	13:15	1325,00	2%	2%
	ablaufbedingtes Unterbrechen der Nutzung	BA	28:09	2815,00	5%	5%
	störungsbedingtes Unterbrechen der Nutzung	BS	164:45	16475,00	27%	31%
	persönlich bedingtes Unterbrechen der Nutzung	BP	01:28	146,67	0%	0%
	erholungsbedingtes Unterbrechen der Nutzung	BE	73:32	7353,33	12%	0%
	nicht erkennbar	BX	00:00	0,00	0%	0%
Rüsten	Hauptnutzung Rüsten	BHR	69:00	6900,00	65%	65%
	Nebennutzung Rüsten	BNR	23:52	2386,67	22%	22%
	zusätzliches Unterbrechen Rüsten	BZR	13:41	1368,33	13%	13%
	ablaufbedingtes Unterbrechen Rüsten	BAR	00:00	0,00	0%	0%
	störungsbedingtes Unterbrechen Rüsten	BSR	00:00	0,00	0%	0%
	persönlich bedingtes Unterbrechen Rüsten	BPR	00:00	0,00	0%	0%
	erholungsbedingtes Unterbrechen Rüsten	BER	00:00	0,00	0%	0%
	nicht erkennbar	BX	00:00	0,00	0%	0%
Gesamtdauer aller Zeitaufnahmen			710:46	71076,67	200%	200%

Tab. 4 Ablaufarten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ mit Gesamtzeit je Ablaufart sowie prozentualen Anteil nach Rüsten und Ausführen, mit und ohne erholungsbedingter Unterbrechungen (eigene Darstellung).

Wie beim analogen Bohrprozess basiert die *erste Variante der Synthese* vollständig auf den zuvor ermittelten Gesamtzeiten je Ablaufart. Die Betrachtung erfolgt auch hier ausschließlich für das Ausführen, jedoch gemäß der Ablaufanalyse mit Fokus auf das Betriebsmittel (B). Die Bezugsmenge für den semi-autonomen Bohrprozess umfasst 429 erfolgreich abgeschlossene Bohrlöcher, während die Gesamtdauer der Zeitaufnahmen 604:13 Min (60421,67 HM) beträgt. Im Gegensatz zum manuellen Bohrprozess wurden hier keine zusätzlichen, nicht zum Untersuchungsgegenstand gehörenden Ablaufabschnitte erfasst. Somit flossen, mit Ausnahme der Rüsttätigkeiten, alle während der Zeitaufnahme dokumentierten Ablaufarten in die Synthese ein, darunter BH, BN, BZ, BA, BS, BE, BP und BX, die dem Betriebsmittel und dem Ausführen zugeordnet sind. Die Ergebnisse dieser Synthese sind in Abb. 39 dargestellt und veranschaulichen die Überführung der Ablaufzeiten in die Betriebsmittelzeit je Einheit.

Synthese nach Ausführen (B)

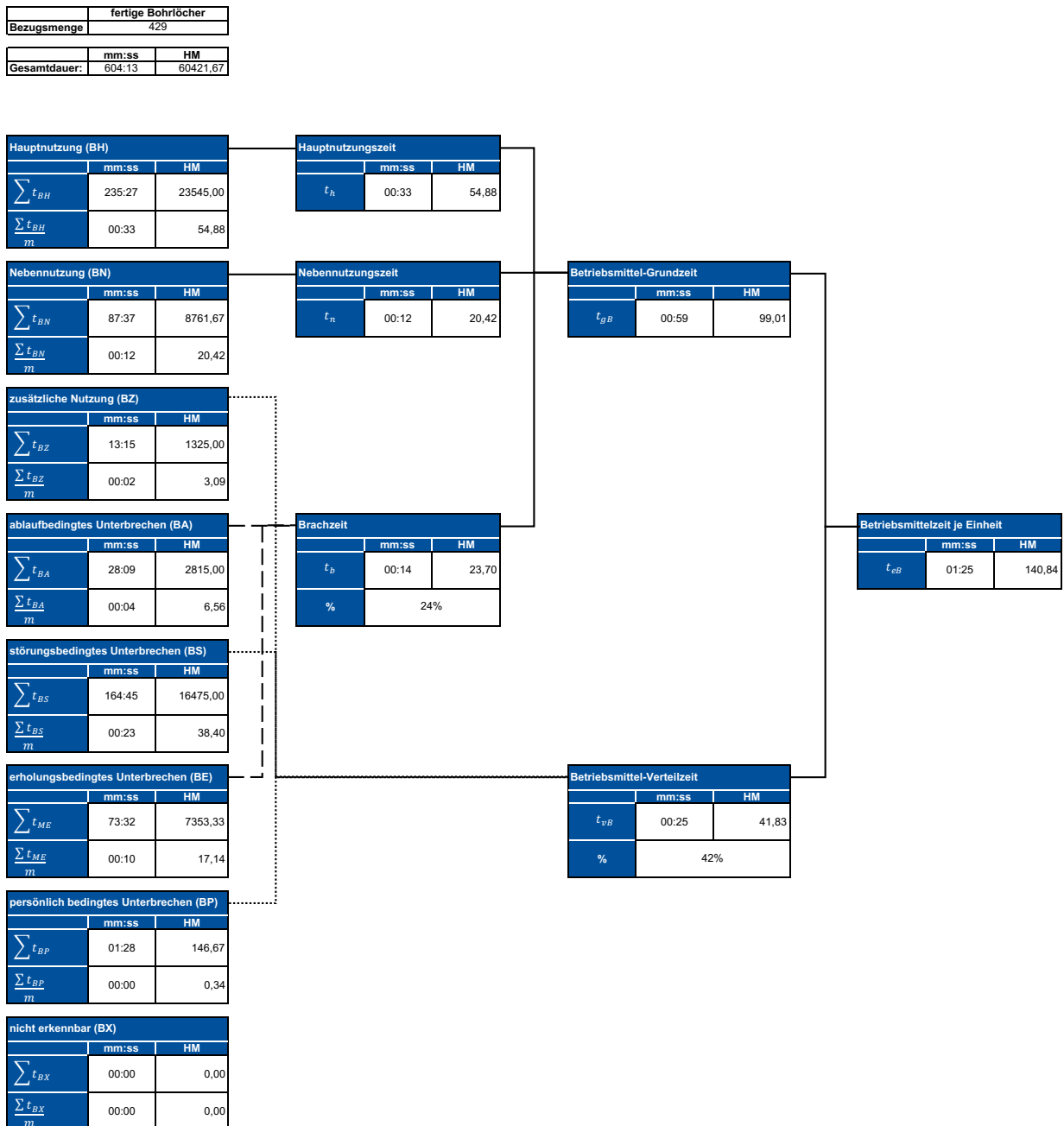


Abb. 39 Synthese nach Ausführen (Betriebsmittel) für die Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘, mit Überführung der Ablaufzeiten in die Betriebsmittelzeit je Einheit (eigene Darstellung).

Wie bereits beim manuellen Bohrprozess wurde auch für den semi-autonomen Bohrprozess eine *zweite Synthesevariante* erstellt, in der die Zeit für erholungsbedingtes Unterbrechen durch einen pauschalisierten Prozentsatz ersetzt wird. Die Berechnung des Pausenanteils folgt dem gleichen Ansatz wie beim manuellen Bohrprozess. Auch hier führt eine tägliche Arbeitszeit von 9 Stunden und die darin enthaltene Pausenzeit von 1 Stunde zu einem Pausenanteil von 11,1 %. Dieser Prozentsatz wurde auf die bereinigte Gesamtzeit des semi-autonomen Bohrprozesses angewendet, die ohne Pausenzeiten 530:41 Min (53068,33 HM) beträgt. Daraus ergibt sich eine rechnerische Zeit für erholungsbedingte Unterbrechungen von 58:58 Min (5896,67 HM), was

zu einer neuen Gesamtzeit von 589:39 Min (58965,00 HM) führt. Die Ergebnisse dieser zweiten Synthesevariante sind in Abb. 40 dargestellt und zeigen die Zeitwerte des semi-autonomen Bohrprozesses unter Berücksichtigung des standardisierten Pausenwerts für das erholungsbedingte Unterbrechen.

Synthese nach Ausführen (B)

mit pauschalisiertem Prozentwert für das erholungsbedingte Unterbrechen (BE)

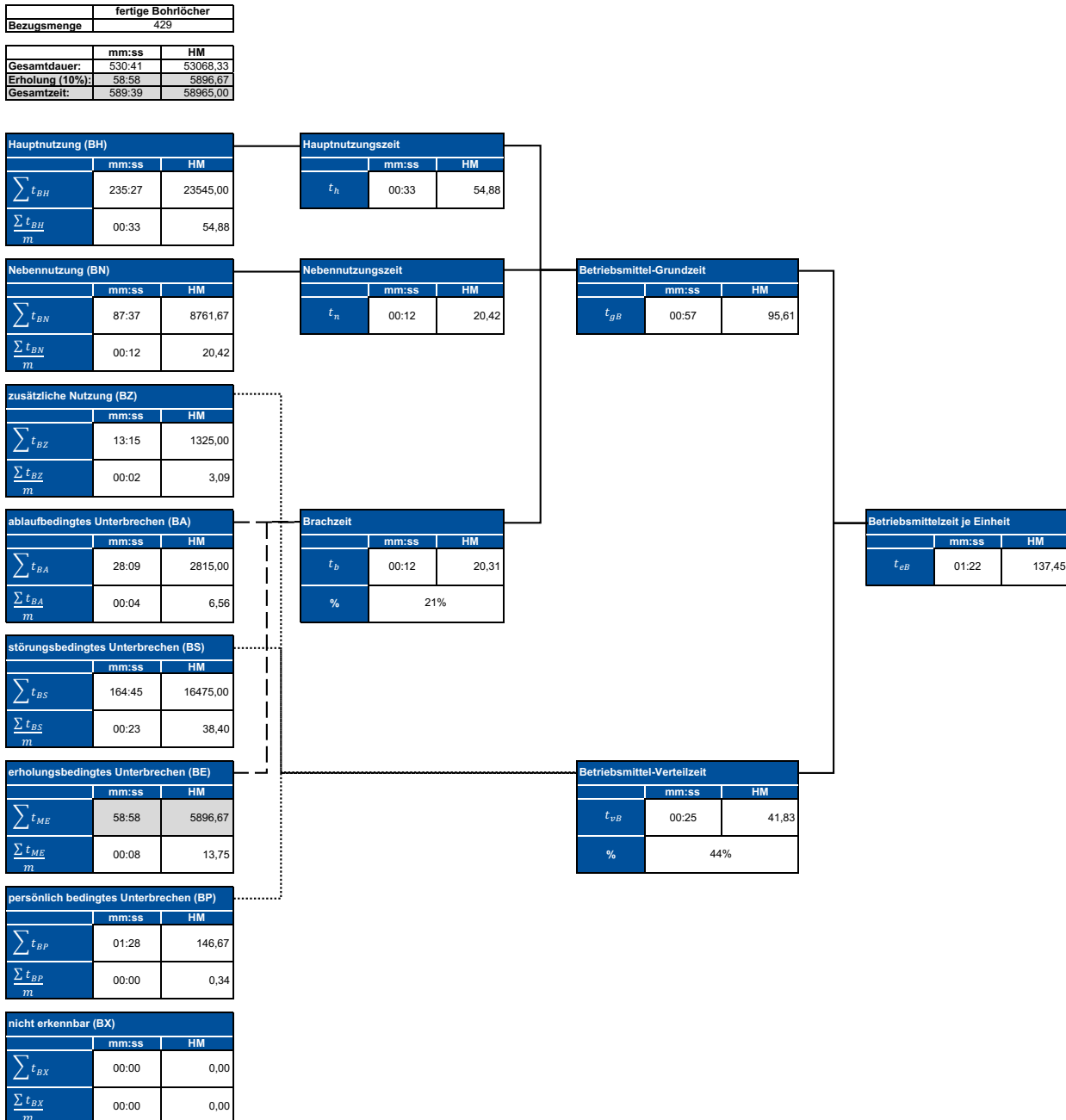


Abb. 40 Synthese nach Ausführen (Betriebsmittel) für die Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' in Betriebsmittelzeit je Einheit unter Verwendung eines pauschalisierten Prozentwertes für das erholungsbedingte Unterbrechen (eigene Darstellung).

5 Vergleich

5.1 Arbeitssystem

Im ersten Teil des Vergleichs werden die Arbeitssysteme als Grundlage für die Gegenüberstellung des manuellen und des semi-autonomen Bohrprozesses betrachtet, die in dieser Arbeit auf zwei unterschiedlichen Arbeitssystemen basieren. Da idealerweise beide Bohrmethoden unter identischen Bedingungen miteinander verglichen werden sollten, ist es notwendig, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Arbeitsprozesse systematisch zu untersuchen, um sowohl deren Vergleichbarkeit als auch die Grenzen der Vergleichbarkeit aufzuzeigen und damit die Aussagekraft der Ergebnisse besser einordnen zu können.

Um belastbare Aussagen aus dem Vergleich zu erzielen, müssen beide Arbeitssysteme eine ausreichend große Schnittmenge aufweisen. Die grundlegende Vergleichbarkeit und damit eine direkte Gegenüberstellung der beiden Abläufe ist hier grundsätzlich gegeben, da in beiden Prozessen dasselbe Ziel – das Erstellen von Deckenbohrungen zur späteren Befestigung von Dübellöchern – verfolgt wird. Durch die unterschiedlichen Arbeitsaufträge lassen sich jedoch bereits erste Unterschiede erkennen.

Ein Unterschied besteht im geforderten Bohrdurchmesser der Bohrungen. Während beim manuellen Bohren alle Bohrungen mit identischem Bohrdurchmesser ausgeführt wurden, mussten im semi-autonomen Bohrprozess verschiedene Bohrdurchmesser für unterschiedliche Gewerke realisiert werden. Dieser Unterschied ist jedoch zu vernachlässigen, da der Jaibot im untersuchten Zeitraum ausschließlich Bohrungen einer Größe durchführte. Entscheidender für die Vergleichbarkeit der beiden Prozesse ist die unterschiedliche Bohrlochdichte. Während beim manuellen Bohrprozess pro Arbeitsbereich durchschnittlich 2 Bohrungen stattfanden, lag die Bohrdichte beim semi-autonomen Verfahren bei durchschnittlich 6 Bohrungen. Dieser Unterschied ist besonders relevant, da eine höhere Bohrdichte sowohl die Anzahl der Bohrzyklen als auch den Zeitbedarf pro Bohrbereich unmittelbar beeinflusst und die Vergleichbarkeit somit deutlich einschränkt.

Ein ebenfalls relevanter Aspekt für den Vergleich beider Prozesse ist deren spezifischer Arbeitsablauf. In beiden Prozessen erfolgt die Bohrung schrittweise entlang der vorgegebenen Bohrpositionen, wobei jeweils ein Mitarbeiter den Ablauf ausführt bzw. überwacht. Der effektive Bohrbereich beider Prozesse beträgt etwa 1 m im Radius. Beim Bohrroboter ist dieser durch den technisch festgelegten Aktionsradius des Bohrarms definiert, während der Arbeiter auf der Scherenarbeitsbühne durch die Sicherheitsvorschrift zum Tragen eines Sicherheitsgurtes ebenfalls auf einen ähnlichen Radius beschränkt wurde. Damit ist die Vergleichbarkeit in diesem Aspekt gegeben. Zwar bestehen Unterschiede in den Arbeitsabläufen beider Prozesse, jedoch sind diese zentrale Untersuchungsgegenstände dieser Arbeit und stellen daher keine Einschränkungen der Vergleichbarkeit dar. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal ist dabei die Rolle des Menschen: Während der manuelle Bohrprozess durch eine direkte Steuerung des Bohrvorgangs geprägt ist, übernimmt der Mensch beim semi-autonomen Bohrprozess eine überwachende und steuernde Funktion. Während der manuelle Bohrprozess maßgeblich durch die aktive Rolle des Menschen bestimmt wird, steht im semi-autonomen Verfahren der Jaibot im Mittelpunkt, wobei der Mensch vorwiegend eine überwachende und steuernde Funktion übernimmt. Daraus

ergeben sich auch Unterschiede in den verwendeten Betriebsmitteln. Während beim manuellen Bohren klassische, passive Werkzeuge wie Bohrhammer und Maßstab genutzt werden, kommt im semi-autonomen Verfahren ein hoch entwickeltes, aktives System zum Einsatz, das durch digitale Mess- und Steuerungstechnologie unterstützt wird. Es bestehen jedoch auch Unterschiede in den Arbeitsabläufen beider Prozesse, die für die Vergleichbarkeit von Bedeutung sind. Ein zentraler technologischer Unterschied, der die Vergleichbarkeit beeinflusst, betrifft die Eingabeformate der Bohrpositionen. Während der manuelle Bohrprozess auf physische Planunterlagen wie gedruckte oder handgezeichnete Pläne zurückgreift, basiert der semi-autonome Bohrprozess auf einer speziell aufbereiteten digitalen Plandatei. Dies kann insbesondere die Präzision der Bohrpositionierung beeinflussen und stellt eine methodische Einschränkung dar, da der Jaibot zwingend digitale Plandaten benötigt, während der manuelle Prozess flexibler in der Nutzung unterschiedlicher Eingabeformate ist. Ein weiterer bedeutender Unterschied zeigt sich im Umgang mit Bewehrungstreffern. Während im manuellen Verfahren eine Anpassung der Bohrposition unmittelbar durch den Arbeiter erfolgen kann, führt ein Bewehrungstreffer beim Jaibot zum sofortigen Abbruch des Bohrvorgangs, wobei das betroffene Bohrloch als nicht ausführbar markiert wird. Diese Abweichungen wirken sich nicht unmittelbar auf die gemessenen Prozesszeiten aus, sind jedoch beim Vergleich der Prozessabläufe sowie den Anforderungen an die Ein- und Ausgabedaten der jeweiligen Verfahren zu berücksichtigen.

Ein abschließender Aspekt für die Vergleichbarkeit beider Prozesse sind die Bedingungen des Arbeitsplatzes. Beide Arbeitssysteme zeichneten sich durch große, offene Flächen aus. Während im Arbeitsbereich des manuellen Bohrprozesses Lüftungselemente auf dem Boden zwischengelagert wurden, befanden sich im Arbeitsbereich des semi-autonomen Bohrprozesses Fensterelemente auf dem Boden. Somit waren vergleichbare Bodenbereiche durch Material blockiert, was beide Prozesse aber nicht merklich beeinträchtigte und die Prozesse in dieser Hinsicht als vergleichbar erscheinen lässt. Deutliche Unterschiede zeigten sich jedoch in der Arbeitshöhe, wodurch die Vergleichbarkeit der beiden Prozesse eingeschränkt wird. Während der manuelle Bohrprozess in einer Höhe von 8 m durchgeführt wurde, erfolgte der semi-autonome Bohrprozess auf 4,6 m. Obwohl die Höhendifferenz den Ablauf innerhalb eines einzelnen Bohrzyklus nicht direkt beeinflusst, wirkt sie sich auf den Gesamtprozess aus, da das vollständige Hoch- und Herunterfahren der Scherenarbeitsbühne bei größerer Arbeitshöhe mehr Zeit in Anspruch nimmt als bei der geringeren Deckenhöhe des semi-autonomen Bohrprozesses. Ebenso ist ein direkter Vergleich hier nur bedingt möglich, da der Bohrroboter mit einer maximalen Bohrhöhe von 5 m bereits an seiner technischen Grenze operierte und daher Bohrungen in 8 m Höhe, wie sie im manuellen Bohrprozess durchgeführt wurden, nicht möglich sind. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Beschaffenheit der Decke. Im Arbeitsbereich des manuellen Bohrprozesses waren Unterzüge sowie bereits installierte Bestandsinstallationen vorhanden, während die Decke im Bereich des semi-autonomen Prozesses eben und frei von Hindernissen war. Dies unterstreicht die größere Flexibilität des manuellen Bohrprozesses, da der Mitarbeiter die Bohrungen individuell anpassen konnte. Der Bohrroboter hingegen wäre in einem solchen Umfeld nicht einsetzbar gewesen, da sein Bohrarm eine hindernisfreie Decke erfordert, um störungsfrei arbeiten zu können. Während sich der semi-autonome Bohrprozess aufgrund der Deckenbeschaffenheit also nicht direkt auf das Arbeitssystem des manuellen Bohrprozesses übertragen lässt, führen die baulichen Gegebenheiten im manuellen Bohrprozess zu einem komplexeren Ablauf und einem höheren Zeitaufwand, da der Mitarbeiter Hindernisse umgehen muss. Diese Faktoren haben erhebliche Relevanz für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Der Einfluss der Witterungsbedingungen ist für die Vergleichbarkeit beider Prozesse eher gering, da beide Arbeiten in Innenräumen ausgeführt wurden. Jedoch wurde der semi-autonome Prozess in einem Bereich mit offener Fassade durchgeführt, wodurch er potenziell stärkeren Temperaturschwankungen und Winden ausgesetzt war. Während dies für den Bohrroboter aufgrund des hohen Automatisierungsgrads keinen signifikanten Einfluss hatte, könnte es beim manuellen Prozess eine größere Rolle spielen. Kalte Temperaturen könnten beispielsweise die Feinmotorik des Mitarbeiters beeinträchtigen und zu Verzögerungen führen.

Zusammenfassend verdeutlicht der Vergleich beider Arbeitssysteme, dass trotz Gemeinsamkeiten auch Unterschiede bestanden. Während einige dieser Unterschiede nur einen geringen Einfluss auf die Ablaufanalyse und insbesondere die Synthese hatten und daher vernachlässigt werden konnten, erwiesen sich andere, wie die unterschiedliche Bohrlochdichte, Deckenhöhe und -beschaffenheit sowie die Anforderung an die Planung, als zu berücksichtigende Faktoren für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

5.2 Ablaufanalyse

Im zweiten Teil liegt der Fokus auf dem Vergleich der Ablaufanalysen des manuellen und des semi-autonomen Bohrprozesses. Zunächst werden die Zeitbänder beider Prozesse gegenübergestellt, um markante Unterschiede in der Ablauffolge sowie in der Dauer der einzelnen Ablaufabschnitte zu identifizieren. Anschließend erfolgt ein detaillierter Vergleich der Ablaufabschnitte und ihrer Zuordnung zu den jeweiligen Ablaufarten beider Prozesse. Dabei werden Unterschiede herauszuarbeiten und deren potenzielle Auswirkungen auf den Gesamtprozess analysiert. Ein direkter Vergleich der Zeitwerte sämtlicher Ablaufabschnitte erfolgt in diesem Kapitel nicht, da außer den Ablaufabschnitten „Bohren“ bzw. „Jaibot bohren“ sowie „Bohren (Zus. B.)“ bzw. „Jaibot bohren (Zus. B.)“ keine ausreichende Vergleichbarkeit zwischen den Zeitwerten der einzelnen Abschnitte gegeben ist.

Beim *Vergleich der Zeitbanddarstellungen* aus den Zeitaufnahmen beider Bohrprozesse (siehe Kap. 4.5) zeigte sich, dass die Ablauffolgen beider Prozesse strukturell ähnlich aufgebaut waren. Der Bohrzyklus wurde in beiden Fällen regelmäßig durch zusätzliche Tätigkeiten oder Rüstvorgänge unterbrochen. In den meisten Fällen trat eine Unterbrechung spätestens nach zwei aufeinanderfolgenden Bohrzyklen auf, sodass längere ununterbrochene Bohrphasen selten vorkamen. Hinsichtlich der Rüsttätigkeiten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede, da sowohl ihre Häufigkeit als auch ihre Dauer in beiden Prozessen vergleichbar waren. Deutliche Abweichungen zeigten sich hingegen bei den zusätzlichen Tätigkeiten: Beim semi-autonomen Bohrprozess traten diese nicht nur häufiger auf, sondern dauerten insgesamt auch länger als beim manuellen Bohrprozess. Weitere gravierende Abweichungen waren hingegen nicht erkennbar. Die Analyse bestätigt somit, dass sich die grundlegenden Abläufe beider Prozesse weitgehend ähneln. Die höheren Anteile an zusätzlichen Tätigkeiten beim semi-autonomen Bohrprozess kann sich durch folgende Faktoren erklären lassen: Zum einen erforderte der Bohrroboter regelmäßige Wartungs- und Kontrollmaßnahmen, die beim manuellen Bohrprozess nicht notwendig waren. Zum anderen führte die technische Komplexität des Bohrroboters dazu, dass eine Vielzahl an ablauf- und störungsbedingten Unterbrechungen auftrat. Diese Störungen waren nicht nur häufiger, sondern dauerten in dieser Zeitaufnahme auch überdurchschnittlich lange an. Im Gegensatz dazu war der manuelle

Prozess durch eine geringere Technisierung und höhere Flexibilität geprägt. Dadurch konnte der Mitarbeiter auf unerwartete Störungen unmittelbar reagieren und diese kompensieren, wodurch die Unterbrechungsanteile deutlich geringer ausfielen oder gar nicht vorhanden waren. Diese Unterscheidungsmerkmale werden weiter in den folgenden Analysen vertieft betrachtet.

Im weiteren *Vergleich der Ablaufabschnitte* beider Prozesse zeigt sich, dass sich die durchlaufenen Abschnitte im Bohrzyklus sowohl in Art als auch in Anzahl unterschieden. Der Bohrzyklus beim manuellen Bohrprozess umfasste fünf Ablaufabschnitte, während der semi-autonome Bohrprozess nur drei Abschnitte enthielt. Diese Differenz ergab sich aus den zusätzlichen Abschnitten „Scherenarbeitsbühne herunterfahren“ und „Scherenarbeitsbühne hochfahren“, die beim manuellen Bohrprozess erforderlich waren, um die Arbeitshöhe beim manuellen Bohrprozess anzupassen. Der Bohrroboter benötigte diese Schritte nicht, da sein flexibler Bohrarm Höhenunterschiede automatisch ausgleicht. Dadurch entfiel dieser zusätzliche Aufwand, was nicht nur den Prozess vereinfachte, sondern auch zu einer durchschnittlichen Zeitersparnis von 01:02 Min bzw. 103,88 HM führte, basierend auf den in dieser Zeitaufnahme ermittelten Werten.

Ein weiterer Unterschied innerhalb des Bohrzyklus zeigt sich im Ablaufabschnitt ‚Messen und Markieren‘, der beim manuellen Bohrprozess erforderlich ist. Beim semi-autonomen Bohrprozess übernimmt der Bohrroboter diese Aufgabe durch den automatisierten Ablaufabschnitt ‚Ausrichtungstanz‘, sodass das manuelle Einmessen entfällt. Diese Automatisierung führt nicht nur zu einer präziseren Positionierung der Bohrungen, sondern ermöglichte in dieser Zeitaufnahme auch eine durchschnittliche Zeitersparnis von 01:03 Min bzw. 104,7 HM pro Bohrzyklus.

Auch bei den Haupt- und Nebentätigkeiten ergeben sich strukturelle Unterschiede. Beim manuellen Bohrprozess kommen zusätzlich die Abschnitte „Scherenarbeitsbühne aufsteigen“ (00:15 Min bzw. 25,28 HM) und „Scherenarbeitsbühne absteigen“ (00:12 Min bzw. 19,44 HM) hinzu, die beim semi-autonomen Bohrprozess entfallen. Diese Abweichungen sind direkt auf die eingesetzten Betriebsmittel und deren spezifische Anforderungen zurückzuführen, wodurch der manuelle Bohrprozess durch diese zusätzlichen Ablaufabschnitte insgesamt etwas aufwendiger ist.

Die größten Unterschiede zeigen sich in den zusätzlichen Aktivitäten. Der semi-autonome Bohrprozess weist eine höhere Anzahl an ablaufbedingten Unterbrechungen (BA) sowie störungsbedingten Unterbrechungen (BS) auf. Diese Unterbrechungen resultieren vor allem aus regelmäßigen Kontroll- und Wartungstätigkeiten sowie technischen Störungen des Bohrroboters. Im Gegensatz dazu treten beim manuellen Bohrprozess nicht nur insgesamt weniger Unterbrechungen auf, sondern sie weisen auch eine deutlich geringere Varianz in ihren Ursachen auf. Störungen entstehen hier ausschließlich durch externe Hindernisse, wie etwa andere Gewerke oder die Baustellenlogistik, die den Mitarbeiter während der Ausführung zum Warten zwingen. Dies deutet darauf hin, dass der Bohrroboter anfälliger für verschiedene Störfaktoren und betriebliche Unterbrechungen ist als der manuelle Bohrprozess, bei dem der hohe manuelle Arbeitsanteil zu einer geringeren Anzahl an ablauf- und störbedingten Unterbrechungen führt. Diese Tendenz wird auch durch den zeitlichen Vergleich der Synthesen in Kap. 5.3 bestätigt.

Bei den zusätzlichen Tätigkeiten (MZ) bzw. der zusätzlichen Nutzung (BZ) zeigt sich zunächst, dass der manuelle Bohrprozess mit 7 verschiedenen Ablaufabschnitten 3 mehr aufweist als der semi-autonome Bohrprozess. Bei einer näheren inhaltlichen Betrachtung der Ablaufabschnitte wird allerdings sichtbar, dass diese nicht auf prozessbedingte Ursachen zurückzuführen sind, sondern sich aus baustellenspezifischen Gegebenheiten und Anforderungen ergeben. Daher ist ein aussagekräftiger Vergleich dieser Ablaufart nicht möglich.

Ein Vergleich der Rüsttätigkeiten erfolgt an dieser Stelle nicht, da diese nicht Teil der Untersuchung sind.

Zusammenfassend zeigt die Ablaufanalyse, dass der manuelle und der semi-autonome Bohrprozess in ihrer grundsätzlichen Struktur und Verteilung der Abläufe Ähnlichkeiten aufweisen. Beide Prozesse werden regelmäßig durch zusätzliche Tätigkeiten und Rüstvorgänge unterbrochen, sodass ein vollständig störungsfreier Ablauf selten gewährleistet ist. Allerdings weist der semi-autonome Bohrprozess eine höhere Prozesskomplexität sowie eine größere Varianz an möglichen Unterbrechungsgründen auf, während der Mitarbeiter beim manuellen Bohren flexibel und unmittelbar auf Störungen reagieren kann, um deren Dauer zu minimieren. Unternehmen müssen daher beim Einsatz des Bohrroboters nicht nur ein grundlegendes Verständnis für das System und seine Abläufe entwickeln, sondern auch eine höhere Anfälligkeit für Störungen und die damit verbundenen Unterbrechungen einkalkulieren.

5.3 Synthese

Im dritten Teil des Vergleichs erfolgte eine Analyse der Zeitdaten des manuellen und des semi-autonomen Bohrprozesses. Zunächst wurden die Zeitanteile der verschiedenen Ablaufarten gegenübergestellt. Anschließend erfolgte die Analyse der Synthesevarianten 1 und 2, um die Unterschiede in den Zeitarten zu untersuchen und die endgültige Effizienz beider Prozesse anhand der Zeit pro Bohrloch zu bewerten.

Beim *Vergleich der Zeitanteile der verschiedenen Ablaufarten* lag der Fokus entsprechend dem Untersuchungsrahmen ausschließlich auf den Zeitanteilen nach dem Ausführen. Rüsttätigkeiten blieben unberücksichtigt, da sie nicht Gegenstand der Untersuchung waren. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde zudem nur der „Anteil ohne erholungsbedingtes Unterbrechen“ (siehe Kap. 4.6) herangezogen. Dies verhinderte eine Verzerrung der Werte durch Pausenzeiten und stellte sicher, dass ausschließlich die relevanten und beeinflussbaren Ablaufarten betrachtet wurden. Die erholungsbedingten Unterbrechungen wurden daher auf 0 % gesetzt und nicht miteinander verglichen, um den Fokus auf die tatsächlichen Prozessunterschiede zu lenken.

Der Vergleich zeigte, dass beide Prozesse einen hohen Anteil an Haupt- und Nebentätigkeiten bzw. -nutzungen aufwiesen. Der manuelle Bohrprozess erreichte hierbei einen Gesamtanteil beider Ablaufarten von insgesamt 76 %, während der semi-autonome Bohrprozess bei 61 % lag. Bei einer differenzierteren Betrachtung zeigte sich jedoch, dass die Haupttätigkeit bzw. -nutzung beim Bohrroboter (BH) mit 44 % deutlich über dem Wert des manuellen Prozesses (MN) lag, der lediglich 25 % erreichte. Somit verbrachte der Bohrroboter fast doppelt so viel Zeit mit den tatsächlich wertschöpfenden Tätigkeiten wie der Mitarbeiter. Entsprechend dazu fiel der Anteil der manuellen Nebentätigkeit (MN) mit 51 % deutlich höher aus als die Nebennutzung des Bohrroboters (BN)

mit nur 17 %. Diese Werte verdeutlichen, dass der Mitarbeiter einen erheblichen Teil seiner Zeit für unterstützende Tätigkeiten aufwendete, während der Bohrroboter effizienter auf die eigentliche Haupttätigkeit ausgerichtet war.

Der Anteil der zusätzlichen Tätigkeiten bzw. -nutzungen war bei beiden Prozessen eher gering, unterschied sich dennoch leicht. Beim manuellen Bohrprozess (MZ) betrug dieser Anteil 7 %, während er beim Bohrroboter (BZ) nur 2 % ausmachte. Diese Differenz lässt sich, wie bereits in Kap. 5.2 erläutert, auf die unterschiedlichen Arbeitssysteme zurückführen und stellt somit keinen grundlegenden Unterschied im eigentlichen Bohrprozess dar.

Ein markanter Unterschied zeigte sich bei den Unterbrechungen. Während das ablaufbedingte Unterbrechen beim manuellen Bohrprozess (MA) mit 0 % nicht aufgetreten ist, wies der Bohrroboter (BA) einen Anteil von 5 % auf. Noch deutlicher wurde die Differenz beim störungsbedingten Unterbrechen. Während der manuelle Bohrprozess (MS) lediglich einen Anteil von 3 % verzeichnete, lag dieser Wert beim Bohrroboter (BS) mit 31 % signifikant höher. Diese erhöhten Anteile an zusätzlichen Tätigkeiten beim semi-autonomen Bohrprozesses wurden bereits im Vergleich der Ablaufanalysen in Kap. 5.2 identifiziert und erklärt.

Ein weiterer Unterschied zeigte sich bei den persönlichen Unterbrechungen. Während beim manuellen Bohrprozess (MP) ein Anteil von 6 % verzeichnet wurde – bedingt durch Raucherpausen sowie informelle Gespräche – wurden beim Bohrroboter keine persönlichen Unterbrechungen (BP) erfasst. Dies liegt daran, dass der Jaibot-Operator während der autonomen Betriebsphasen des Roboters nicht aktiv in den Ablauf eingreifen muss, wodurch persönliche Pausen in diesen Zeiträumen nicht relevant für die Zeitaufnahme sind.

Der *Vergleich der Syntheseergebnisse (Variante 1)* stellte die Zeitwerte beider Prozesse nach dem Ausführen mit Fokus auf den Menschen (manueller Bohrprozess) bzw. das Betriebsmittel (semi-autonomer Bohrprozess) gegenüber. Da in dieser ersten Variante die erholungsbedingten Unterbrechungen unverändert aus der Zeitaufnahme übernommen wurden, unterliegt diese Synthesevariante gewisser Verzerrung in ihrer Vergleichbarkeit. Diese Verzerrung lässt sich anhand der unterschiedlichen Verteilung der erholungsbedingten Unterbrechungen quantifizieren, die beim manuellen Bohrprozess (ME) 21 % der Gesamtaufnahmezeit ausmacht, während beim semi-autonomen Bohrprozess (BE) lediglich 12 % darauf entfallen. Da diese Synthesevariante eine mögliche Vorgehensweise darstellt und unmittelbar auf den aufgenommenen Zeitdaten basiert, wurde sie dennoch in den Vergleich einbezogen, um erste Tendenzen und grundlegende Unterschiede zwischen den beiden Bohrprozessen zu identifizieren.

Bereits im Gesamtergebnis der Synthese als Zeit je Einheit zeigte sich eine signifikante Differenz. Während der manuelle Bohrprozess für die Erstellung eines einzelnen Bohrlochs 03:11 Min (318,69 HM) benötigte, kam der semi-autonome Bohrprozess mit 01:25 Min (140,84 HM) aus, was einer deutlichen Zeitersparnis vom Bohrroboter gegenüber dem Mitarbeiter von mehr als 55 % entsprach. Dieses Verhältnis setzte sich auch auf in der detaillierteren Betrachtungsebene der Synthese fort. Betrachtet man die Grundzeit, die den eigentlichen Bohrprozess sowie seine direkt zugehörigen Abläufe umfasste, zeigte sich eine vergleichbare Struktur. Die

Grundzeit des manuellen Bohrprozesses betrug 02:02 Min (203,77 HM) und war damit mehr als doppelt so hoch wie die des Bohrroboters mit 00:59 Min (99,01 HM). Dies unterstrich, dass der Kernprozess des Bohrens beim semi-autonomen Verfahren deutlich effizienter ablief als beim manuellen Bohren.

Neben der Grundzeit hatten auch die Verteil- und Erholungszeiten Einfluss auf die Gesamtzeiten der beiden Prozesse. Beim manuellen Bohrprozess lag die Erholungszeit bei 35 % der Grundzeit, während die Verteilzeit weitere 21 % der Grundzeit ausmachte. Insgesamt ergab sich damit ein zusätzlicher Zeitaufwand von 56 % über die reine Grundzeit hinaus. Beim semi-autonomen Bohrprozess fiel dieser Anteil mit einer Betriebsmittel-Verteilzeit von 42 % der Grundzeit geringer aus, sodass sich ein relativer Vorteil von 14 % zugunsten des Bohrroboters ergab. Allerdings war dieser Unterschied im Vergleich zur Grundzeit eher gering, sodass die wesentliche Zeitersparnis vor allem auf den eigentlichen Bohrprozess selbst zurückzuführen war und weniger auf die Verteil- oder Erholungszeiten.

Eine genauere Betrachtung der Grundzeit zeigte weitere Unterschiede zwischen den beiden Prozessen. Beim manuellen Bohrprozess setzte sich die Grundzeit ausschließlich aus der Tätigkeitszeit zusammen, da während der Zeitaufnahme keine zusätzlichen Wartezeiten aufgetreten waren. Trotz dieser unterbrechungsfreien Ausführung innerhalb der Grundzeit beim manuellen Bohrprozess war sie dennoch doppelt so hoch wie die des Bohrroboters. Dies unterstrich, dass der eigentliche Kernprozess des manuellen Bohrens selbst unter optimalen Bedingungen ohne Unterbrechungen grundsätzlich länger dauerte und somit ineffizienter war als der des Bohrroboters.

Auch die Zusammensetzung der Verteilzeit unterschied sich zwischen den beiden Prozessen. Während sie beim manuellen Bohrprozess zu 13 % aus sachlicher und zu 8 % aus persönlicher Verteilzeit bestand, hatte der semi-autonome Bohrprozess mit einer Betriebsmittel-Verteilzeit von 42 % der Grundzeit eine deutlich höhere Verteilzeit. Dies wies darauf hin, dass der manuelle Bohrprozess eine stabilere und flüssigere Prozessstruktur aufwies, da beim Bohrroboter eine größere Anzahl an zusätzlichen Tätigkeiten und störungsbedingten Unterbrechungen in die Verteilzeit einfließen. Während persönliche Unterbrechungen tendenziell reduziert oder eliminiert werden konnten, waren störungsbedingte Unterbrechungen oft durch das Arbeitssystem oder äußere Faktoren bedingt und daher schwerer zu vermeiden.

Dennoch blieb der grundsätzliche Vorteil des Bohrroboters bestehen, da der eigentliche Kernprozess des Bohrens beim Bohrroboter insgesamt deutlich schneller ablief als durch den Mitarbeiter. Es ließ sich also aus der ersten Synthesevariante festhalten, dass der Bohrroboter vor allem durch seinen doppelt so schnellen Bohrprozess einen enormen Effizienzvorteil gegenüber dem Mitarbeiter aufwies, während Verteilzeiten zwar beim Bohrroboter auch einen leicht geringeren Anteil aufwiesen, jedoch nicht ausschlaggebend für diesen starken Effizienzvorteil waren.

Der *Vergleich der Synthesergebnisse (Variante 2)* verbessert die Vergleichbarkeit der Zeitwerte, indem erholungsbedingte Unterbrechungen auf einheitliche Prozentwerte standardisiert wurden (siehe Kap. 4.6). Dadurch wurden Verzerrungen ausgeschlossen, die in der ersten Variante durch die unterschiedlich lange Erfassung

von Pausenzeiten bzw. erholungsbedingten Unterbrechungen entstanden. Der Anteil der erholungsbedingten Unterbrechungen wurde für beide Synthesen einheitlich auf 11,1 % der Gesamtaufnahmezeit festgelegt, was einer Reduktion um 9,9 % beim manuellen Bohrprozess und 0,9 % beim semi-autonomen Bohrprozess entspricht. Aufgrund dieser Anpassung war zu erwarten, dass sich die Auswirkungen insbesondere beim manuellen Bohrprozess deutlicher zeigen als beim semi-autonomen Verfahren.

Diese Anpassung spiegelte sich bereits im Gesamtergebnis der Synthese als Zeit je Einheit unmittelbar wider. Während sich die Zeit je Einheit beim semi-autonomen Bohrprozess nur geringfügig um 00:03 Min (5,00 HM) auf 01:22 Min (137,45 HM) reduzierte, fiel die Korrektur beim manuellen Bohrprozess deutlich stärker aus. Hier sank die Zeit je Einheit um 00:25 Min (41,67 HM) auf 02:46 Min (277,38 HM). Dadurch verringerte sich der relative Vorteil des Bohrroboters leicht, blieb jedoch mit einer Zeitersparnis von weiterhin über 50 % signifikant. Dies bestätigte die bereits in der ersten Synthesevariante beobachtete Tendenz, dass der Bohrroboter für das Bohren eines Bohrlochs annähernd nur die Hälfte der Zeit des manuellen Bohrprozesses benötigt.

Auf der detaillierteren Ebene der Grundzeiten zeigten sich nur minimale Anpassungen. Während die Grundzeit des manuellen Bohrprozesses unverändert bei 02:02 Min (203,77 HM) blieb, führte die leichte Reduktion der Brachzeit durch die angepasste Erholungszeit zu einer minimalen Verkürzung der Grundzeit des semi-autonomen Bohrprozesses um 00:02 Min (3,33 HM) auf 00:57 Min (95,61 HM). Dies bestätigte erneut die in der ersten Synthesevariante beobachtete Tendenz, dass der Bohrroboter insbesondere in der Grundzeit signifikante Effizienzvorteile aufweist, die primär auf die Optimierung des eigentlichen Bohrvorgangs und der unmittelbar damit verbundenen Abläufe zurückzuführen sind.

Im Bereich der Verteilzeiten zeigten sich in dieser Synthesevariante jedoch deutliche Unterschiede zur ersten Variante. Die Verteilzeit beim semi-autonomen Bohrprozess stieg leicht um 2 % auf 44 % der Grundzeit an, während sie beim manuellen Bohrprozess mit 21 % unverändert blieb. Auch die Aufteilung in sachliche und persönliche Verteilzeit blieb dort konstant. Die größte Veränderung betraf die Erholungszeit, die von 35 % auf 15 % der Grundzeit reduziert wurde. Dadurch sank der summierte Anteil aus Erholungs- und Verteilzeiten beim manuellen Bohrprozess von 56 % auf 36 %. Damit lag der Wert nun deutlich unter der Verteilzeit des semi-autonomen Bohrprozesses, die 44 % der Grundzeit ausmachte. Der höhere Anteil der Verteilzeit beim Bohrroboter im Vergleich zur summierten Erholungs- und Verteilzeit des manuellen Bohrprozesses bestätigte nun auch die Erkenntnisse aus der Ablaufanalyse in Kap. 5.2, die zeigten, dass der Bohrroboter wesentlich mehr Ablaufabschnitte außerhalb des eigentlichen Bohrzyklus aufwies als der manuelle Bohrprozess. Dies wurde bereits im Ablaufvergleich auf die technische Komplexität des Bohrroboters zurückgeführt und konnte nun auch quantitativ durch die Zeitdaten dieser Synthesevariante gestützt werden.

Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Prozessen blieb bestehen, da der Bohrroboter pro Bohrloch weiterhin nur etwa die Hälfte der Zeit des manuellen Bohrprozesses benötigte. Lediglich der Anteil der Verteilzeiten hatte sich in dieser Synthesevariante insofern verändert, als dass die Verteilzeit beim semi-autonomen Bohrprozess nun deutlich über der summierten Erholungs- und Verteilzeit des manuellen Bohrprozesses lag.

Zusammenfassend bestätigt die Untersuchungen der Zeitdaten beider Prozesse die erhöhte Effizienz des semi-autonomen Bohrprozesses, maßgeblich geprägt durch den hohen Anteil an wertschöpfenden Haupttätigkeiten. Die erste Synthesevariante verdeutlicht diesen Vorteil durch signifikant kürzere Ausführungszeiten im Vergleich zum manuellen Verfahren. Diese Beobachtung wird auch durch die zweite Synthesevariante bestärkt, die trotz der Anpassung für erholungsbedingte Unterbrechungen die effizientere Leistung des Bohrroboters aufzeigt. Die Ergebnisse unterstreichen somit das Potenzial des Bohrroboters für Bauprojekte, bei denen eine hohe Bohrleistung und eine Minimierung der Ausführungszeiten entscheidende Faktoren sind.

6 Fazit und Ausblick

6.1 Fazit

Die Bauindustrie steht vor der Herausforderung, durch Robotik und Automatisierung Effizienzpotenziale zu erschließen und bestehende Defizite in der Digitalisierung zu reduzieren. In dieser Arbeit wurde mithilfe der REFA-Zeitaufnahme der manuelle und der semi-autonome Bohrprozess hinsichtlich ihrer Zeit- und Ablaufstrukturen untersucht, um Unterschiede in Effizienz, Prozessstabilität und Vergleichbarkeit zu analysieren. Die Untersuchung zeigt, dass Automatisierung erhebliche Potenziale zur Optimierung bietet, jedoch auch mit spezifischen Herausforderungen und Einschränkungen einhergeht. Die folgenden Antworten auf die Forschungsfragen fassen die zentralen Erkenntnisse der Untersuchung zusammen und reflektieren deren Aussagekraft im Kontext der Baupraxis.

Die *erste Forschungsfrage* beschäftigt sich mit der Anwendbarkeit der REFA-Zeitaufnahme in Bauprozessen sowie den damit verbundenen Herausforderungen. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die REFA-Zeitaufnahme eine präzise und strukturierte Methodik zur Erfassung von Zeit- und Ablaufdaten in Bauprozessen darstellt. Besonders ihre systematische Vorgehensweise als Fremdaufschreibung durch geschulte Arbeitsorganisatoren gewährleistet eine hohe Verlässlichkeit und Genauigkeit der erfassten Daten. Dadurch können sowohl manuelle als auch automatisierte Bauprozesse detailliert analysiert werden, wodurch wertvolle Einblicke in Prozessstrukturen und zeitliche Abläufe gewonnen werden können.

Allerdings ergeben sich im Baukontext erhebliche Einschränkungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit und Wiederverwendbarkeit der erhobenen Daten. Die Bauindustrie zeichnet sich durch die Einzigartigkeit jedes Bauprojekts aus, wodurch standardisierte Prozessabläufe selten gegeben sind. Im Gegensatz zur Serienfertigung, in der identische Arbeitsprozesse wiederholt ablaufen, variieren die Bedingungen auf Baustellen erheblich, so dass eine direkte Übertragbarkeit der Zeitaufnahmen nicht ohne Weiteres möglich ist. Faktoren wie unterschiedliche Arbeitsaufträge, variierende Baustellengegebenheiten oder bauspezifische Rahmenbedingungen beeinflussen die Ergebnisse maßgeblich und schränken deren allgemeine Aussagekraft ein.

Diese methodische Grenze bedeutet jedoch nicht, dass die REFA-Zeitaufnahme für Bauprozesse ungeeignet ist. Vielmehr ist eine sorgfältige Kontextbewertung erforderlich, um die erfassten Zeit- und Ablaufdaten angemessen zu interpretieren. Eine isolierte Gegenüberstellung der erhobenen Zeitwerte ohne Berücksichtigung der jeweiligen Einflussgrößen kann zu verzerrten Schlussfolgerungen führen. Um die erhobenen Daten valide nutzen zu können, müssen daher wesentliche Parameter des Arbeitssystems berücksichtigt werden. In vielen Fällen kann es erforderlich sein, die Zeitwerte durch Auf- oder Abschläge zu korrigieren, um äußere Einflussfaktoren zu berücksichtigen und die Vergleichbarkeit der Daten zu verbessern.

Um die identifizierten Herausforderungen zu adressieren, sind gezielte Forschungsansätze möglich, die darauf abzielen, die Anwendbarkeit der REFA-Zeitaufnahme im Bauwesen zu verbessern. Ein vielversprechender Ansatz könnte die Entwicklung von Methoden sein, mit denen die erhobenen Ablauf- und Zeitdaten so aufbereitet

werden, dass sie über einzelne Baustellen hinaus nutzbar sind. Insbesondere könnte untersucht werden, inwiefern ergänzende Einflussgrößenanalysen genutzt werden können, um Planzeiten zu generieren, die flexibel an unterschiedliche Baustellenbedingungen angepasst werden können. Darüber hinaus wäre zu prüfen, inwieweit digitale Technologien – etwa KI-gestützte Datenauswertung oder automatisierte Erfassungssysteme – die Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit von Zeitaufnahmen verbessern können.

Die *zweite Forschungsfrage* beschäftigt sich mit der Nutzung der Ergebnisse der REFA-Zeitaufnahme zur Bewertung und Entscheidungsfindung zwischen traditionellen und automatisierten Bauverfahren. Die Untersuchung zeigt, dass die REFA-Zeitaufnahme eine solide Grundlage für die Bewertung unterschiedlicher Bauverfahren darstellen kann. Sie erfasst nicht nur Ablauf- und Zeitdaten, sondern dokumentiert auch relevante Einflussfaktoren wie das Arbeitssystem, Bezugsmengen und Leistungsfaktoren. Diese Daten bieten eine Basis, um traditionelle und automatisierte Verfahren objektiv gegenüberzustellen und potenzielle Effizienzvorteile oder Prozessschwächen zu identifizieren. Die erfassten Zeit- und Ablaufdaten ermöglichen eine differenzierte Bewertung der Prozessstrukturen und Prozesskomplexität, während Effizienzunterschiede anhand der Zeitdaten quantifiziert werden können. Zudem können durch die Erfassung von Bezugsmengen und Einflussgrößen mögliche Störfaktoren oder Abweichungen identifiziert werden. Das Arbeitssystem selbst stellt eine wesentliche Grundlage für die Vergleichbarkeit der erfassten Daten dar.

Allerdings zeigt sich, dass die REFA-Zeitaufnahme alleine keine vollständige Entscheidungsgrundlage bietet. So bleiben wichtige quantitative Faktoren wie Kosten oder Ressourceneinsatz unbeachtet. Eine wesentliche Einschränkung liegt darüber hinaus in der fehlenden Berücksichtigung weiterer quantitativer Faktoren wie Kosten oder dem notwendigen Ressourcenbedarf. Während die Zeitaufnahme detaillierte Ablauf- und Zeitdaten liefert, ist für eine ganzheitliche Entscheidungsfindung auch eine wirtschaftliche Bewertung erforderlich, um den tatsächlichen Nutzen eines Bauverfahrens abschätzen zu können. Ebenso bleiben qualitative Aspekte, wie Arbeitsqualität, Ergonomie oder langfristige Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation, unberücksichtigt. Diese Faktoren sind jedoch relevant um nicht nur einen rein quantitativen Vergleich zu ermöglichen, sondern auch die praktische Umsetzbarkeit eines Bauverfahrens im betrieblichen Alltag bewerten zu können.

Ein weiterer kritischer Faktor ist die eingeschränkte Vergleichbarkeit der erfassten Daten. Zeitaufnahmen aus unterschiedlichen Arbeitssystemen sind nur schwer miteinander zu vergleichen, da die Ergebnisse maßgeblich von dem Arbeitsumfeld abhängen, in denen sie aufgenommen wurden. In dieser Untersuchung wurden beispielsweise wesentliche Unterschiede in der Bohrlochdichte, der Deckenhöhe und der baulichen Umgebung identifiziert, die die Aussagekraft des Vergleichs einschränken. Damit sind die gewonnenen Daten zwar wertvoll für eine Analyse innerhalb eines spezifischen Arbeitssystems, lassen sich jedoch nur bedingt auf andere Baustellen oder Rahmenbedingungen übertragen.

Zwar kann eine detaillierte Analyse der jeweiligen Arbeitssysteme die Vergleichbarkeit der Zeitaufnahmen verbessern, jedoch bleibt eine gewisse Unsicherheit bestehen. Eine rein auf REFA-Zeitaufnahmen gestützte Entscheidung zwischen traditionellen und automatisierten Bauverfahren wäre daher angreifbar und sollte durch zusätzliche wirtschaftliche und qualitative Analysen ergänzt werden.

Zukünftige Forschung könnte sich mit der Entwicklung strukturierter Methoden zur Bewertung der Vergleichbarkeit von Zeitaufnahmen befassen. Besonders relevant wäre eine standardisierte Vorgehensweise zur Einschätzung, inwieweit Unterschiede in den Arbeitssystemen die Vergleichbarkeit der Zeitwerte beeinflussen. Darüber hinaus könnte eine erweiterte Kosten-Nutzen-Analyse für den Einsatz von Robotik in Bauprozessen wertvolle Erkenntnisse liefern. Während in dieser Untersuchung eine signifikante Zeitersparnis durch den Bohrroboter gegenüber dem manuellen Bohren nachgewiesen werden konnte, bleibt offen, ab wann sich sein Einsatz wirtschaftlich lohnt und welche Baustellenbedingungen die größten Potenziale für Automatisierung bieten.

Die *dritte Forschungsfrage* zielt auf den direkten Vergleich des manuellen und des semi-autonomen Bohrprozesses anhand der erfassten Zeit- und Ablaufdaten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die beiden Bohrprozesse in unterschiedlichen Arbeitssystemen – also auf verschiedenen Baustellen – durchgeführt wurden. Dies bedeutet, dass eine direkte Gegenüberstellung der Zeitwerte nur eingeschränkt aussagekräftig ist, da verschiedene Rahmenbedingungen die Ergebnisse beeinflussen können. Faktoren wie unterschiedliche Bohrlochdichten, abweichende Deckenhöhen oder variierende bauliche Gegebenheiten wirken sich auf die gemessenen Prozesszeiten aus und können dazu führen, dass Unterschiede nicht ausschließlich auf die spezifische Arbeitsweise der Verfahren, sondern auch auf äußere Einflüsse zurückzuführen sind. Die gewonnenen Erkenntnisse sind daher vor allem als Tendenzen zu interpretieren und nicht ohne Weiteres auf andere Baustellen oder Projekte übertragbar.

Trotz dieser Einschränkung lassen sich klare Unterschiede in den zentralen Aspekten Effizienz, Prozessstabilität und Flexibilität erkennen. Ein wesentlicher Unterschied liegt in der Zeit, die für das eigentliche Bohren benötigt wird. Der semi-autonome Bohrprozess weist hierbei eine höhere Effizienz auf, da der Bohrroboter für die Ausführung eines einzelnen Bohrlochs durchschnittlich nur etwa die Hälfte der Zeit benötigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass automatisierte Prozesse wie das exakte Positionieren und Bohren nahtlos ineinandergreifen, während im manuellen Verfahren zusätzliche Schritte wie das Messen und Markieren erforderlich sind. Dadurch ergibt sich nicht nur eine kürzere Bearbeitungszeit pro Bohrloch, sondern auch eine erhöhte Präzision bei der Positionierung.

Auch die Verteilung der Tätigkeiten unterscheidet sich deutlich. Während der Bohrroboter 44 % seiner Gesamtzeit für die Haupttätigkeit aufwendete, beträgt dieser Anteil beim manuellen Prozess 25 %. Dies zeigt, dass im automatisierten Verfahren ein größerer Anteil der Gesamtzeit tatsächlich für das Bohren selbst genutzt wird, während im manuellen Prozess mehr Zeit für vorbereitende Tätigkeiten aufgewendet werden muss. Dennoch ist der manuelle Prozess flexibler, da der Mitarbeiter auf unvorhergesehene Ereignisse unmittelbar reagieren kann, während der Bohrroboter bei technischen und baubedingten Problemen den Prozess unterbricht und eine manuelle Intervention erfordert.

Ein weiterer zentraler Unterschied liegt in der Störanfälligkeit der beiden Prozesse. Während der semi-autonome Bohrprozess durch einen hohen Automatisierungsgrad gekennzeichnet ist, gehen damit auch ablauf- und störungsbedingte Unterbrechungen einher. Die Daten zeigen, dass beim Bohrroboter 5 % der Gesamtzeit auf ablaufbedingte Unterbrechungen und 31 % auf störungsbedingte Unterbrechungen entfallen. Beim manuellen

Bohrprozess wurden hingegen keine ablaufbedingten Unterbrechungen erfasst, und der Anteil der störungsbedingten Unterbrechungen lag bei lediglich 3 %. Dies verdeutlicht, dass der manuelle Prozess eine höhere betriebliche Stabilität aufweist, da auftretende Probleme unmittelbar durch den Arbeiter behoben werden können.

Die Analyse zeigt somit, dass der semi-autonome Bohrprozess zwar eine höhere Effizienz in der Haupttätigkeit aufweist, diese jedoch durch eine größere Prozesskomplexität und eine höhere Anfälligkeit für Unterbrechungen relativiert wird. Unternehmen, die über den Einsatz eines Bohrroboters nachdenken, müssen daher nicht nur die potenziellen Zeitersparnisse berücksichtigen, sondern auch die damit verbundenen Anforderungen an die Arbeitsorganisation und Prozessplanung.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Vergleich sich primär auf Ablauf- und Zeitdaten konzentriert hat. Andere relevante Aspekte, wie die Rüstzeiten, langfristige wirtschaftliche Effekte oder ergonomische Faktoren, wurden nicht betrachtet. Diese Einschränkungen verdeutlichen, dass eine umfassende Bewertung der beiden Verfahren über die reine Analyse der Ausführungszeiten hinausgehen muss.

Um die Aussagekraft dieser Untersuchung weiter zu validieren, könnten zukünftige Studien zusätzliche Zeitaufnahmen beider Prozesse unter unterschiedlichen Baustellenbedingungen durchführen. Dies würde ermöglichen, die identifizierten Unterschiede in verschiedenen Kontexten zu überprüfen und so die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu verbessern. Während diese Arbeit den Fokus auf die reine Ausführung der Bohrungen gelegt hat, könnte ein weiterer Forschungsansatz den Vergleich um vor- und nachgelagerte Prozessschritte wie Planung, Qualitätssicherung und Montage erweitern, um so die Gesamteffizienz der beiden Verfahren besser bewerten zu können. Zusätzlich wäre eine Langzeitstudie zur Wartungs- und Störanfälligkeit des Bohrroboters sinnvoll, um zu analysieren, inwieweit die identifizierten Unterbrechungen des Bohrroboters langfristig reduziert werden können. Dies könnte dazu beitragen, Maßnahmen zu entwickeln, mit denen ablauf- und störungsbedingte Unterbrechungen sowohl in ihrer Häufigkeit als auch in ihrer Dauer minimiert werden, um so den semi-autonomen Bohrprozess weiter zu optimieren.

Zusammenfassend hat diese Untersuchung gezeigt, dass die REFA-Zeitaufnahme eine präzise Methode zur Erfassung von Bauprozessen ist, deren Aussagekraft jedoch durch die spezifischen Rahmenbedingungen der Bauindustrie begrenzt wird. Sie ermöglicht eine detaillierte Analyse von Prozessstrukturen und Effizienzunterschieden, stößt jedoch insbesondere bei der Vergleichbarkeit von Zeitaufnahmen aus unterschiedlichen Arbeitssystemen an ihre Grenzen. Der in dieser Arbeit durchgeführte Vergleich hat zu der Erkenntnis geführt, dass trotz dieser Einschränkungen grobe Tendenzen erkennbar sind. So wurden im semi-autonomen Bohrprozess durch den Bohrroboter erhebliche Effizienzvorteile gegenüber dem traditionellen manuellen Bohrprozess während der Ausführung erzielt. Diese ergeben sich insbesondere aus der Reduktion manueller Tätigkeiten und der Optimierung des Bohrvorgangs. Gleichzeitig wurde deutlich, dass diese Effizienzgewinne durch eine erhöhte Störanfälligkeit und eine geringere Flexibilität des Bohrroboters im Vergleich zum manuellen Verfahren relativiert wurden. Um eine fundiertere Bewertung der beiden Verfahren durchführen zu können, sollten zukünftig umfangreichere Studien durchgeführt werden, bei denen die zu bewertenden Prozesse unter möglichst

identischen Baustellenbedingungen stattfinden, um die Aussagekraft der erfassten Zeit- und Ablaufdaten weiter zu erhöhen.

6.2 Ausblick

Angesichts der dynamischen Entwicklungen in der Robotik und Automatisierung steht die Bauindustrie am Beginn eines grundlegenden Wandels, der Effizienz und Planbarkeit nachhaltig steigern könnte. Die Erkenntnisse dieser Arbeit bieten dabei nicht nur eine Momentaufnahme der aktuellen Möglichkeiten, sondern zeigen auch, dass der Einsatz der REFA-Zeitaufnahme wertvolle Impulse für zukünftige Bewertungen dieser Technologien liefern kann. Die folgenden Perspektiven beleuchten Chancen und Risiken der zunehmenden Automatisierung sowie den möglichen zukünftigen Einfluss der REFA-Zeitaufnahme auf die Bauindustrie.

Die *Automatisierung* verspricht schnellere und stabilere Abläufe, die eine entscheidende Verkürzung der Ausführungszeiten ermöglichen können. Dies führt zu höherer Planbarkeit und schafft eine verlässliche Basis für die Projektsteuerung, insbesondere bei Auftragszeiten, Ressourcenbedarf und Kosten. Fortschritte in digitalen Vorhersage- und Simulationstools werden diesen Effekt weiter verstärken und dazu beitragen, die Vernetzung der Baustelle effizienter zu gestalten. Beispielsweise wird die automatisierte Meldung von Fortschritten und Aufgabenübergaben künftig helfen, Abläufe nahtloser zu gestalten und Projektteams verlässlicher zu koordinieren. Ein weiterer Vorteil der Automatisierung besteht in der potenziellen körperlichen Entlastung der Mitarbeiter auf der Baustelle, was sowohl ergonomische als auch gesundheitliche Vorteile mit sich bringt. Dies könnte nicht nur das Wohl der Mitarbeiter steigern, sondern auch die Attraktivität der Baubranche, insbesondere für technikaffine Fachkräfte, erheblich verbessern. Gleichzeitig erfordert die zunehmende Automatisierung eine Anpassung der Qualifikationsprofile, da digitale Kompetenzen im Bauwesen weiter an Bedeutung gewinnen.

Bei all den Chancen, die Automatisierung mit sich bringt, bleibt es jedoch wichtig, die Entscheidung für solche Technologien stets fundiert zu treffen und den spezifischen Anwendungsfall differenziert zu bewerten. Die vorliegenden Ergebnisse liefern hierfür eine wertvolle Datengrundlage, können jedoch nur einen Teil der notwendigen Überlegungen abdecken. Zukünftige Entscheidungen über den Einsatz von Robotik sollten daher auf umfassende Analysen gestützt werden, die nicht nur Effizienz, sondern auch wirtschaftliche und soziale Faktoren berücksichtigen.

Die *REFA-Zeitaufnahme* wird dabei auch in Zukunft eine zentrale Rolle spielen. Mit zunehmender Automatisierung wird der Bauprozess in vielen Bereichen vorhersagbarer, was die Relevanz der erhobenen Ablauf- und Zeitdaten weiter erhöht. Die Möglichkeit, dass Maschinen und Betriebsmittel zukünftig eigene Ablaufdaten kontinuierlich erfassen, eröffnet zusätzlich neue Perspektiven für die Datenqualität und Verfügbarkeit. Dennoch wird es auch weiterhin eine manuelle REFA-Zeitaufnahme benötigen, um das gesamte Arbeitssystem und wichtige Einflussgrößen zu erfassen. Besonders in komplexen Bauprozessen bleibt eine umfassende Betrachtung im Gesamtzusammenhang unerlässlich, um die Qualität der erhobenen Daten und ihre Aussagekraft fundiert bewerten zu können. Mit dem steigenden Datenaufkommen auf Baustellen wird die REFA-Zeitaufnahme daher

nicht an Relevanz verlieren, sondern vielmehr als ergänzendes Werkzeug zur kontinuierlichen Verbesserung der Bauabläufe dienen.

Die fortschreitende Automatisierung eröffnet der Bauindustrie signifikante Chancen, doch bleibt eine sorgfältige Abwägung der Anwendung unabdingbar, um sowohl Effizienzsteigerungen als auch eine nachhaltige Prozessqualität sicherzustellen. Zukünftige Forschung könnte sich mit der Frage beschäftigen, wie automatisiert erhobene Prozessdaten optimal mit klassischen Zeitaufnahmemethoden kombiniert werden können, um die Aussagekraft von Analysen weiter zu steigern.

VIII Anhang 1: Ergänzende Abbildungen und Materialien

In diesem Anhang sind Abbildungen und ergänzende Materialien enthalten, die zur Veranschaulichung der theoretischen Grundlagen und des Untersuchungsrahmens dieser Arbeit dienen. Die dargestellten Abbildungen stammen sowohl aus externen Quellen als auch aus eigenen Aufnahmen und Erstellungen.



Abb. A1.1 Der Jaibot beim Bohren von Löchern in die Betondecke, überwacht von einem Jaibot-Operator mit Tablet und Fernsteuerung; im Vordergrund die PLT-Station (PLT 300) auf einem Stativ (Hilti Deutschland AG 2023).

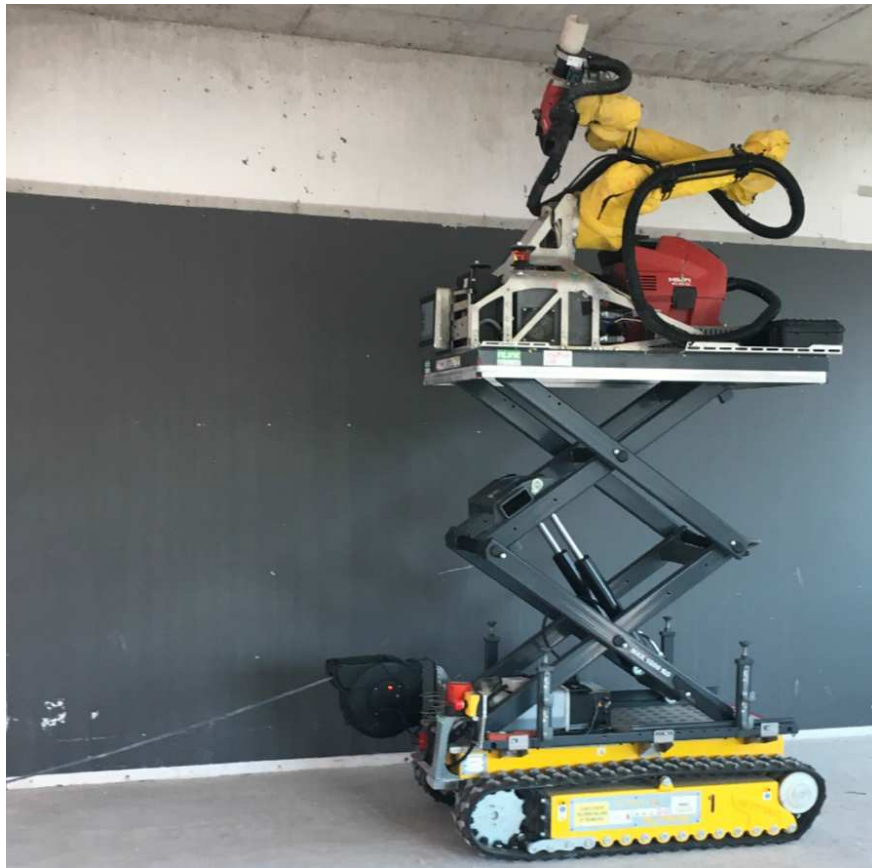


Abb. A1.2 Einer der ersten Prototypen und Vorläufer des Jaibots, bestehend aus einer Plattform mit Kettenantrieb, einer darauf montierten Scherenbühne zur Höhenanpassung, einem gelb ummantelten Roboterarm mit Bohrkopf sowie einem integrierten Hilti Staubsauger (Krönert/Zanona 2021, S. 450).



Abb. A1.3 Einordnung des Bohrprozesses mit dem Jaibot in den Gesamtbauablauf eines Bauprojekts (eigene Darstellung).



Abb. A1.4 Seitenansicht der Plattform des Jaibots mit Kettenantrieb (unten), der roten Plattform mit Bedieneinheit auf der Oberseite (mittig) und dem Ansatz des Bohrturms (rechts oben) (eigene Aufnahme).



Abb. A1.5 Seitenabteil (Service Kompartiment) des Jaibots mit Kompressor- und Farbmarkierungssystem (links), Staubsauger (rechts), sowie Stativ für die PLT-Station und Messlanze (oben) (Hilti Deutschland AG 2022).



Abb. A1.6 Heckabteil (Akku Kompartiment) des Jaibots mit Ersatzakkus und Ladegeräten (links), Fernsteuerung und Tablet (mittig), sowie der PLT-Station (rechts) (Hilti Deutschland AG 2022).

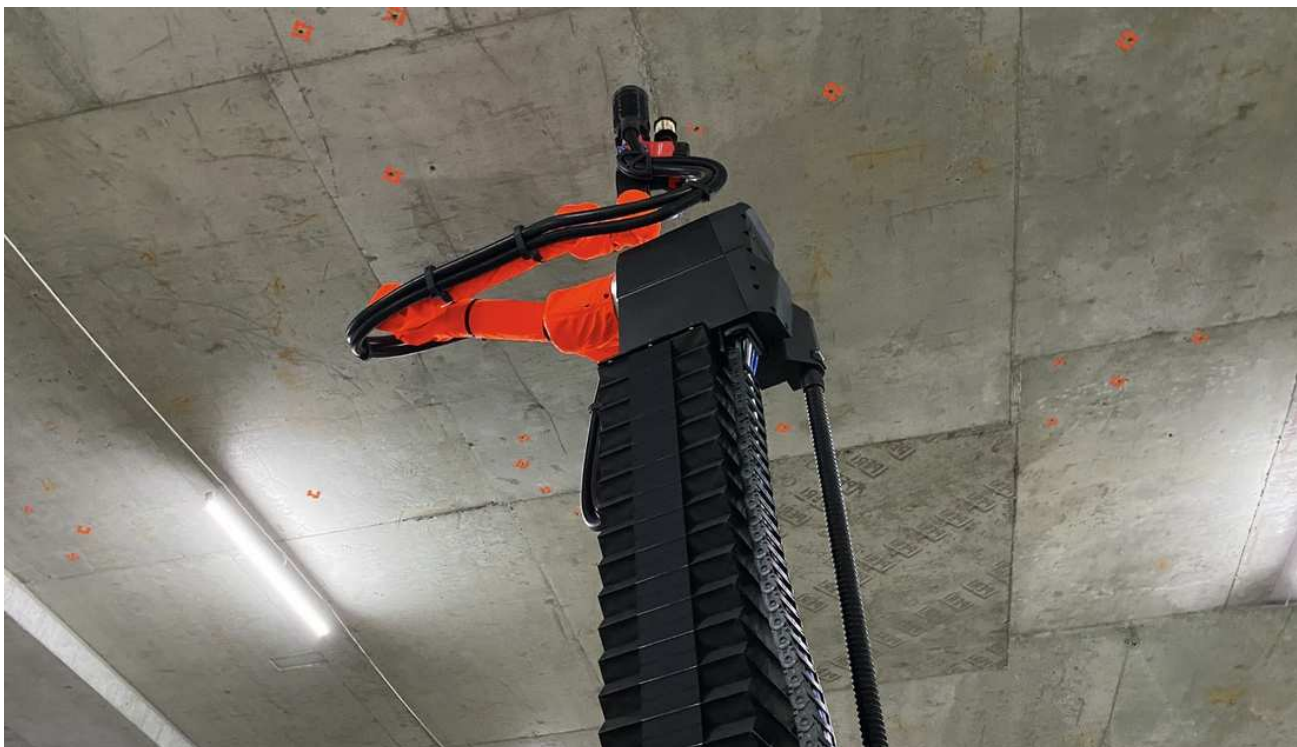


Abb. A1.7 Bohrturm vom Jaibot im ausgefahrenen Zustand während einer Deckenbohrung (Hilti Deutschland AG 2022).



Abb. A1.8 Bohrarm des Jaibots während einer Deckenbohrung, ummantelt mit einer orangenen Schutzhülle und mit Bohrkopf am Ende (Hilti Deutschland AG 2022).

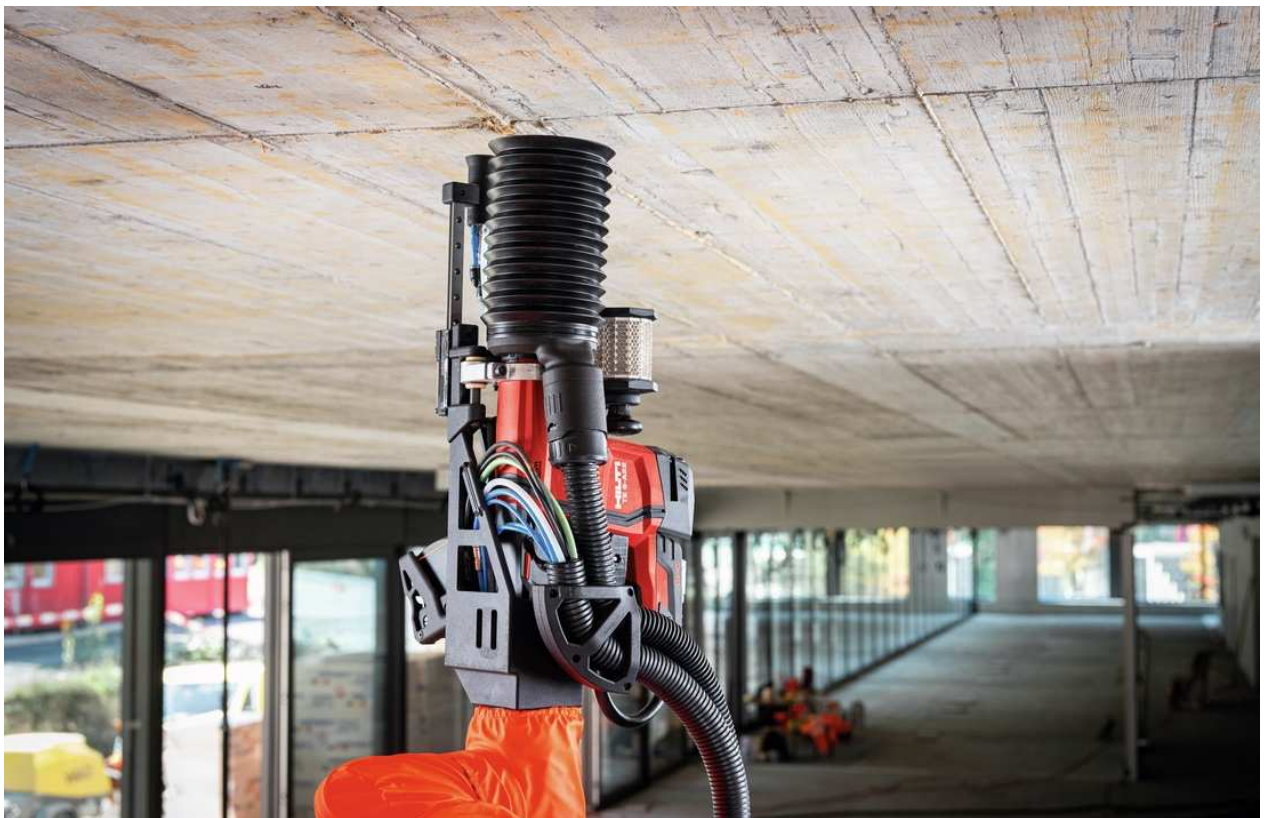


Abb. A1.9 Bohrkopf (Endeffektor) des Jaibots mit sichtbaren Komponenten wie Bohrhammer, Prisma, Abstandsensor, Markierungsdüse sowie weiteren Kabeln und Leitungen (Hilti Deutschland AG 2022).



Abb. A1.10 Markierte Bohrlöcher an einer Betondecke mit unterschiedlichen Markierungsmustern zur Unterscheidung der jeweiligen Gewerke (eigene Aufnahme).



Abb. A1.11 Fernsteuerung von Hilti zur manuellen Steuerung der Funktionen des Jaibots durch den Jaibot-Operator (Hilti Deutschland AG 2022).

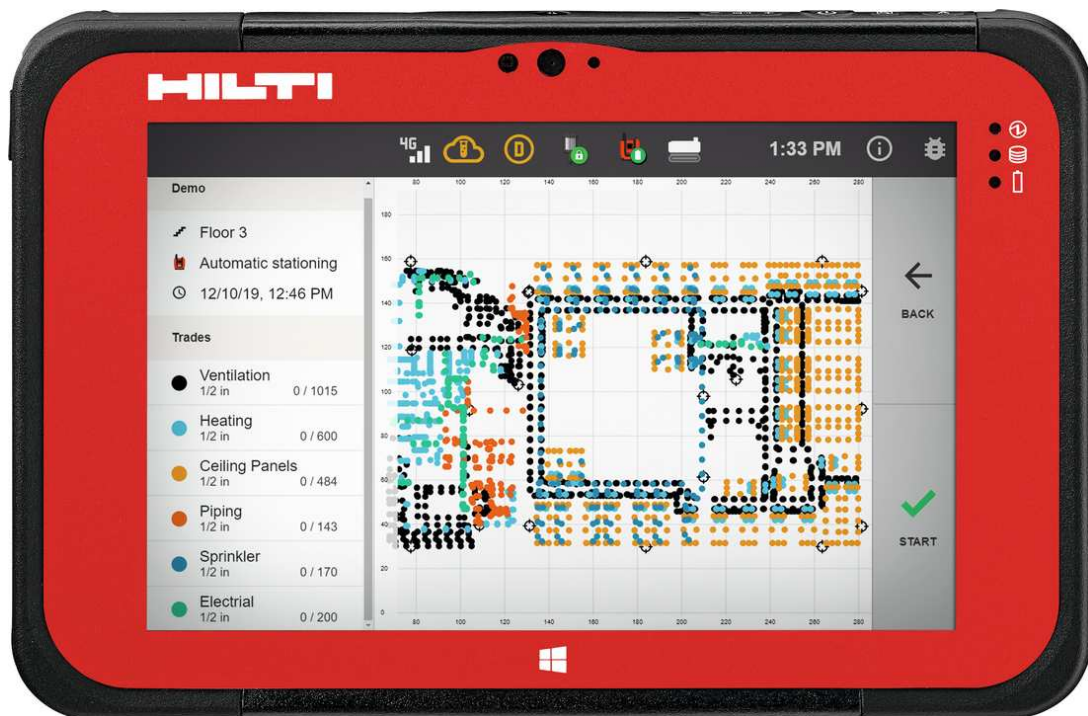


Abb. A1.12 Tablet (PLC 400) von Hilti zur aktiven Steuerung der Automatisierung des Jaibots, dargestellt mit einem geladenen Bohrplan und der Fortschrittsanzeige der Bohrpunkte der verschiedenen Gewerke (Hilti Deutschland AG 2022).

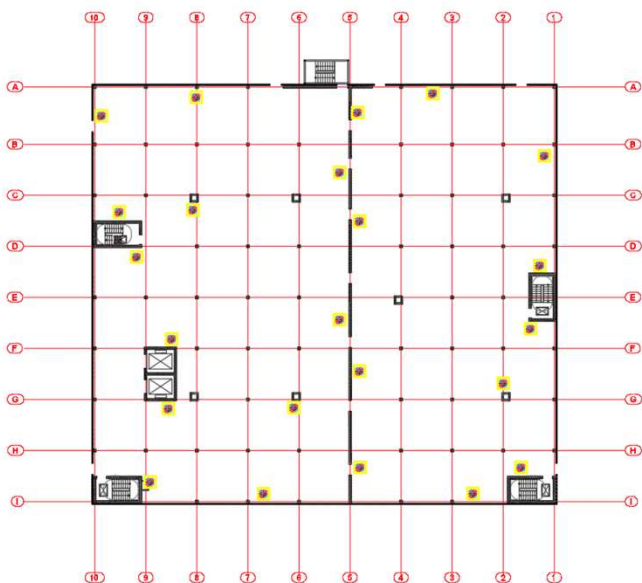


Abb. A1.13 PLT-Station (PT 300) auf einem Stativ mit Jaibot im Hintergrund und sichtbarem grünen Laserstrahl auf dem Prisma (eigene Aufnahme).



Abb. A1.14 An der Rohbauwand auf der Baustelle angebrachte Reflektormarke zur Referenzierung der PLT-Station im Arbeitsbereich des Jaibots (eigene Aufnahme).

MESSKONZEPT – 2. OBERGESCHOSS



Gesamtanzahl Referenzpunkte: 23

-  Position Referenzpunkt (Katzenaugen-Reflektor)
Prismenkonstante -2 mm / Leica Konstante 32,4 mm
-  Bereich für die Totalstation PLT 300
nicht für Jaibot vorgesehen
-  Position der Totalstation PLT 300 zur Stationierung

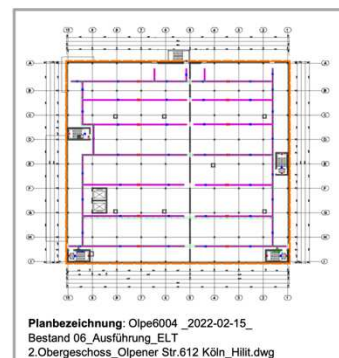


Abb. A1.15 Beispiel eines von Hilti entwickelten Messkonzepts zur optimalen Platzierung der Reflektormarken auf der Baustelle (Hilti Deutschland AG 2022).

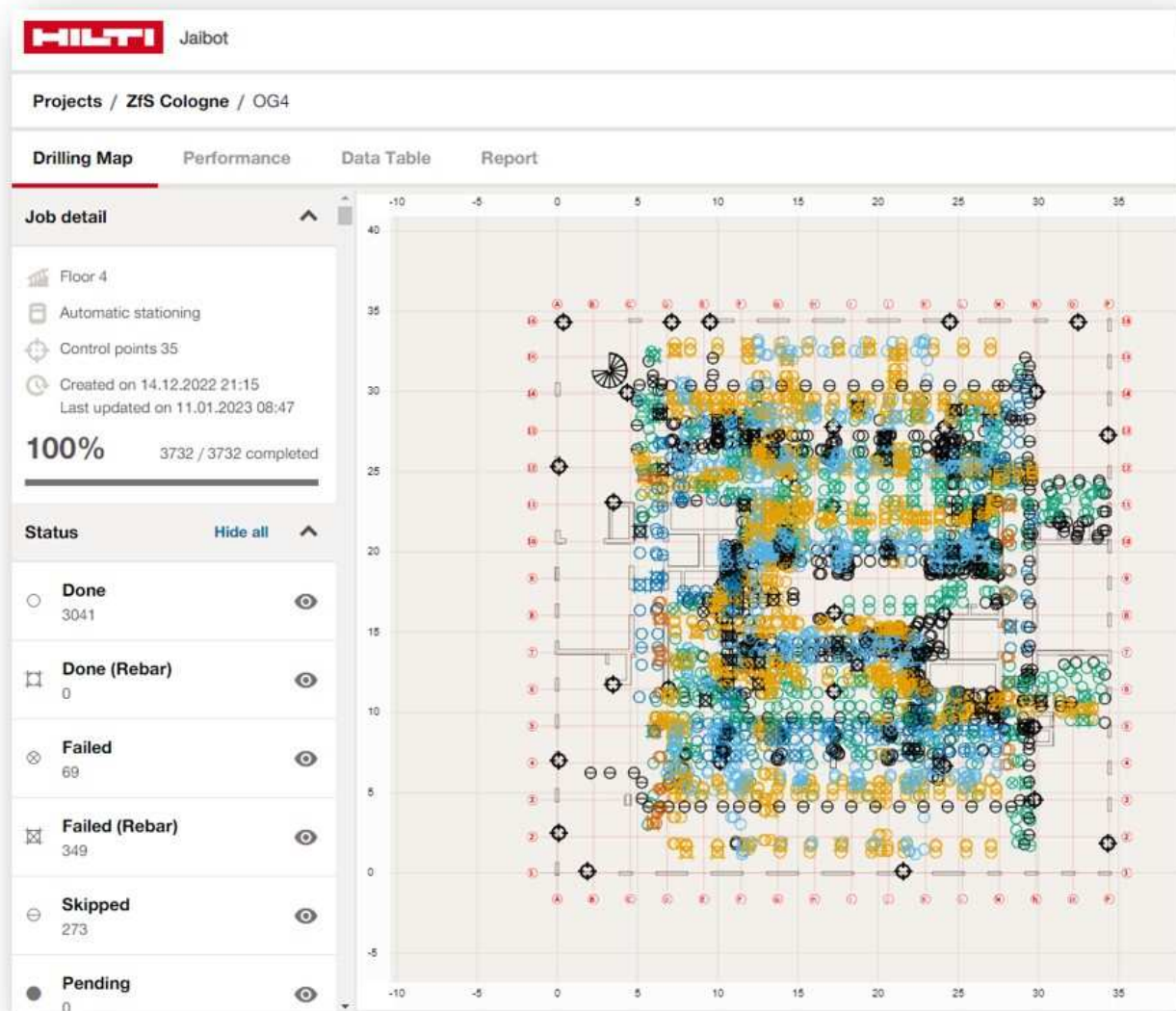


Abb. A1.16 Digitaler Bohrplan des Jaibots mit farblich markierten Bohrpunkten, rot markiertem Achsraster und schwarz markierten Reflektormarken (Hilti Deutschland AG 2022).



Abb. A1.17 Jaibot fährt über die ausgeklappten Rampen in die geöffnete Transportbox (Hilti Deutschland AG 2022).

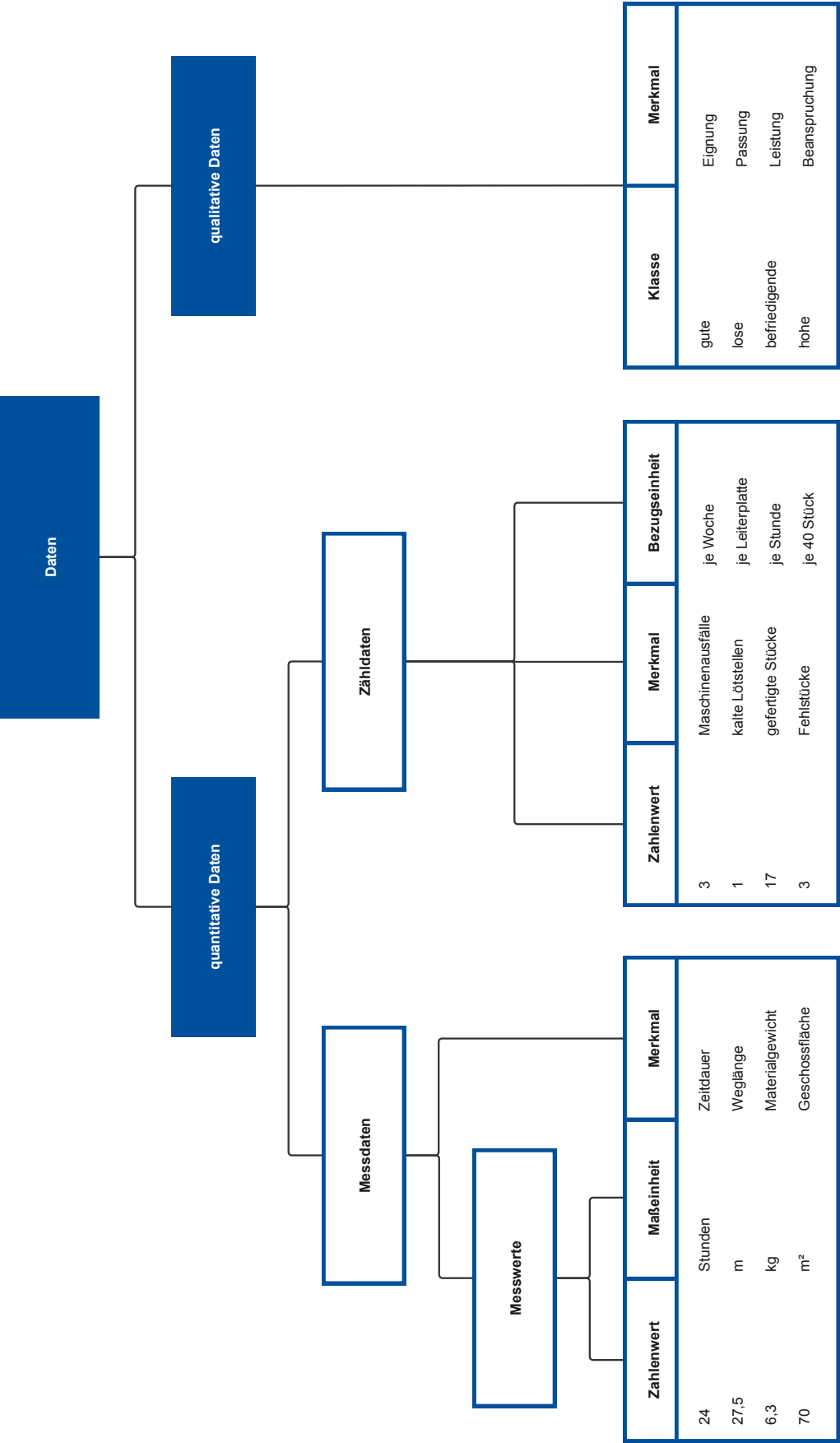


Abb. A1.18 Qualitative und quantitative Daten (in Anlehnung an REFA 1997, S. 15).



Abb. A1.19 REFA-Stoppuhr aus Metall und Glas, hergestellt zwischen 1960 und 1969 (LVR-Industriemuseum/Hoffmann o. J.).

Z1	REFA-Zeitaufnahmebogen für Abläufe ohne Wiederholungen	Ablage-Nr.						
		Blatt von Blättern						
Arbeitsaufgabe								
Auftrag Nr.		Menge m des Arbeitsauftrages		Abteilung		Kostenstelle		
Datum der Zeitaufnahme		Beginn	Uhrzeit Menge	Ende	Uhrzeit Menge	Dauer		
				Zusammenstellung der Zeit je Einheit		Zeit in	Herkunft	
				Grundzeit t_g				
				Ermittlungszeit t_w bei $Z_{gr} =$		%		
				Verteilzeit t_v bei $Z_v =$		%		
				sonstige Zuschläge				
				Zeit je Einheit t_{je}				
				$t_{je} / t_{\text{t100}} / t_{\text{t080}}$ in min / h				
				Rüstzeit t_r in min				
Arbeitsverfahren und Arbeitsmethode								
Arbeitsgegenstand (Eingabe)	Benennung	Werkstoff		Zustand bei Eingabe		Zeichn.-Nr.	Werkstoff Nr.	Maße, Formen, Gewichte
Mensch	Name	Personalnummer		m	w	Alter	Dauer der Ausübung ähnlicher Aufgaben der untersuchten Aufgabe	
Betriebsmittel	Benennung, Type	Anzahl	Betriebsmittel-Nr.	Baujahr	technische Daten, Zustand			
Umgebungseinflüsse						Entlohnung		
Bemerkungen								
Qualität des Arbeitsergebnisses								
Bearbeiter		geprüft		Datum		gültig ab bis		

Abb. A1.20 Zeitaufnahmebogen Z1 für Abläufe ohne Wiederholung, Vorderseite (REFA-Institut 2015, S. 192).

										Übertrag				
Nr.	Ablaufabschnitt und Messpunkt	Per- sonen- zahl	Be- zugs- menge	Einflussgröße Messwert, Klasse	Z _i	1	2	3	$\frac{\sum L_i}{\sum t_i} / n$	$\frac{L}{t_i}$	$t = \frac{L}{100}$	Zeitart		
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i				—					
					F									
					L				—					
					t _i			</						

Ablauffolge	Vorkommen	Zeitaufnahmebogen Z und Ergänzungsbogen ZE
Ablauf ohne regelmäßige Wiederholung gleicher Abschnitte	Einzelfertigung, Einzelarbeit	Z1 und Z1E
Ablauf mit regelmäßigen Wiederholungen der gleichen Abschnittsfolge	Serienfertigung, Einzelarbeit	Z2 und Z2E
Ablauf mit unregelmäßigen Wiederholungen einzelner Abschnittsfolgen bei einer Arbeitsperson	Einzelfertigung, Einzelarbeit	Z1 und Z1E sowie Z2E
Ablauf mit gleichen und verschiedenen Abschnittsfolgen bei mehreren Menschen oder Betriebsmitteln	Gruppenarbeit und Mehrstellenarbeit	Z1 und Z3

Tab. A1.1 Auswahlkriterien für REFA-Zeitaufnahmebögen (in Anlehnung an REFA 1997, S. 101).



Abb. A1.22 Bildschirmfoto der iPhone-Stoppuhr mit Rundenfunktion zur Erfassung der Zeitdaten während der Zeitaufnahme (eigene Aufnahme).

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Gesamtleistung SOLL

Gesamtleistung IST

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.- menge	Notizen
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A1.23 Eigener Zeitaufnahmebogen zur Dokumentation der beobachteten Ablaufabschnitte, der Zeiten und weiterer Einflussgrößen während der Zeitaufnahme (eigene Darstellung).



Abb. A1.24 Außenansicht des Neubaus einer Logistikhalle im Industriepark „Große Heide Wulfen“ in Dorsten. Dieses Bauprojekt dient als Beispiel zur Aufnahme und Analyse des manuellen Bohrprozesses (eigene Aufnahme).



Abb. A1.25 Anlieferungsbereich der Logistikhalle, in dem die manuellen Bohrungen stattfanden. Auf dem Boden liegen Materialien, und unter der Decke sind vereinzelte Bestandsinstallationen erkennbar (eigene Aufnahme).

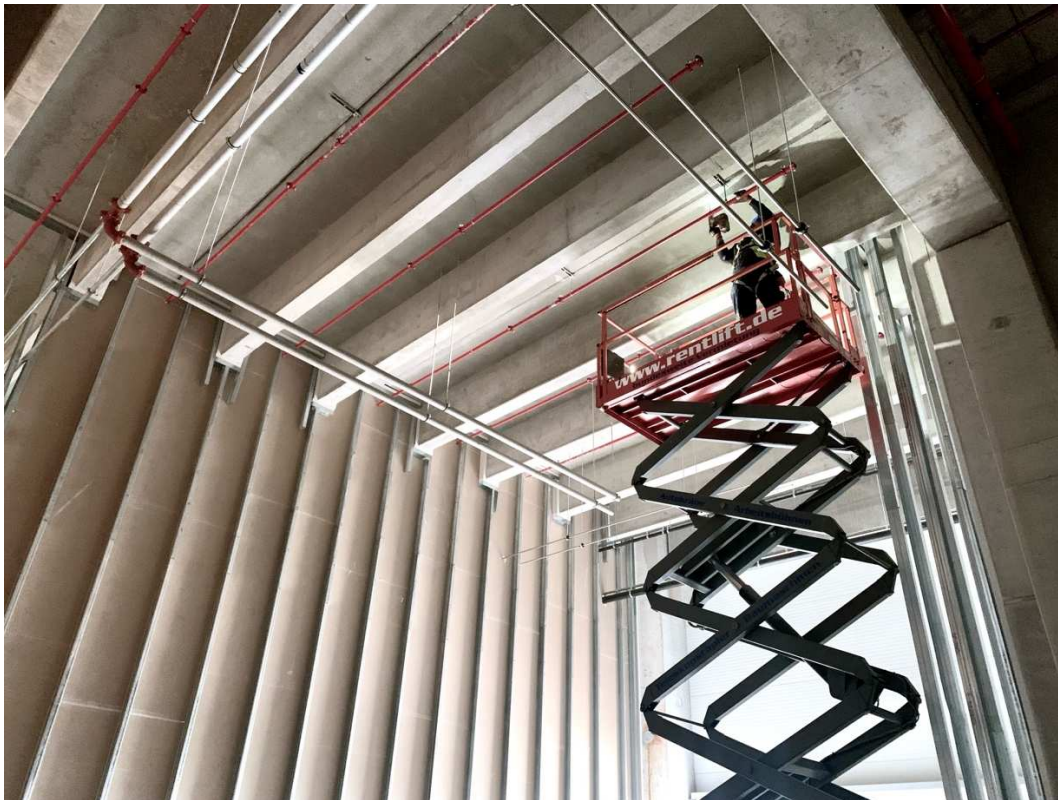


Abb. A1.26 Arbeiter auf einer hochgefahrenen Scherensarbeitsbühne, der mit einem akkubetriebenen Hilti Bohrhammer Bohrlöcher in die Betondecke bohr (eigene Aufnahme).



Abb. A1.27 Durchführung der Zeitaufnahme: Der Beobachter verfolgt den Mitarbeiter, der auf einer Scherensarbeitsbühne die Bohrlöcher mithilfe eines Gliedermaßstabs einmisst (eigene Aufnahme).



Abb. A1.28 Fertig gebohrte und montierte TGA-Installation unter der Decke nach Abschluss der Bohr- und Montagearbeiten (eigene Aufnahme).



Abb. A1.29 Außenansicht des Neubaus für das Zentrum für Stoffwechselforschung an der Uniklinik Köln. Dieses Bauprojekt dient als Beispiel zur Erfassung und Analyse des semi-autonomen Bohrprozesses mit dem Jaibot (eigene Aufnahme).

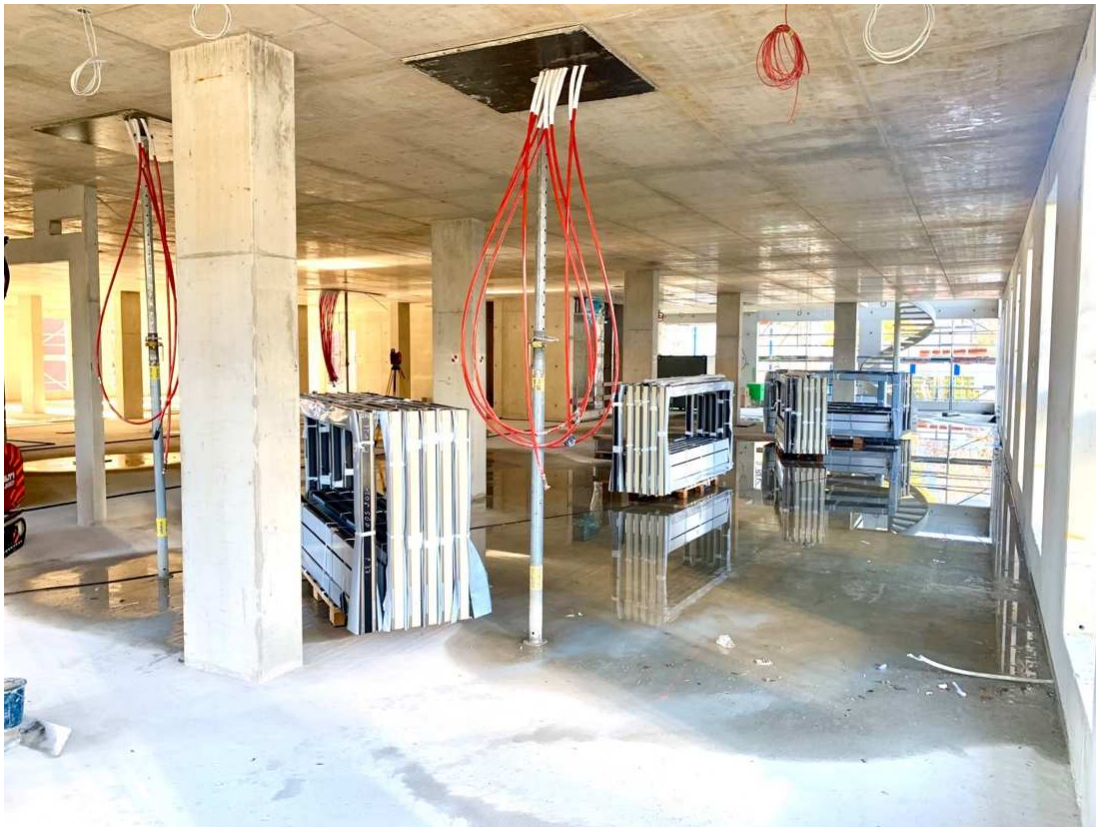


Abb. A1.30 Erste Etage des Zentrums für Stoffwechselforschung zum Zeitpunkt der Bohrungen durch den Jaibot. Materialien liegen am Boden, und die Decke ist bis auf wenige herabhängende Kabel frei von weiterer Installation (eigene Aufnahme).

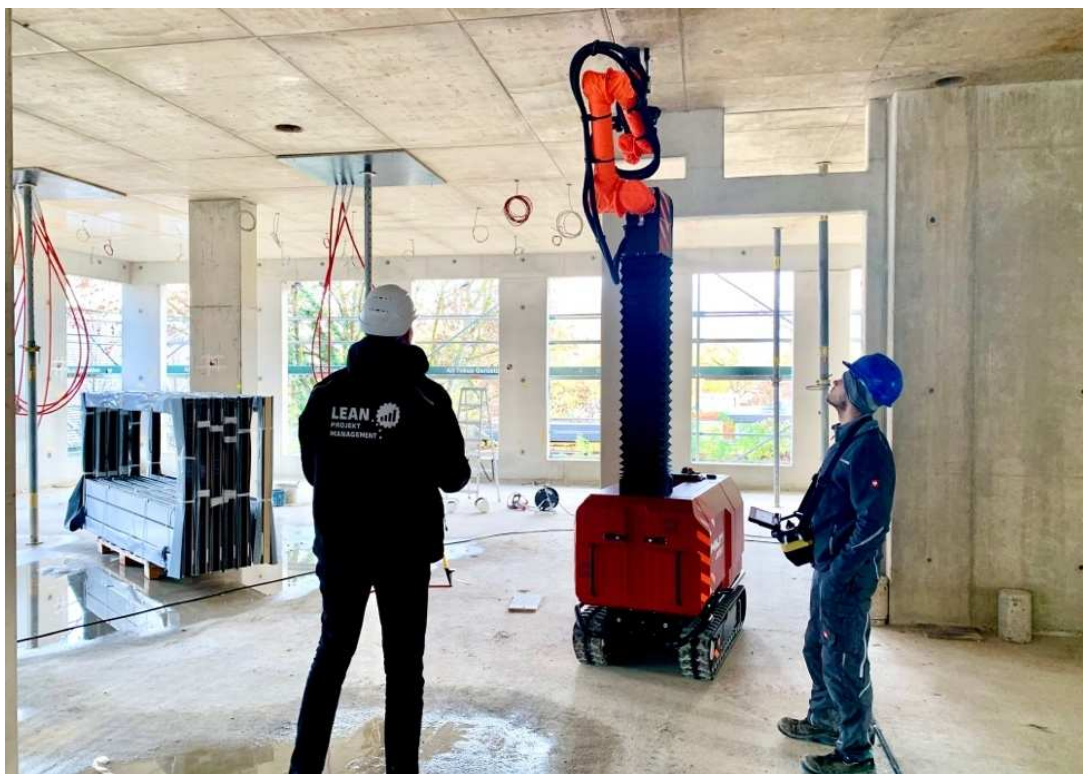


Abb. A1.31 Durchführung der Zeitaufnahme: Autor verfolgt den Jaibot bei der automatisierten Deckenbohrung in eine Betondecke, während ein Jaibot-Operator den Prozess mit der Steuerung überwacht (eigene Aufnahme).



Abb. A1.32 Fertig gebohrte und montierte TGA-Installation unter der Decke nach Abschluss der Bohr- und Montagearbeiten aus der gleichen Perspektive wie in Abb. A1.31 (eigene Aufnahme).



Abb. A1.33 Nahaufnahme der fertig montierten TGA-Installation mit sichtbaren Bohrlöchern und Markierungen, die durch den Jaibot erstellt wurden (eigene Aufnahme).

IX Anhang 2: Zeitaufnahmen

In diesem Anhang sind die erfassten und dokumentierten Zeitaufnahmedaten enthalten, die im Rahmen dieser Bachelorarbeit erhoben und in Excel digitalisiert wurden. Alle Abbildungen und Tabellen wurden eigenständig erstellt und benötigen daher keine Quellenangaben.



Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Bohren Konsolen

Datum / Anfangszeit: 08.05.2023 10:15

Praxispartner: MRA Montagen

Anzahl Mitarbeiter: 1 12

Namen Mitarbeiter: 1. J. Jesus 2. M. Soczka 3.

Alter Mitarbeiter: 1. 53 2. 44 3.

Gesamtleistung SOLL: ca. 4000

Gesamtleistung IST: 42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem:

Außen: hell, Temp. 14°C, bewölkt

Innen: ausgeleuchtet, bestehende Deckeninstallation SPR, SAN, LUE, Lampen, andere Gewerke, Deckenhöhe 8m

Betriebsmittel: Arbeitsbühne (9,92m), TEG-A22, SW 6AT-22, Hammer, Zollstock

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen:

Plan als A0-Ausdruck vorliegen.

Alle Bohrungen M10, Policon Berlin als Systemhersteller → Auftraggeber MRA

Kabeltrassen für Elektroinstallation

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Einweisung Arbeitsbereich	2	01:48	-		mit Arbeitsbühne inkl. hoch- und runter
2	Fahren	1	01:21	-		m=6
3	Hochfahren	1	00:51	-		k, m=5
4	Messen	1	01:40	-	2	
5	Bohren	1	01:00	-	2	
6	Dübeln	1	00:48	-	2	
7	Runterfahren	1	00:15	-		m=2
8	Fahren	1	00:31	-		m=2
9	Hochfahren	1	00:23	-		m=2
10	Messen	1	01:27	-	2	
11	Bohren	1	01:03	-	2	
12	Dübeln	1	00:29	-	2	
13	Runterfahren	1	00:50	-		komplett (k), m=5
14	Fahren	1	00:49	-		m=3
15	Hochfahren	1	00:54	-		k, m=5
16	Runterfahren	1	00:49	-		k, m=5
17	Fahren	1	00:16	-		m=1
18	Hochfahren	1	00:52	-		k, m=5
19	Messen	1	01:30	-	2	
20	Bohren	1	01:45	-	2	Bewehrung (B): 1

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3/22.11.2022

Abb. A2.1 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 1/8.

Zeitaufnahmebogen

②

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Bohren Konsolen

Datum / Anfangszeit

08.05.2023

Praxipartner

MRD Montagen

Anzahl Mitarbeiter

1

Namen Mitarbeiter

1. J. Jesus

2.

3.

Alter Mitarbeiter

1. 53

2.

3.

Gesamtleistung SOLL ca. 4.000

Gesamtleistung IST 42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Dübeln	1	00:45	-	2	
2	Messen	1	00:24	-		1 Kontrolle
3	Runterfahren	1	00:18	-		m=1
4	Fahren	1	00:15	-		m=1
5	Hochfahren	1	00:21	-		m=1
6	Messen	1	01:05	-		Problem
7	Warten	1	00:19	-		
8	Runterfahren	1	00:21	-		m=1
9	Messen	1	00:40	-		Problem
10	Hochfahren	1	00:30	-		m=1
11	Messen	1	03:34	-	4	Probleme, aber fertig
12	Bohren	1	05:44	-	4	B:3
13	Dübeln	1	01:46	-	4	
14	Runterfahren	1	00:59	-		k, m=5
15	Fahren	1	00:29	-		m=1
16	Warten	1	01:36	-		Anderer MA fährt andere Bohrer weg
17	Fahren	1	01:40	-		m=3
18	Hochfahren	1	01:02	-		k, m=5
19	Messen	1	03:41	-	4	
20	Bohren	1	03:06	-	4	B:1

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.2 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen „Manueller Bohrprozess“ vom 08.05.2023, S. 2/8.

Zeitaufnahmebogen

③

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
08.05.2023
MRA Montagen
1
1. J. Jesus
1. 53

Gesamtleistung SOLL	ca. 4.000
Gesamtleistung IST	42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Dübeln	1	01:32	-	4	
2	Runterfahren	1	00:22	-		m=1
3	Fahren	1	01:01	-		m=2
4	Gespräch	1	00:26	-		Organisatorisch
5	Warten	1	00:50	-		auf andere Bohre wegführ!
6	Fahren	1	00:30	-		m=1
7	Hochfahren	1	00:27	-		m=1
8	Messen	1	01:01	-	2	
9	Bohren	1	02:59	-	2	B:1
10	Dübeln	1	00:57	-	2	
11	Messen	1	01:03	-	2	
12	Bohren	1	00:58	-	2	
13	Dübeln	1	00:51	-	2	
14	Pause	1	02:44	-		Radderpause
15	Messen	1	01:18	-	2	
16	Bohren	1	01:45	-	2	B:1
17	Dübeln	1	00:57	-	2	
18	Runterfahren	1	00:23	-		m=1
19	Fahren	1	01:02	-		m=2
20	Hochfahren	1	00:18	-		m=1

Erstelter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.3 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 3/8.

Zeitaufnahmebogen

④

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Bohren Konsolen

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Datum / Anfangszeit

08.05.2023

Gesamtleistung IST

42

Praxispartner

MR-Montagen

Anzahl Mitarbeiter

1

Namen Mitarbeiter

1. J. Jesus

2.

3.

Alter Mitarbeiter

1. 53

2.

3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Messen	1	04:08	-	4	
2	Bohren	1	00:53	-	2	
3	Dübeln	1	00:55	-	2	
4	Hindernis umklettern	1	01:09	-		
5	Messen	1	01:06	-	2	
6	Bohren	1	00:52	-	2	
7	Dübeln	1	01:00	-	2	
8	Fahren	1	00:29	-		m=1
9	Runterfahren	1	00:28	-		m=1
10	Fahren	1	00:42	-		m=2
11	Hochfahren	1	00:09	-		m=1
12	Messen	1	01:09	-	2	
13	Unbeobachtet	1	08:26	-		Deckensturz im Weg
14	Runterfahren	1	00:38	-		m=5
15	Fahren	1	01:42	-		m=4
16	Mittagspause	1	60:00	10:00		zusätzliche Zeit länger gemacht
17	Aufsteigen	1	00:18	-		
18	Fahren	1	00:50	-		m=2
19	Hochfahren	1	00:49	-		k, m=5
20	Bühne Plattform verkleinern		00:29	-		

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.4 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 4/8.

Zeitaufnahmebogen

5

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren 16 Stellen
08.05.2023
MIRA Montagen
1
1. J. Jesus
1. 53

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Hochfahren	1	00:28	-		m=1
2	Arbeitsplatz organisieren	1	01:04	-		Material & Werkzeug vorbereiten
3	Messen	1	01:35	-	2	
4	Bohren	1	06:08	-	2	B:2
5	Dübeln	1	00:58	-	2	
6	Arbeitsplatz org.	1	00:33	-		
7	Runterfahren	1	00:07	-		m=0,5
8	Fahren	1	01:45	-		m=2
9	Hochfahren	1	00:20	-		m=1
10	Fahren	1	00:41	-		m=1
11	Hochfahren	1	00:09	-		m=0,5
12	Arbeitsplatz org.	1	00:49	-		
13	Messen	1	02:17	-	2	
14	Bohren	1	01:26	-	2	
15	Dübeln	1	01:29	-	2	
16	Arbeitsplatz org.	1	00:20	-		
17	Runterfahren	1	00:02	-		m=0,5
18	Fahren	1	00:59	-		m=1
19	Hochfahren	1	00:11	-		m=0,5
20	Fahren	1	00:34	-		m=1

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.5 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 5/8.

Zeitaufnahmebogen

⑥

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Bohren Konsolen

Gesamtleistung SOLL ca. 4.000

Datum / Anfangszeit

08.05.2023

Gesamtleistung IST 42

Praxispartner

MIRA Montagen

Anzahl Mitarbeiter

1 / 2

Namen Mitarbeiter

1. J. Jesus

2. M. Sochwa

3.

Alter Mitarbeiter

1. 53

2. 44

3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Hochfahren	1	00:14	—		m = 0,5
2	Fahren	1	00:19	—		m = 0,5
3	Messen	1	00:58	—	2	
4	Nachmessen	1	00:40	—	1	
5	Bohren	1	00:56	—	2	
6	Dübeln	1	01:07	—	2	
7	Messen	1	01:27	—	2	
8	Bohren	1	00:54	—	2	
9	Dübeln	1	00:46	—	2	
10	Fahren	1	02:05	—		Hinderniss, m = 2
11	Messen	1	00:51	—	2	
12	Bohren	1	03:05	—	2	B: 2
13	Dübeln	1	01:19	—	2	
14	Fahren	1	00:41	—		m = 1
15	Runterfahren	1	00:43	—		k, m = 5
16	Raucherpause	1	02:59	—		
17	OM Besprechung MA	2	00:49	—		
18	Fahren	1	01:12	—		m = 2
19	MA 2 steigt auf Bohrer	2	00:15	—		
20	Hochfahren	2	00:30	—		k, m = 5

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.6 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 6/8.

Zeitaufnahmebogen

7

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
08.05.2023
MIRA Montagen
1 12
1. J. Jesus
2. M. Soczka
3.
1. 53
2. 44
3.

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Fahren	2	00:51	0 -		m=1
2	Hochfahren	2	00:16	-		m=0,5
3	Messen	2	01:55	-	2	
4	Bohren	2	01:02	-	2	
5	Dübeln	2	01:49	-	2	
6	Runterfahren	2	00:26	-		m=1
7	Gespräch	2	00:10	-		
8	Runter	2	00:22	-		k, m=4
9	MA2 steigt ab	2	00:10	-		
10	Warten auf andere Bohrer	1	03:04	-		steht im Weg
11	Fahren	1	01:53	-		m=2
12	Hochfahren	1	01:09	-		k, m=5
13	Fahren	1	00:52	-		m=1
14	Hochfahren	1	00:32	-		m=0,5
15	Arbeitsplatz org.	1	01:08	-		
16	Messen	1	02:52	-	2	
17	Bohren	1	00:19	-	1	
18	Unbeobachtet	1	01:34	-		sicht verdeckt durch Sturz
19	Bohren	1	02:28	-	3	B:1
20	Dübeln	1	01:06	-	4	

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3/22.11.2022

Abb. A2.7 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 7/8.

Zeitaufnahmebogen

8

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Bohren Kanülen

Datum / Anfangszeit

08.05.2023

Praxispartner

MRA Montagen

Anzahl Mitarbeiter

1

Namen Mitarbeiter

1. J. Jesus

2.

3.

Alter Mitarbeiter

1. 53

2.

3.

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

42

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Runterfahren	1	00:36	-		k, m = 5
2	Fahren	1	01:24	-		m = 2
3	Hochfahren	1	00:51	-		k, m = 5
4	Messen	1	01:22	-	2	
5	Bohren	1	00:59	-	2	
6	Dübeln	1	00:39	-	2	
7	Messen	1	00:12	-		Fehlgeschlagen
8	Runterfahren	1	00:23	-		m = 1
9	Fahren	1	00:41	-		m = 1
10	Hochfahren	1	00:56	-		m = 1
11	Messen	1	00:52	-	2	kein Ergebnis, Probleme
12	Gespräch	1	00:23	-		nicht fachlich
13	Messen	1	00:16	-	2	
14	Bohren	1	01:52	-	2	TS: 1
15	Dübeln	1	00:53	-	2	
16	Runterfahren	1	00:25	-		m = 1
17	Gespräch	1	00:10	-		nicht fachlich
18	Fahren	1	01:05	-		m = 1
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.8 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 08.05.2023, S. 8/8.

Zeitaufnahmebogen

①

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
09.05.2023 107:00
MRA Montagen
1 / 2
1. J. Jesus
2. M. Soezwa
1. 53
2. 44

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

20

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: hell, Temp. 14°C, bewölkt

Innen: dunkler Bereich, Deckeninst. nur SPR, alleine im Bereich, Deckenhöhe 8m

Betriebsmittel: Bulli, Scherenarbeitsbühne (3,92m), TEG-A22, SIW 6AT-22, SL 6-22, Kabeltrommel (50m), Hammer, Zellstock

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Bohrung erfolgt immer Trassenweise

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Weg Container - Baustelle	2	03:00	-		im Bulli, 400m
2	Bulli ausladen	2	03:28	-		Werkzeug, Material, Gurte
3	Fußweg zum Arbeitsplatz	2	03:09	-		m=100
4	zur Bühne laufen	2	00:42	-		m=30
5	Bühne abholen	2	01:40	-		Fährt mit Bühne zurück, m=30
6	Arbeitsbereich freiräumen	2	01:48	-		
7	Arbeitsplatz org.	2	02:13	-		
8	Wartezeit	1	12:39	-		2. MA hat eine Lampe, da zu dunkel
9	Plan lesen & planen OM	2	01:38	-		
10	Gurt anlegen	2	00:42	-		
11	Fahren	2	00:20	-		m=1
12	Hochfahren	2	00:31	-		m=2
13	Plan lesen OM	2	01:19	-		
14	Messe-	1	00:31	-		
15	Hochfahren	1	00:21	-		m=2
16	Messen	1	01:57	00:50	2	zusätzlich erstes Einmessen
17	Runterfahren	1	00:24	-		lc, m=4
18	Fahren	1	00:14	-		m=1
19	Hochfahren	1	00:30	-		lc, m=5
20	Messen	1	00:57	-	2	

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22 11.2022

Abb. A2.9 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 1, S. 1/5.

Zeitaufnahmebogen

②

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Bohren / Konsolen		
09.05.2023 107:00		
MBA Montagen		
1		
1. J. Jesus	2.	3.
1. 53	2.	3.

Gesamtleistung SOLL ca. 4.000

Gesamtleistung IST 20

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

--	--	--	--	--	--	--

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Runterfahren	1	00:13	—		m=1
2	Gespräch	1	00:34	—		nicht fachlich
3	Runterfahren	1	00:19	—		m=4
4	Gespräch	1	00:30	—		nicht fachlich
5	Abssteigen	1	00:16	—		
6	Material holen	1	02:04	—		fehlende Dübel
7	Aufsteigen	1	00:20	—		
8	Fahren	1	00:34	—		m=1
9	Hochfahren	1	00:40	—		k, m=5
10	Messen	1	02:00	—	2	
11	Bohren	1	01:16	—	2	
12	Dübeln	1	00:38	—	2	
13	Montage	1	01:34	—	1	
14	Messen	1	01:56	—	2	
15	Bohren	1	00:33	—	2	
16	Dübeln	1	00:29	—	2	
17	Montage	1	01:02	—	1	
18	Fahren	1	00:22	—		m=1
19	Messen	1	01:03	—	2	
20	Bohren	1	01:34	—	2	B:1

Erstelter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2. 10 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 1, S. 2/5.

Zeitaufnahmebogen

3

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
09.05.2023
MRA Montagen
1
1. J. Jesus
1. 53

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

20

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Dübeln	1	00:26	-	2	
2	Montieren	1	00:49	-	1	
3	Fahren	1	00:08	-		m=0,5
4	Umhaken	1	00:35	-		
5	Messen	1	01:20	-	2	
6	Bohren	1	00:37	-	2	
7	Dübeln	1	00:28	-	2	
8	Montieren	1	01:11	-	1	
9	Runterfahren	1	00:23	-		m=1
10	Fahren	1	02:09	-		m=4
11	Runterfahren	1	00:26	-		k, m=4
12	Fahren	1	00:16	-		m=0,5
13	Absteigen	1	00:11	-		
14	Arbeitsbereich freimachen	1	00:15	-		Bretter wegräumen
15	Aufsteigen	1	00:13	-		
16	Fahren	1	00:31	-		m=1
17	Hochfahren	1	00:33	-		m=5
18	Fahren	1	00:38	-		m=1
19	Umhaken	1	00:14	-		
20	Messen	1	01:34	-	2	

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.11 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 1, S. 3/5.

Zeitaufnahmebogen

(4)

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren / Konsolen
09.05.2023
MRA Montagen
1
1. J. Jesus
1. 53

Gesamtleistung SOLL

Gesamtleistung IST

ca. 4.000

20

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohren	1	00:49	-	2	
2	Dübeln	1	00:29	-	2	
3	Montieren	1	00:46	-	1	
4	Messen	1	00:29	-		
5	Fahren	1	00:08	-		m=1
6	Messen	1	00:42	-	2	
7	Bohren	1	00:55	-	2	
8	Dübeln	1	00:29	-	2	
9	Montieren	1	01:04	-	1	
10	Fahren	1	00:08	-		m=1
11	Messen	1	01:28	-	2	
12	Bohren	1	00:43	-	2	
13	Dübeln	1	00:37	-	2	
14	Montieren	1	00:56	-	1	
15	Umhalten	1	00:14	-		
16	Fahren	1	00:33	-		m=1
17	Runterfahren	1	00:26	-		k, m=5
18	Ausstiegen	1	00:08	-		
19	Akkutausch Bohrmaschine	1	01:22	-		Bohr Leugegerät auf dem Boden
20	Rancherpause	1	02:03	-		

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.12 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 1, S. 4/5.

Zeitaufnahmebogen

5

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
09.05.2023
MRA Montagen
1
1. J. Jesus
1. 53

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

20

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Aufsteigen	1	00:10	-		
2	Fahren	1	00:17	-		m=1
3	Hochfahren	1	00:48	-		k, m=5
4	Messen	1	02:20	-	2	
5	Bohren	1	00:46	-	2	
6	Dübeln	1	00:24	-	2	
7	Montieren	1	01:01	-	1	
8	Messen	1	04:10	-	4	
9	Bohren	1	01:35	-	4	
10	Dübeln	1	00:58	-	4	
11	Montieren	1	01:40	-	2	
12	Schlagschrauber	1	00:42	-	2	Schrauben mit Drehmoment
13	Runterfahren	1	00:23	-		m=1
14	Fahren	1	00:13	-		m=1
15	Hochfahren	1	00:19	-		
16	Schlagschrauber	1	00:37	-	4	
17	Fahren	1	00:53	-		m=2
18	Schlagschrauber	1	00:22	-	2	
19	Runterfahren	1	00:39	-		k, m=5
20						

Zeitaufnahmebogen

①

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Bohren Konsolen

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Datum / Anfangszeit

09.05.2023 / 10:05

Gesamtleistung IST

20

Praxispartner

MRA Montagen

Anzahl Mitarbeiter

1

Namen Mitarbeiter

1. J. Jesus

2.

3.

Alter Mitarbeiter

1. 53

2.

3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: hell, Temp. 19°C, bewölkt, leichter Regen
 Innen: dunkler Bereich, Deckeninst. nur SPR, alleine, Höhe 8m
 Betriebs.: Arbeitsbühne (9,92m), SW 6AT-22, TE6-A22, SL6-22, Kabeltrammel (50m)
 Zellsack, Hammer

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohren	1	00:49	-	2	
2	Dübeln	1	00:30	-	2	
3	Montieren	1	00:33	-	1	
4	Schlagschrauben	1	00:15	-	2	
5	Messen	1	01:31	-	2	
6	Bohren	1	00:46	-	2	
7	Dübeln	1	00:26	-	2	
8	Montieren	1	01:00	-	1	
9	Schlagschrauben	1	00:13	-	2	
10	Fahren	1	00:24	-		m=1
11	Messen	1	01:29	-	2	
12	Bohren	1	00:51	-	2	
13	Dübeln	1	00:30	-	2	
14	Montieren	1	01:08	-	1	
15	Schlagschrauben	1	00:19	-	2	
16	Fahren	1	00:11	-		m=1
17	Messen	1	01:16	-	2	
18	Runterfahren	1	00:27	-		m=3
19	Koordinationsgespräch	1	00:14	-		mit anderem Gewerk
20	Hochfahren	1	00:15	-		m=3

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.14 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 2, S. 1/4.

Zeitaufnahmebogen

②

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohren Konsolen
09.05.2023 / 10:05
MRA Montagen
1 / 2
1. J. Jesus
2. M. Soczka
3.
1. 53
2. 44
3.

Gesamtleistung SOLL

ca. 4.000

Gesamtleistung IST

20

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	Sortieren	1	00:30	-		
2	Bohren	1	00:48	-	2	
3	Dübeln	1	00:29	-	2	
4	Montieren	1	00:43	-	1	
5	Schlagschrauber	1	00:18	-	2	
6	Fahren	1	00:26	-		m=1
7	Messen	1	00:33	-		
8	Runterfahren	1	00:40	-		k, m=5
9	Absteigen	1	00:17	-		
10	Besprechung OM	2	08:35	-		
11	Raucherpause	1	03:33	-		
12	Aufsteigen	1	00:16	-		
13	Pause MA	1	00:18	-		
14	Hochfahren	1	00:32	-		k, m=5
15	Messen	1	01:15	-	2	
16	Bohren	1	00:42	-	2	
17	Runterfahren	1	00:40	-		k, m=5
18	Absteigen	1	00:10	-		
19	Akkutausch Bohren	1	00:45	-		
20	Kabeltrommel legen	1	02:13	-		ca. 20m Kabel

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.15 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 2, S. 2/4.

Zeitaufnahmebogen

③

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Bohren Konsolen	Gesamtleistung SOLL	ca. 4.000
09.05.2023 / 10:05	Gesamtleistung IST	20
MRA Montagen		
1		
1. J. Jesus	2.	3.
1. 53	2.	3.

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

--

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Aufsteigen	1	00:14	-		
2	Hochfahren	1	01:02	-		lc, schwache Batterie, m=5
3	Messen	1	00:45	-	2	
4	Bohren	1	00:38	-	2	
5	Dübeln	1	00:21	-	2	
6	Montieren	1	00:50	-	1	
7	Schlagschrauber	1	00:19	-	2	
8	Fahren	1	00:43	-		m=1
9	Messen	1	00:44	-		
10	Fahren	1	00:08	-		m=0,5
11	Messen	1	00:35	-	2	
12	Bohren	1	00:51	-	2	
13	Dübeln	1	00:39	-	2	
14	Montieren	1	00:59	-	1	
15	Schlagschrauber	1	00:12	-	2	
16	Runterfahren	1	00:26	-		m=1
17	Fahren	1	01:21	-		m=3
18	Hochfahren	1	00:51	-		schwache Batterie, m=1
19	Messen	1	01:36	-	2	
20	Bohren	1	00:53	-	2	

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.16 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 2, S. 3/4.

Zeitaufnahmebogen

④

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Bohren Konsolen	Gesamtleistung SOLL	ca. 4.000
09.05.2023 10:05	Gesamtleistung IST	20
MRA Montagen		
1		
1. J. Jesus	2.	3.
1. 53	2.	3.

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

--

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohrerwechsel	1	00:28	-		
2	Dübeln	1	00:45	-	2	
3	Montieren	1	00:55	-	1	
4	Schlagschrauber	1	00:24	-	2	
5	Messen	1	02:03	-	2	
6	Bohren	1	02:49	-	2	
7	Dübeln	1	01:40	-	2	
8	Montieren	1	00:42	-	1	
9	Schlagbohrer	1	00:14	-	2	
10	Fahren	1	00:19	-		m=1
11	Messen	1	01:30	-	2	
12	Bohren	1	00:48	-	2	
13	Runterfahren	1	00:43	-		k, m=5
14	Fahren	1	00:58	-		m=2
15	Absteigen	1	00:08	-		
16	Bohrer an Strom	1	00:34	-		
17						
18						
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3/22.11.2022

Abb. A2.17 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 2, S. 4/4.

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: hell, Temp. 9°C, bewölkt, regen, leichter Wind
Innen: Offenes Gebäude ohne Fenster, keine Deckeninstallation, alleine in Bereich,
Betondecke ca. 4m hoch

Betriebsmittel: Jabo, PET 300 + Stativ, Fernsteuerung, Tablet

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

In der Mitte des Raumes steht ca. 1x6m Material (Fenster) auf dem Boden.
Boden ist überall nass und hat Pfützen.

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Fahren	1	00:35	-		m=1
2	Ausrichtungstanz	1	00:34	-		
3	Bohren	1	03:58	-	6	Bohrungstreffer (B): 1
4	Fahren	1	00:42	-		m=1
5	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
6	Bohren	1	02:25	-	6	B:1, Löcher eng beieinander
7	Störung "Arm gestört"	1	02:51	-		
8	Fahren	1	00:21	-		m=0,5
9	MA sucht Bedienfeld	1	00:44	-		Bedienfeld verlegt
10	Bohren Ausrichtungstanz	1	00:30	-		
11	Bohren	1	03:06	-	8	
12	Fahren	1	00:40	-		m=1
13	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
14	Bohren	1	03:05	-	6	
15	Fahren	1	00:35	-		m=1
16	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		
17	Bohren	1	02:37	-	6	
18	Fahren	1	00:24	-		m=1
19	Ausrichtungstanz	1	00:30	-		
20	Bohren	1	04:19	00:30	9	B:3, inkl. Störung Arm

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.18 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 23.11.2022, S. 1/3.

②

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf	Bohrbohrer Bohren		Gesamtleistung SOLL	3.052 1.05
Datum / Anfangszeit	23.11.2022 / 13:00		Gesamtleistung IST	124 / Fertig: 114
Praxispartner	MD Harstechnik			
Anzahl Mitarbeiter	1			
Namen Mitarbeiter	1. Unbekannt (m)	2.	3.	
Alter Mitarbeiter	1. 20-30	2.	3.	
Arbeitssystem				
Beschreibung Arbeitssystem				

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

--

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Störung "Arm gestört"	1	03:52	-		
2	Fahren	1	00:14	-		m=0,5
3	Ausrichtungstanz	1	00:38	-		
4	Bohren	1	03:28	-	7	B:1, inkl Störung
5	Störmeldung "Arm"	1	02:29	-		
6	Bohren	1	03:20	-	6	
7	Fahren	1	00:57	-		Hindernis umfahren, m=1
8	Ausrichtungstanz	1	00:34	-		
9	Bohren	1	05:10	-	13	B:1
10	Abletatsch Table	1	04:24	-		m=2
11	Fahren	1	00:46	-		m=1
12	Störung "PLT nicht gef."	1	04:33	-		
13	PLT umstellen	1	05:18	-		m=6
14	Tablet mit PLT koppeln	1	01:42	-		
15	Fahren	1	01:07	-		m=2
16	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		
17	Bohren	1	03:19	-	7	
18	Fahren	1	01:06	-		m=1
19	Ausrichtungstanz	1	00:27	-		
20	Bohren	1	04:30	-	22	B:2

Zeitaufnahmebogen

3

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Bohren
23.11.2022 / 13:00
MD Havstechnik
1
1. Unbekannt (m)
2. 20-30

Gesamtleistung SOLL	3.057	1.09
Gesamtleistung IST	124 / Fertig: 114	

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Fahren	1	00:53	-		m=1
2	Bohrerwechsel	1	02:54	-		
3	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
4	Pause MA	1	01:28	-		im Gespräch
5	Bohren	1	06:35	-	15	
6	Fahren	1	01:00	-		m=1
7	Ausrichtungstanz	1	00:30	-		
8	Bohren	1	05:05	-	12	B:1
9	Störmeldung 'Arm'	1	01:42	-		
10	Bohren	1	00:40	-	1	
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.20 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 23.11.2022, S. 3/3.

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: hell, Temp. 8°C, bewölkt, starker Wind
Innen: keine Fenster, keine Installation, alleine im Bereich, Betondecke ca. 4m hoch
Betriebsmittel: Jaibat, PCT 370, Stativ, Fernsteuerung, Tablet, ~~z~~

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Christian Pütz als Jaibat Operator ist am 2. Tag noch vor Ort, sodass er den Service mit übernehmen kann.

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohren	1	02:16	-	5	
2	Fahren	1	01:02	-		m=1
3	Ausrichtungslanz	1	00:38	-		
4	Bohren	1	04:45	-	10	B: 3
5	Fahren	1	00:49	-		m=1
6	Ausrichtungslanz	1	00:33	-		
7	Bohren	1	02:13	-	5	B: 1
8	Bohrercheck	1	00:20	-		
9	Fahren	1	01:16	-		m=1
10	Service	2	02:50	-		
11	Ausrichtungslanz	1	00:30	-		
12	Bohren	1	02:33	-	3	B: 1
13	Service	2	36:30	-		Probleme mit Farbsystem
14	Ausrichtungslanz	1	00:30	-		
15	Bohren	1	06:04	-	15	B: 3
16	Fahren	1	01:02	-		m=1
17	Bohrercheck	1	01:02	-		
18	Akkuwechsel Tablet	1	03:18	-		m=2
19	Fahren	1	00:20	-		m=0,5
20	Ausrichtungslanz	1	00:32	-		

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.21 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 1/5.

②

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf	Bohrroboter Bohren	Gesamtleistung SOLL	3.057 1.09
Datum / Anfangszeit	24.11.2022 / 10:50	Gesamtleistung IST	213 / Fertig: 185
Praxispartner	MD Haustechnik GmbH		
Anzahl Mitarbeiter	1 / 2		
Namen Mitarbeiter	1. Unbekannt (m)	2. Christian Pütz	3.
Alter Mitarbeiter	1. 20-30	2. 40-50	3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohren	1	04:32	-	8	B:3
2	Fahren	1	00:48	-		m=1
3	Bohrercheck + Düse + Staubbeutel		06:43	-		
4	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
5	Bohren	1	03:52	-	9	Fehlende Markierung
6	Service Markierung	2	28:27	-		
7	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
8	Bohren	1	04:46	-	12	Fehlgeschl. Bohrung: 1
9	Fahren	1	00:43	-		m=1
10	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
11	Bohren	1	09:28	-	1	
12	Fahren	1	00:33	-		m=1
13	Bohrercheck	1	01:09	-		
14	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
15	Bohren	1	05:25	-	11	B:1
16	Fahren	1	00:52	-		m=1
17	Bohrercheck	1	01:15	-		
18	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		
19	Bohren	1	10:32	-	23	B:2
20	Fahren	1	00:51	-		m=1

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.22 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 2/5.

③

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Bohrroboter Bohren

Datum / Anfangszeit: 24.11.2022 / 10:50

Praxispartner: MD Harstechnik GmbH

Anzahl Mitarbeiter: 1

Namen Mitarbeiter: 1. Unbekannt (m) 2. 3.

Alter Mitarbeiter: 1. 20-30 2. 3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohrerwechsel	1	03:24	-		abgeleitet durch Kollegen
2	Ausrichtungstanz	1	00:36	-		
3	Bohren	1	03:46	-	8	B:1
4	Fahren	1	01:00	-		m=1
5	Bohrercheck	1	01:13	-		
6	Ausrichtungstanz	1	00:35	-		
7	Bohren	1	09:26	-	21	B:5
8	Fahren	1	01:20	-		m=1
9	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
10	Bohren	1	07:01	-	16	B:2
11	Bohrerwechsel	1	03:35	-		
12	Ausrichtungstanz	1	00:35	-		
13	Bohren	1	01:52	-	4	B:1
14	Fahren	1	00:44	-		m=1
15	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
16	Bohren	1	02:21	-	5	
17	Fahren	1	01:06	-		m=1
18	Bohrercheck	1	00:44	-		
19	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
20	Bohren	1	04:53	-	8	B:2

Erstler Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.23 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 3/5.

④

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Bohren
24.11.2022 / 10:50
MD Haustechnik GmbH
1
1. Unbekannt (m)
1. 20-30

Gesamtleistung SOLL

3.057 1.0g

Gesamtleistung IST

213 / Fertig: 185

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Fahren	1	02:27	-		m=3
2	Bohrercheck	1	01:09	-		
3	Ausrichtungstanz	1	00:35	-		
4	Bohren	1	03:45	-	7	
5	Pause MA	1	45:00	-		Mittagspause
6	PLT umstellen	1	00:28	-		m=1
7	PLT einmessen	1	03:05	-		7 Referenzmarken
8	PLT mit Jaibot lopp.	1	00:45	-		automatisch
9	Fahren	1	00:48	-		m=1
10	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		
11	Bohren	1	01:25	-	2	
12	Bohrerwechsel	1	04:11	00:30		zusätzliche Fahrtime=0,5
13	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
14	Bohren	1	04:38	-	14	
15	Fahren	1	00:20	-		m=0,5
16	Ausrichtungstanz	1	00:35	-		
17	Bohren	1	01:03	-	2	
18	Fahren	1	01:26	-		m=1
19	Ausrichtungstanz	1	00:26	-		Prisma nicht gefunden
20	Fahren	1	00:27	-		m=0,5

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.24 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 4/5.

Zeitaufnahmebogen

5

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Bohren
24.11.2022 / 10:50
MD Haustechnik GmbH
1
1. Unbekannt (m)
1. 20-30

Gesamtleistung SOLL

3.057 1.06

Gesamtleistung IST

213 / Fertig: 185

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	Ausrichtungslanz	1	00:24	-		Prisma nicht gefunden
2	Fahren	1	01:01	-		m=1
3	Ausrichtungslanz	1	00:34	-		
4	Bohren	1	02:10	-	4	
5	Fahren	1	01:12	-		m=1
6	Ausrichtungslanz	1	00:36	-		
7	Bohren	1	01:35	-	8	B:2
8	Fahren	1	00:41	-		m=1
9	Ausrichtungslanz	1	00:42	-		
10	Bohren	1	01:00	-	1	
11	Bohrerwechsel	1	00:58	-		
12	Ausrichtungslanz	1	00:32	-		
13	Bohren	1	03:55	-	8	
14	Fahren	1	01:23	-		m=1
15	Ausrichtungslanz	1	00:30	-		
16	Bohren		01:42	-	3	
17						
18						
19						
20						

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.25 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 5/5.

Zeitaufnahmebogen

Abbau

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Abbau
24.11.2022 / 17:20
MD Hovstechnik
1
1. Unbekannt (m)
1. 20-30

Gesamtleistung SOLL	3.057	1.09
Gesamtleistung IST	0	Fertig: 0

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: fast komplett dunkel, Temp. 10°C, bewölkt, starker Regen, leichter Wind
 Innen: keine Fenster, keine Beleuchtung, keine Installation, alleine im Bereich, Decke 4m
 Betriebsmittel: Jaibot, PLT 200 + Stativ, Fernsteuerung, Tablet, Messlatze, Transportbox, Stromkabel

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Material: Ersatzbohrer, Staubbeutel leer & voll, weitere Kartons
 Transportbox: 3 Türen + 2 Rampen vorne

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	Transportbox öffnen	1	00:35	-		Türen + Rampen
2	Material aus Transportbox	1	01:53	-		Bohrer, Staubbeutel, Palette; m=2
3	Arm herunterfahren	1	00:34	-		m=1
4	Jaibot vor Box fahren	1	01:04	-		m=2
5	PLT herunterfahren	1	01:30	-		kann auch parallel stattfinden
6	PLT abbauen und verstarren		03:01	-		m=10
7	Lanze abbauen und verstarren		01:34	-		
8	Kompressor entlüften	1	00:46	-		
9	In Transportbox fahren	1	02:26	-		m=1
10	Strom anschließen	1	00:32	-		
11	Material rein und	1	01:52	-		Kartons; m=2
12	Transportbox schließen	-	-	-		Türen + Rampen
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.26 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 2.

Zeitaufnahmebogen

Aufbau

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrboiler Aufbau
25.11.2022 / 07:50
MD Harstechnik
1
1. Unbekannt (m)
1. 20-30

Gesamtleistung SOLL

3.057 1.09

Gesamtleistung IST

0 / Fertig: 0

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Außen: hell, Temp. 7 °C, blauer Himmel, kein Wind

Innen: keine Fenster, keine Installation, alleine im Bereich, Betondecke 4m

Betriebsmittel: Jaibot, PLT300 + Stativ, Fernsteuerung, Tablet, Messlatze, Transportbox, Stromkabel

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Alle Services & Kontrollen sollten immer morgens geschehen.

Nr	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Transportbox öffnen	1	02:52	-		Türen + Rampen
2	Material aus Transportbox	1	01:51	-		m=2
3	ROS starten	1	04:30	-		
4	Stromversorgung ab	1	01:01	-		
5	Tablet + Fernsteuerung raus	1	04:16	-		herausnehmen, hochfahren, einlegen
6	Jaibot herausfahren	1	01:59	-		2 Meter
7	Kompressor entlüften	1	00:53	-		
8	Staubbeutel checken	1	00:28	-		
9	Füllstand Turb checken	1	00:38	-		
10	Bohrercheck	1	01:05	-		
11	PLT herausnehmen & aufbauen	1	03:12	-		m=8
12	PLT einmessen	1	03:55	-		9 Referenzmarken gefunden
13	PLT mit Jaibot koppeln	1	00:38	-		
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.27 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 1.

1

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Bohrroboter Bohren

Datum / Anfangszeit: 25.11.2022 / 10:50

Praxispartner: MD Haustechnik

Anzahl Mitarbeiter: 1

Namen Mitarbeiter: 1. Unbekannt (m)

Alter Mitarbeiter: 1. 20-30

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem:

Außen: hell, Temp. 7°C, blauer Himmel, kein Wind
Innen: keine Fenster, keine Deckeninstallation, alleine im Bereich, Betondecke 4m
Betriebsmittel: Jaibot, PCT300 + Stektiv, Fernsteuerung, Tablet, Messlatze

Gesamtleistung SOLL: 3,057 1.09

Gesamtleistung IST: 162 / Fertig: 130

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen:

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Bohren	1	01:32	-	2	
2	Pause MA	1	28:32	-		Jaibot steht still, Mittagspause
3	Jaibot starten	1	02:23	-		
4	Bohren	1	02:28	-	3	
5	Störung "Arm"	1	00:51	-		
6	Bohrercheck	1	00:45	-		
7	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
8	Bohren	1	01:20	-	3	
9	Fahren	1	00:05	-		m=0,5
10	Ausrichtungstanz	1	05:55	-		3 fehlgeschlagene Versuche wegen Wand
11	Fahren	1	01:44	-		m=2
12	Bohrerwechsel	1	02:30	-		
13	Ausrichtungstanz	1	00:40	-		
14	Bohren	1	03:35	-	7	
15	Fahren	1	01:05	-		m=1
16	Ausrichtungstanz	1	00:28	-		
17	Bohren	1	01:38	-	2	1 Bohrbolch nach an Stütze
18	Fahren	1	00:28	-		m=1
19	Ausrichtungstanz	1	00:27	-		
20	Bohren	1	00:35	-	1	
	Fahren	1	04:35	-	1	m=1

Erstelter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.28 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 1/7.

Zeitaufnahmebogen

②

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Bohren
25.11.2022 / 10:50
MD Havstechnik
1
1. Unbekannt (m)
2. 20-30

Gesamtleistung SOLL

3,057 1,09

Gesamtleistung IST

167 / Fertig: 130

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	PLT umstellen	1	01:29	-		Siebol Verbindung zur PLT verloren, m=3
2	PLT einmessen	1	03:38	-		9 Referenzmarken
3	Verbindung Siebol PLT	1	00:32	-		
4	Fahren	1	00:21	-		m=0,5
5	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
6	Bohren	1	02:24	-	5	
7	Fahren	1	00:48	-		m=1
8	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
9	Bohren	1	01:45	-	4	
10	Fahren	1	00:42	-		m=1
11	Bohrercheck	1	01:16	-		
12	Ausrichtungstanz	1	00:27	-		
13	Bohren	1	01:20	-	2	B:2 ! 100% Bohrungstreffer
14	Bohren	1	00:37	-	1	
15	Fahren	1	00:42	-		m=1
16	Bohrercheck	1	01:49	-		
17	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		
18	Bohren	1	01:52	-	2	B:1
19	Fahren	1	01:48	-		m=2
20	Ausrichtungstanz	1	00:33	-		

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.29 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 2/7.

Zeitaufnahmebogen

③

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf

Datum / Anfangszeit

Praxispartner

Anzahl Mitarbeiter

Namen Mitarbeiter

Alter Mitarbeiter

Bohrroboter Bohren
25.11.2022 / 10:50
MD Harstechnik
1
1. Unbekannt (m)
1. 20-30

Gesamtleistung SOLL	3057	1.09
Gesamtleistung IST	167	1 Fertig 130

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	Bohren	1	03:35	-	5	B: 4
2	Störung "Arm"	1	02:08	-		
3	Störung "Arm"	1	02:20	-		
4	Bohren	1	01:06	-	2	ohne Ausrichtungstanz
5	Fahren	1	00:57	-		m=1
6	Ausrichtungstanz	1	00:28	-		
7	Bohren	1	01:41	-	2	B: 2 → 100%
8	Bohren	1	02:23	-	5	
9	Messlatze aufbauen	1	00:59	-		
10	Messlatze messen	1	00:10	-	1	1 Bohrlöch gemessen
11	Fahren	1	00:37	-		m=1
12	Ausrichtungstanz	1	00:35	-		
13	Bohren	1	00:36	-	1	
14	Fahren	1	01:37	-		m=2
15	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
16	Bohren	1	04:11	-	9	
17	Fahren	1	01:08	-		m=1
18	Bohrercheck	1	01:12	-		
19	Ausrichtungstanz	1	00:30	-		
20	Bohren	1	05:39	-	13	B: 1

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.30 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 3/7.

④

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Bohrroboter Bohren

Datum / Anfangszeit: 25.11.2022 / 10:50

Praxispartner: MD Haustechnik

Anzahl Mitarbeiter: 1

Namen Mitarbeiter: 1. Unbekannt (m) 2. 3.

Alter Mitarbeiter: 1. 20-30 2. 3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem:

Gesamtleistung SOLL: 3052 1.0g

Gesamtleistung IST: 167 / Fertig: 130

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen:

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Fahren	1	00:05	-		leicht bewegt m=02
2	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
3	Bohren	1	00:31	-	1	
4	Fahren	1	00:49	-		m=1
5	Ausrichtungstanz	1	00:26	-		
6	Bohren	1	00:38	-	1	
7	Bohrerwechsel	1	03:30	00:25		Andere Bohrergröße, Auswahl Tablet
8	Kompressor entlüften	1	01:04	-		
9	Staubbeutel check	1	00:37	-		
10	Fahren	1	00:57	-		m=1
11	Ausrichtungstanz	1	00:28	-		
12	Bohren	1	03:34	-	8	B:1
13	Fahren	1	00:36	-		m=1
14	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
15	Bohren	1	01:31	-	5	
16	Bohren	1	00:59	-	2	Versuch ohne Bohrung: 2 wegen Klammer
17	Fahren	1	01:04	-		m=1
18	Bohrercheck	1	00:48	-		
19	PLT - Abkürzung	1	00:52	-		m=5
20	PLT - Stationierung	1	00:47	-		gleiche Position = verkürzt

Erstfasser Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.31 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 4/7.

(5)

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf	Bohrroboter Bohren	Gesamtleistung SOLL	3057 1.05
Datum / Anfangszeit	25.11.2022 / 10:50	Gesamtleistung IST	167 / Fertig: 130
Praxispartner	MD Havstechnik		
Anzahl Mitarbeiter	1		
Namen Mitarbeiter	1. Unbekannt (m)	2.	3.
Alter Mitarbeiter	1. 20-30	2.	3.

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Jaibe + koppeln PLT	1	01:18	—		
2	Ausrichtungstanz	1	00:29	—		
3	System Wartezeit	1	00:45	—		Grund unbekannt
4	Bohren	1	05:21	—	12	B: 2
5	Störung "Fahren"	1	01:32	—		
6	Fahren	1	01:21	—		m=1
7	Bohrercheck	1	00:32	—		
8	Störung "Jaibe + nicht gef."	1	00:59	—		
9	Ausrichtungstanz	1	00:30	—		
10	Störung "Wartezeit"	1	00:50	—		macht nix
11	Bohren	1	05:50	—	14	B: 5
12	Fahren	1	01:03	—		m=1
13	Bohrertausch	1	02:43	—		
14	Ausrichtungstanz	1	00:34	—		
15	Bohren	1	02:54	—	6	B: 1
16	Fahren	1	00:43	—		m=1
17	Ausrichtungstanz	1	00:29	—		
18	Bohren	1	03:51	—	8	B: 2
19	Bohrercheck	1	00:54	—		
20	Fahren	1	00:52	—		m=1

Ersteller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.32 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 5/7.

6

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Roboter Bohren

Datum / Anfangszeit: 25.11.2022 / 10:50

Praxispartner: MD Havstedt

Anzahl Mitarbeiter: 1

Namen Mitarbeiter: 1. unbekannt (m)

Alter Mitarbeiter: 20-30

Gesamtleistung SOLL: 3.057 1.09

Gesamtleistung IST: 167 / Fertig: 130

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem:

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen:

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez.-menge	Notizen
1	Ausrichtungstanz	1	00:36	—		
2	Bohren	1	01:58	—	4	
3	Fahren	1	00:41	—		m=1
4	Ausrichtungstanz	1	00:29	—		
5	Bohren	1	01:34	—	3	
6	Fahren	1	00:37	—		m=1
7	Bohrercheck	1	00:39	—		
8	Ausrichtungstanz	1	00:32	—		
9	Bohren	1	01:15	—	5	
10	Bohren	1	01:04	—	2	2 Versuche fehlgeschlagen (Wand)
11	Störung "Arm"	1	01:20	—		
12	Bohren	1	01:04	—	1	1 Versuch fehlgeschlagen (Wand)
13	Fahren	1	01:01	—		m=1
14	Bohrer runter/rauf	1	00:19	—		Grund nicht ersichtl.; m=0,5
15	Ausrichtungstanz	1	00:32	—		
16	Bohren	1	00:59	—	1	1 Versuch fehlgeschlagen
17	Störung "Arm"	1	00:59	—		
18	Bohren	1	02:32	—	2	2 Versuche fehlgeschlagen
19	Fehlerbehebung	1	02:11	—		Neustart
20	Bohrerwechsel	1	04:06	—		Größenwechsel, langer Weg

Erstellter Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert
Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.33 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 6/7.

7

Zeitaufnahmebogen

Allgemeines

Übergeordneter Ablauf: Bohrroboter Bohren

Datum / Anfangszeit: 25.11.2022 / 10:50

Praxispartner: MD Haustechnik

Anzahl Mitarbeiter: 1

Namen Mitarbeiter: 1. Unbekannt (m)

Alter Mitarbeiter: 1. 20-30

Arbeitssystem

Beschreibung Arbeitssystem:

Gesamtleistung SOLL: 3.057 1.05

Gesamtleistung IST: 167 / Fertig: 130

Ablauf- und Zeitaufnahme

Notizen:

Nr.	Ablaufabschnitt	Anzahl MA	Ist-Einzelzeit	Zusätzliche Zeit	Bez-menge	Notizen
1	Ausrichtungstanz	1	00:31	-		
2	Bohren	1	00:41	-	1	1 Versuch fehlgeschlagen
3	Fehlerbehebung	1	11:42	-		
4	Fahren	1	00:53	-		m=1
5	Ausrichtungstanz	1	00:49	-		inkl. Schre PLT
6	Bohren	1	02:20	-	4	B:2
7	Bohrerdecke	1	00:36	-		
8	Ausrichtungstanz	1	00:34	-		
9	Bohren	1	05:15	-	10	B:1
10	Akkurechsel Tablet	1	02:31	-		m=2
11	Tablet koppeln PLT	1	00:33	-		
12	Fahren	1	00:44	-		m=1
13	Bohrerdecke	1	00:48	-		
14	Ausrichtungstanz	1	00:32	-		
15	Bohren	1	06:18	-	8	B:5, Pfosten im Weg
16	Fahren	-	-	-	-	-
17						
18						
19						
20						

Erstföller Zeitaufnahmebogen: Leander Weinert

Version: 3 / 22.11.2022

Abb. A2.34 Im Rahmen dieser Arbeit ausgefüllter Zeitaufnahmebogen 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 7/7.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Koordinationsgespräch	MZR	-	01:48	180,00						2
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:21	135,00				m	6	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:51	85,00	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	01:40	166,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:00	100,00		2		Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:48	80,00				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:15	25,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:31	51,67				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:23	38,33				m	2	1
Messen und markieren	MN	-	01:27	145,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:03	105,00		2		Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:50	83,33	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:49	81,67				m	3	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:54	90,00	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:49	81,67	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:16	26,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:52	86,67	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	01:30	150,00				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	01:45	175,00		2	1	Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:45	75,00				Dübel	2	1
Messen	MZ	-	00:24	40,00	Kontrolle					1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:18	30,00				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:15	25,00				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:21	35,00				m	1	1
Messen	MZ	-	01:05	108,33	Probleme					1
Warten auf Hindernisse	MS	-	00:19	31,67						1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:21	35,00				m	1	1
Messen	MZ	-	00:40	66,67	Probleme					1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:30	50,00				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	03:34	356,67				Messpunkte	4	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	05:44	573,33		4	3	Bohrpunkte	4	1
Dübeln	-	-	01:46	176,67				Dübel	4	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:59	98,33	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:29	48,33				m	1	1
Warten auf Hindernisse	MS	-	01:36	160,00	MA fährt andere Scherenarbeitsbühne weg					1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:40	166,67				m	3	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	01:02	103,33	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	03:41	368,33				Messpunkte	4	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	03:06	310,00		4	1	Bohrpunkte	4	1
Dübeln	-	-	01:37	161,67				Dübel	4	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:22	36,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:01	101,67				m	2	1
Gespräch	MP	-	00:26	43,33	Nicht fachlich					1
Warten auf Hindernisse	MS	-	00:50	83,33	Andere Scherenbühne wird weggefahren					1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:30	50,00				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:27	45,00				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:01	101,67				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	02:59	298,33		2	1	Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:57	95,00				Dübel	2	1
Messen und markieren	MN	-	01:03	105,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:58	96,67		2		Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:51	85,00				Dübel	2	1
Pause	MP	-	02:44	273,33	Raucherpause					1
Messen und markieren	MN	-	01:18	130,00				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	01:45	175,00		2	1	Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:57	95,00				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:23	38,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:07	111,67				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:18	30,00				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	04:08	413,33				Messpunkte	4	1
Bohren	MH	-	00:53	88,33		2		Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	00:55	91,67				Dübel	2	1
Hindernis umklettern	MZ	-	01:09	115,00	Auf der Arbeitsbühne an Hindernissen unter der Decke vorbei klettern					1
Messen und markieren	MN	-	01:06	110,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:52	86,67		2		Bohrpunkte	2	1
Dübeln	-	-	01:00	100,00				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:29	48,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:28	46,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:42	70,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:09	15,00				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:09	115,00				Messpunkte	2	1
Nicht beobachtet	MX	-	08:26	843,33	Sichtfeld behindert durch Deckensturz					1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:38	63,33	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:42	170,00				m	4	1
Mittagspause	ME	-	60:00	6000,00						1
Nicht beobachtet	MX	-	10:00	1000,00	Mittagspause evtl. länger gemacht					1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MN	-	00:18	30,00						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:50	83,33				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:49	81,67	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne Plattform verkleinern	MZ	-	00:29	48,33						1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:28	46,67				m	1	1

Tab. A2.1 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 1/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	01:04	106,67						1
Messen und markieren	MN	-	01:35	158,33				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	06:08	613,33		2	2	Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:58	96,67				Dübel	2	1
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	00:33	55,00						1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:07	11,67				m	0,5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:45	175,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:20	33,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:41	68,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:09	15,00				m	0,5	1
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	00:49	81,67						1
Messen und markieren	MN	-	02:17	228,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:26	143,33		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	01:29	148,33				Dübel	2	1
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	00:20	33,33						1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:07	11,67				m	0,5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:59	98,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:11	18,33				m	0,5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:34	56,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:14	23,33				m	0,5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:19	31,67				m	0,5	1
Messen und markieren	MN	-	00:58	96,67				Messpunkte	2	1
Messen	MZ	-	00:40	66,67	Nachmessen					1
Bohren	MH	-	00:56	93,33		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	01:07	111,67				Dübel	2	1
Messen und markieren	MN	-	01:27	145,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:54	90,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:46	76,67				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	02:05	208,33	inkl. Hindernisse umfahren			m	2	1
Messen und markieren	MN	-	00:51	85,00				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	03:05	308,33		2	2	Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	01:19	131,67				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:41	68,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:43	71,67	Komplett			m	5	1
Pause	MP	-	02:59	298,33	Raucherpause					1
Koordinationsgespräch	MZR	-	00:49	81,67						2
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:12	120,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen MA 2	MZ	-	00:15	25,00						2
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:30	50,00	Komplett			m	5	2
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:51	85,00				m	1	2
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:16	26,67				m	0,5	2
Messen und markieren	MN	-	01:55	191,67				Messpunkte	2	2
Bohren	MH	-	01:02	103,33		2		Bohrpunkte		2
Dübeln	-	-	01:49	181,67				Dübel	2	2
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:26	43,33				m	1	2
Gespräch	MP	-	00:10	16,67	Nicht fachlich					2
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:22	36,67	Komplett			m	4	2
Scherenarbeitsbühne absteigen MA 2	MZ	-	00:10	16,67						2
Warten auf Hindernisse	MS	-	03:04	306,67	MA 2 fährt andere Scherenbühne weg					1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:53	188,33				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	01:09	115,00	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:57	95,00				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:32	53,33				m	0,5	1
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	01:08	113,33						1
Messen und markieren	MN	-	02:52	286,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:19	31,67		1		Bohrpunkte		1
Nicht beobachtet	MX	-	01:34	156,67	Sichtfeld eingeschränkt					1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	02:28	246,67		3	1	Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	01:06	110,00				Dübel	4	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:36	60,00	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:24	140,00				m	2	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:51	85,00	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	01:22	136,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:59	98,33		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:39	65,00				Dübel	2	1
Messen	MZ	-	00:17	28,33	Probleme					1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:23	38,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:41	68,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:56	93,33				m	1	1
Messen	MZ	-	00:57	95,00	Probleme					1
Gespräch	MP	-	00:23	38,33	Nicht fachlich					1
Messen und markieren	MN	-	00:16	26,67				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	01:57	195,00		2	1	Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:53	88,33				Dübel	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:25	41,67				m	1	1
Gespräch	MP	-	00:10	16,67	Nicht fachlich					1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	01:05	108,33				m	1	1

Gesamtdauer

247:49 24781,67

Bezugsmenge 44 13

Tab. A2.2 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 08.05.2023, S. 2/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Fahrt zum Arbeitsplatz	MNR	-	03:00	300,00	Fahrtweg auf dem Baustellengelände			m	400	2
Material und Werkzeug aus Bulli ausladen	MHR	-	03:28	346,67						2
Material und Werkzeug zum Arbeitsbereich bringen	MHR	-	03:09	315,00	Transportweg von Bulli (außerhalb der Baustelle) zum Arbeitsplatz (1.OG)			m	100	2
Scherenarbeitsbühne hingehen	MZR	-	00:42	70,00				m	30	2
Scherenarbeitsbühne abholen	MZR	-	01:40	166,67				m	30	2
Arbeitsbereich vorbereiten	MZR	-	01:48	180,00	Arbeitsbereich freiräumen (Material und Müll von anderen Gewerken wegstellen)					2
Arbeitsplatz organisieren	MNR	-	02:13	221,67						2
Warten auf OM	MAR	-	12:39	1265,00	OM holt eine Lampe aus dem Bulli					2
Koordinationsgespräch	MZR	-	01:38	163,33	Plan lesen und Arbeit planen durch OM					2
Auffanggurt anlegen	MNR	-	00:42	70,00						2
Scherenarbeitsbühne fahren	MNR	-	00:20	33,33				m	1	2
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MNR	-	00:31	51,67				m	2	2
Koordinationsgespräch	MZR	-	01:19	131,67	Plan lesen und Arbeit planen durch OM					2
Messen	MHR	-	00:31	51,67	Verorten					1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MNR	-	00:21	35,00				m	2	1
Messen	MHR	-	00:50	83,33	Verorten					1
Messen und markieren	MHR	-	01:57	195,00				Messpunkte	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MNR	-	00:24	40,00	Komplett			m	4	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MZ	-	00:14	23,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZ	-	00:30	50,00	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MZ	-	00:57	95,00				Messpunkte	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:13	21,67				m	1	1
Gespräch	MP	-	00:34	56,67	Nicht-fachlich					1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZ	-	00:19	31,67				m	4	1
Gespräch	MP	-	00:30	50,00	Nicht-fachlich					1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MNR	-	00:16	26,67						1
Material holen	MHR	-	02:04	206,67	Fehlende Dübel					1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MNR	-	00:20	33,33						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:34	56,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:40	66,67	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	02:00	200,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	01:16	126,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:38	63,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:34	156,67				Elemente	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:56	193,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:33	55,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:02	103,33				Elemente	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:22	36,67				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:03	105,00				Messpunkte	2	1
Bohren (Zus. B.)	MH	-	01:34	156,67		2	1	Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:26	43,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:49	81,67				Elemente	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:08	13,33				m	0,5	1
Auffanggurt umhaken	MNR	-	00:35	58,33						1
Messen und markieren	MN	-	01:20	133,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:37	61,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:28	46,67				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:11	118,33				Elemente	1	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZR	-	00:23	38,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MZR	-	02:09	215,00				m	4	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZR	-	00:26	43,33	Komplett			m	4	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MZR	-	00:16	26,67				m	0,5	1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MZR	-	00:11	18,33						1
Arbeitsbereich vorbereiten	MZR	-	00:15	25,00	Bretter auf dem Boden wegräumen					1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MZR	-	00:13	21,67						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:31	51,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:33	55,00				m	5	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:38	63,33				m	1	1
Auffanggurt umhaken	MNR	-	00:14	23,33						1
Messen und markieren	MN	-	01:34	156,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:49	81,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:46	76,67				Elemente	1	1
Messen	MZ	-	00:29	48,33						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:08	13,33				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	00:47	78,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:55	91,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:04	106,67				Elemente	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:08	13,33				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:28	146,67				Messpunkte	2	1

Tab. A2.3 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme 'Manueller Bohrprozess' vom 09.05.2023, Satz 1, S. 1/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Bohren	MH	-	00:43	71,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:37	61,67				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:56	93,33				Elemente	1	1
Auffanggurt umhaken	MNR	-	00:14	23,33						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MNR	-	00:33	55,00				m	1	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MNR	-	00:26	43,33	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MNR	-	00:08	13,33						1
Ladegerät anschließen und Akkutausch Bohrmaschine	MNR	-	01:22	136,67						1
Pause	MP	-	02:03	205,00	Raucherpause					1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MNR	-	00:10	16,67						1
Scherenarbeitsbühne fahren	MN	-	00:17	28,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:48	80,00	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	02:20	233,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:46	76,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:24	40,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:01	101,67				Elemente	1	1
Messen und markieren	MN	-	04:10	416,67				Messpunkte	4	1
Bohren	MH	-	01:35	158,33		4		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:58	96,67				Dübel	4	1
Montieren	-	-	01:40	166,67				Elemente	2	1
Schlagschrauben	-	-	00:47	78,33				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	-	-	00:23	38,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne fahren	-	-	00:13	21,67				m	1	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	-	-	00:19	31,67				m	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:37	61,67				Schrauben	4	1
Scherenarbeitsbühne fahren	-	-	00:53	88,33				m	2	1
Schlagschrauben	-	-	00:22	36,67				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	-	-	00:39	65,00	Komplett			m	5	1

Gesamtdauer

102:43 10271,67

Bezugsmenge 20 1

Tab. A2.4 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 1, S. 2/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Bohren	MH	-	00:49	81,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:30	50,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:33	55,00				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:15	25,00				Schrauben	2	1
Messen und markieren	MN	-	01:31	151,67				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:46	76,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:26	43,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:00	100,00				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:13	21,67				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:24	40,00				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:29	148,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:51	85,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:30	50,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	01:08	113,33				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:19	31,67				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:11	18,33				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:16	126,67				Messpunkte	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZR	-	00:27	45,00				m	3	1
Koordinationsgespräch	MZR	-	00:14	23,33	Koordinierung mit anderem Gewerk					1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZR	-	00:15	25,00				m	3	1
Arbeitsbereich vorbereiten	MNR	-	00:30	50,00	Sortieren					1
Bohren	MH	-	00:48	80,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:29	48,33				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:43	71,67				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:18	30,00				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:26	43,33				m	1	1
Messen	MZ	-	00:33	55,00						1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MZR	-	00:40	66,67	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MZR	-	00:17	28,33						1
Koordinationsgespräch	MZR	-	08:35	858,33						2
Pause	MP	-	03:33	355,00	Raucherpause					1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MZR	-	00:16	26,67						1
Pause	MP	-	00:18	30,00	Nicht planmäßig					1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MZR	-	00:37	61,67	Komplett			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	01:15	125,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:47	78,33		2		Bohrpunkte		1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MNR	-	00:40	66,67	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MNR	-	00:10	16,67						1
Akkutausch Bohrmaschine	MNR	-	00:45	75,00						1
Kabeltrommel verlegen	MNR	-	02:13	221,67	um Scherenarbeitsbühne aufzuladen			m	20	1
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	MNR	-	00:14	23,33						1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MNR	-	01:02	103,33	Komplett, schwache Batterie Scherenarbeitsbühne			m	5	1
Messen und markieren	MN	-	00:45	75,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:38	63,33		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:21	35,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:50	83,33				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:19	31,67				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:43	71,67				m	1	1
Messen	MZ	-	00:44	73,33						1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:08	13,33				m	0,5	1
Messen und markieren	MN	-	00:35	58,33				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:51	85,00		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	00:39	65,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:59	98,33				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:12	20,00				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MN	-	00:26	43,33				m	1	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	01:21	135,00				m	3	1
Scherenarbeitsbühne hochfahren	MN	-	00:51	85,00	schwache Batterie Scherenarbeitsbühne			m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:36	160,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:53	88,33		2		Bohrpunkte		1
Bohrerwechsel	MHR	-	00:28	46,67						1
Dübeln	-	-	00:45	75,00				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:55	91,67				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:24	40,00				Schrauben	2	1
Messen und markieren	MN	-	02:03	205,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:49	81,67		2		Bohrpunkte		1
Dübeln	-	-	01:40	166,67				Dübel	2	1
Montieren	-	-	00:47	78,33				Elemente	1	1
Schlagschrauben	-	-	00:14	23,33				Schrauben	2	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MN	-	00:19	31,67				m	1	1
Messen und markieren	MN	-	01:30	150,00				Messpunkte	2	1
Bohren	MH	-	00:48	80,00		2		Bohrpunkte		1
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	MNR	-	00:43	71,67	Komplett			m	5	1
Scherenarbeitsbühne Fahren	MNR	-	00:58	96,67				m	2	1
Scherenarbeitsbühne absteigen	MNR	-	00:08	13,33						1
Scherenarbeitsbühne Strom anschließen	MNR	-	00:34	56,67						1

Gesamtdauer

01:04:12 6420,00

Tab. A2.5 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ vom 09.05.2023, Satz 2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.-menge	Zus. B.	Einfluss-größe [Einheit]	Einfluss-größe [Wert]	MA
Jaibot fahren	-	BN	00:35	58,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:34	56,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:58	396,67		5	1	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:42	70,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:25	241,67	Löcher eng beieinander	5	1	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	02:51	285,00						1
Jaibot fahren	-	BN	00:21	35,00				m	0,5	1
MA sucht Fernsteuerung	-	BZ	00:44	73,33	Fernsteuerung verlegt					1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren	-	BH	03:06	310,00		8		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:40	66,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	03:05	308,33		6		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:35	58,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren	-	BH	02:37	261,67		6		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:24	40,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	04:19	431,67		6	3	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	04:22	436,67						1
Jaibot fahren	-	BN	00:14	23,33				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:38	63,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:28	346,67		6	1	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	02:29	248,33						1
Jaibot bohren	-	BH	03:20	333,33		6		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:57	95,00	Hindernis umfahren			m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:34	56,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:10	516,67		12	1	Bohrpunkte		1
Akkutausch Tablet	-	BNR	04:24	440,00				m	2	1
Jaibot fahren	-	BN	00:46	76,67				m	1	1
Störung "Verbindung zum Jaibot"	-	BS	04:33	455,00						1
PLT umstellen	-	BHR	05:18	530,00				m	6	1
PLT koppeln mit Jaibot	-	BHR	01:42	170,00						1
Jaibot fahren	-	BN	01:07	111,67				m	2	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren	-	BH	03:19	331,67		7		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:06	110,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:27	45,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	09:30	950,00		20	2	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:53	88,33				m	1	1
Bohrerwechsel	-	BHR	02:54	290,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Gespräch	-	BP	01:28	146,67	Im Gespräch mit Kollegen					1
Jaibot bohren	-	BH	06:35	658,33		15		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:00	100,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:05	508,33		11	1	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	01:47	178,33						1
Jaibot bohren	-	BH	00:40	66,67		1		Bohrpunkte		1
Gesamtdauer			104:54	10490,00		Bezugsmenge 114 10				

Tab. A2.6 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 23.11.2022.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Jaibot bohren	-	BH	02:16	226,67		5		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	01:02	103,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:38	63,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	04:45	475,00		7	3	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:49	81,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:13	221,67		4	1	Bohrpunkte	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:20	33,33						1
Jaibot fahren	-	BN	01:16	126,67				m	1	1
Bohrerwechsel, Farbdüse einstellen	-	BHR	02:50	283,33						2
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:33	255,00		2	1	Bohrpunkte	1	1
Störung "Markierungssystem"	-	BS	36:30	3650,00	Störung und Reperatur Markierungssystem					2
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZ	00:30	50,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	06:04	606,67		12	3	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	01:02	103,33				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:02	103,33						1
Akkutausch Tablet	-	BNR	03:18	330,00				m	2	1
Jaibot fahren	-	BN	00:20	33,33				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	04:32	453,33		5	3	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:48	80,00				m	1	1
Bohrerkontrolle, Farbdüse einstellen, Staubbeutel auswechseln	-	BZR	06:43	671,67						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	03:52	386,67	Farbpunkte zu undeutlich	9		Bohrpunkte	1	1
Störung "Markierungssystem"	-	BS	78:27	7845,00	Störung und Reperatur Markierungssystem					1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZ	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	04:46	476,67	Bohren fehlgeschlagen: 1	11		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:49	81,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	00:28	46,67		1		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:33	55,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:09	115,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:25	541,67		10	1	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:52	86,67				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:15	125,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	10:32	1053,33		21	2	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:51	85,00				m	1	1
Bohrerwechsel	-	BHR	03:24	340,00	Ablenkung durch Kollegen					1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:36	60,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:46	376,67		7	1	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	01:00	100,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:13	121,67						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:35	58,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	09:26	943,33		16	5	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	01:20	133,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	07:01	701,67		14	2	Bohrpunkte	1	1
Bohrerwechsel	-	BHR	03:35	358,33						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZR	00:35	58,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	01:57	195,00		3	1	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:44	73,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	02:21	235,00		5		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	01:06	110,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:44	73,33						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	04:53	488,33		6	2	Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	02:27	245,00				m	3	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:09	115,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:35	58,33						1
Jaibot bohren	-	BH	03:45	375,00		7		Bohrpunkte	1	1
Mittagspause	-	BE	45:00	4500,00						1
PLT umstellen	-	BHR	00:28	46,67				m	1	1
PLT einmessen	-	BHR	03:05	308,33				Reflektoren	7	1
PLT koppeln mit Jaibot	-	BHR	00:45	75,00						1
Jaibot fahren	-	BN	00:48	80,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren	-	BH	01:25	141,67		2		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:30	50,00				m	0,5	1
Bohrerwechsel	-	BHR	04:11	418,33						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BA	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	04:38	463,33		14		Bohrpunkte	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:20	33,33				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:35	58,33						1

Tab. A2.7 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 24.11.2022, Satz 1, S. 1/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Jaibot bohren	-	BH	01:03	105,00		2		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:26	143,33				m	1	1
Störung "Ausrichtungstanz"	-	BS	00:26	43,33	Prisma nicht gefunden					1
Jaibot fahren	-	BZ	00:27	45,00				m	0,5	1
Störung "Ausrichtungstanz"	-	BS	00:24	40,00	Prisma nicht gefunden					1
Jaibot fahren	-	BZ	01:01	101,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:34	56,67						1
Jaibot bohren	-	BH	02:10	216,67		4		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:12	120,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:36	60,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	04:35	458,33		6	2	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:41	68,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:42	70,00						1
Jaibot bohren	-	BH	01:00	100,00		1		Bohrpunkte		1
Bohrerwechsel	-	BHR	00:58	96,67						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZR	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	03:55	391,67		8		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:23	138,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren	-	BH	01:42	170,00		3		Bohrpunkte		1

Gesamtdauer

334:36 33460,00

Bezugsmenge 185 27

Tab. A2.8 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 1, S. 2/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Transportbox öffnen		BNR	00:35	58,33	inkl. Türen und Rampen					1
Material aus Transportbox stellen		BZR	01:53	188,33	Bohrer, Staubbeutel, Kartons			m	2	1
Bohrturm herunterfahren		BHR	00:34	56,67				m	1	1
Jaibot vor Transportbox fahren		BHR	01:04	106,67				m	2	1
ROS herunterfahren		BHR	01:30	150,00						1
PLT abbauen und verstauen		BHR	03:01	301,67				m	10	1
Messlanze abbauen und verstauen		BZR	01:34	156,67	etwas ungeübt					1
Kompressor entlüften		BNR	00:46	76,67						1
Jaibot in Transportbox fahren		BHR	02:26	243,33				m	1	1
Stromversorgung anklemmen		BNR	00:32	53,33	Bohrer, Staubbeutel, Kartons					1
Material in Transportbox stellen, Transportbox schließen		BNR	01:52	186,67	inkl. Türen und Rampen			m	2	1

Gesamtdauer

00:15:47 1578,33

Tab. A2.9 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 24.11.2022, Satz 2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Transportbox öffnen		BNR	02:52	286,67	inkl. Türen und Rampen					1
Material aus Transportbox stellen		BZR	01:51	185,00	Bohrer, Staubbeutel, Kartons			m	2	1
ROS hochfahren		BHR	04:30	450,00						1
Stromversorgung abklemmen		BNR	01:01	101,67						1
Tablet und Fernsteuerung herausnehmen und hochfahren		BNR	04:16	426,67						1
Jaibot aus Transportbox fahren		BHR	01:59	198,33				m	2	1
Kompressor entlüften		BNR	00:53	88,33						1
Staubbeutel kontrollieren		BA	00:28	46,67						1
Füllstand Farbe kontrollieren		BA	00:36	60,00						1
Bohrerkontrolle		BA	01:05	108,33						1
PLT herausnehmen und aufbauen		BHR	03:12	320,00				m	8	1
PLT einmessen		BHR	03:55	391,67				Reflektoren	9	1
PLT koppeln mit Jaibot		BHR	00:38	63,33						1

Gesamtdauer

00:27:16 2726,67

Tab. A2.10 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 1.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Jaibot bohren	-	BH	01:32	153,33		2		Bohrpunkte		1
Mittagspause	-	BE	28:32	2853,33	Jaibot steht still					1
Jaibot starten	-	BHR	02:28	246,67						1
Jaibot bohren	-	BH	02:28	246,67		3		Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	00:51	85,00						1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:45	75,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	01:20	133,33		3		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:05	8,33				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZ	05:55	591,67	3 Fehlversuche: Wand zwischen PLT und Jaibot					1
Jaibot fahren	-	BZ	01:44	173,33				m	2	1
Bohrenwechsel	-	BHR	02:30	250,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:40	66,67						1
Jaibot bohren	-	BH	03:35	358,33		7		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:05	108,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:28	46,67						1
Jaibot bohren	-	BH	01:38	163,33		2		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:28	46,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:27	45,00						1
Jaibot bohren	-	BH	00:35	58,33		1		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:35	158,33				m	1	1
PLT umstellen	-	BHR	01:29	148,33				m	3	1
PLT einmessen	-	BHR	03:38	363,33				Reflektoren	9	1
PLT koppeln mit Jaibot	-	BHR	00:32	53,33						1
Jaibot fahren	-	BN	00:21	35,00				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	02:24	240,00		5		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:48	80,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	01:45	175,00		4		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:42	70,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:16	126,67						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:27	45,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	01:20	133,33		0	2	Bohrpunkte		1
Jaibot bohren	-	BH	00:37	61,67		1		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:42	70,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:47	178,33						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	01:52	186,67		1	1	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:48	180,00				m	2	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:33	55,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:35	358,33		1	4	Bohrpunkte		1
Störung "Arm gestört"	-	BS	04:28	446,67						1
Jaibot bohren	-	BH	01:06	110,00		2		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:57	95,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:28	46,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	01:41	168,33		0	2	Bohrpunkte		1
Jaibot bohren	-	BH	02:23	238,33		5		Bohrpunkte		1
Messlanze entnehmen und aufbauen	-	BA	00:59	98,33						1
Messlanze messen	-	BA	00:10	16,67				Bohrlöcher	1	1
Jaibot fahren	-	BN	00:37	61,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:35	58,33						1
Jaibot bohren	-	BH	00:36	60,00		1		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:37	161,67				m	2	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:31	51,67						1
Jaibot bohren	-	BH	04:11	418,33		9		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:08	113,33				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	01:12	120,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Jaibot bohren	-	BH	05:39	565,00		13		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:05	8,33	wenig bewegt			m	0,2	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	00:31	51,67		1		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:49	81,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:26	43,33						1
Jaibot bohren	-	BH	00:38	63,33		1		Bohrpunkte		1
Bohrenwechsel	-	BHR	03:55	391,67						1
Kompressor entlüften	-	BA	01:04	106,67						1
Staubbeutel kontrollieren	-	BA	00:37	61,67						1
Jaibot fahren	-	BN	00:57	95,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:28	46,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:34	356,67		7	1	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:36	60,00				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1

Tab. A2.11 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme ‚Semi-autonomer Bohrprozess‘ vom 25.11.2022, Satz 2, S. 1/2.

Ablauf			Ist-Einzelzeit		Einfluss					
Ablaufabschnitt	[M]	[B]	mm:ss	HM	Notiz	Bez.- menge	Zus. B.	Einfluss- größe [Einheit]	Einfluss- größe [Wert]	MA
Jaibot bohren	-	BH	01:31	151,67		5		Bohrpunkte		1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	00:59	98,33	2 Fehlversuche: zu nah an Wand					1
Jaibot fahren	-	BN	01:04	106,67				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:48	80,00						1
Akkutausch PLT	-	BNR	00:52	86,67				m	5	1
PLT einmessen	-	BHR	00:47	78,33	Kontrollmessung, Standort bekannt					1
PLT koppeln mit Jaibot	-	BHR	01:18	130,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:29	48,33						1
Störung "Systemwartezeit"	-	BS	00:45	75,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:21	535,00		10	2	Bohrpunkte		1
Störung "Jaibot fährt nicht"	-	BS	01:32	153,33						1
Jaibot fahren	-	BN	01:21	135,00				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:37	61,67						1
Störung "Verbindung zum Jaibot"	-	BS	00:59	98,33						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:30	50,00						1
Störung "Systemwartezeit"	-	BS	00:50	83,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:50	583,33		9	5	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	01:03	105,00				m	1	1
Bohrerwechsel	-	BHR	02:43	271,67						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:34	56,67						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:54	290,00		5	1	Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:43	71,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:29	48,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	03:51	385,00		6	2	Bohrpunkte		1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:54	90,00						1
Jaibot fahren	-	BN	00:52	86,67				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:36	60,00						1
Jaibot bohren	-	BH	01:58	196,67		4		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:41	68,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:29	48,33						1
Jaibot bohren	-	BH	01:34	156,67		3		Bohrpunkte		1
Jaibot fahren	-	BN	00:37	61,67				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:39	65,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren	-	BH	01:15	125,00		5		Bohrpunkte		1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	01:04	106,67	2 Fehlversuche: zu nah an Wand					1
Störung "Arm gestört"	-	BS	01:20	133,33						1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	01:04	106,67	1 Fehlversuch: zu nah an Wand					1
Jaibot fahren	-	BZ	01:01	101,67				m	1	1
Bohrturm herunterfahren	-	BZ	00:19	31,67				m	0,5	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZ	00:32	53,33						1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	00:59	98,33	1 Fehlversuch: zu nah an Wand					1
Störung "Arm gestört"	-	BS	00:59	98,33						1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	02:32	253,33	2 Fehlversuche: zu nah an Wand					1
Störung "Arm gestört"	-	BS	02:11	218,33	inkl. Neustart					1
Bohrerwechsel	-	BHR	04:06	410,00	langer Weg					1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BZ	00:31	51,67						1
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	-	BS	00:41	68,33	1 Fehlversuch: zu nah an Wand					1
Fehlerbehebung	-	BS	11:42	1170,00	Fehler mehrmals "Bohren fehlgeschlagen"					1
Jaibot fahren	-	BN	00:53	88,33				m	1	1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:49	81,67	inkl. Lokalisation PLT					1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	02:20	233,33		2	2	Bohrpunkte		1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:36	60,00						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	05:15	525,00		9	1	Bohrpunkte		1
Akkutausch Tablet	-	BNR	02:31	251,67				m	2	1
PLT koppeln mit Jaibot	-	BZR	00:33	55,00						1
Jaibot fahren	-	BN	00:44	73,33				m	1	1
Bohrerkontrolle	-	BA	00:48	80,00						1
Jaibot Ausrichtungstanz	-	BN	00:32	53,33						1
Jaibot bohren (Zus. B.)	-	BH	06:18	630,00		3	5	Bohrpunkte		1

Gesamtdauer

228:13 22821,67

Bezugsmenge 130 28

Tab. A2.12 Digitalisierte Daten der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' vom 25.11.2022, Satz 2, S. 2/2.

X Anhang 3: Auswertungen

In diesem Anhang sind die Auswertungen und Ergebnisse der Zeitaufnahmen enthalten, die auf den im Rahmen dieser Bachelorarbeit erhobenen und analysierten Daten beruhen. Alle enthaltenen Abbildungen und Tabellen sind selbst entwickelt. Sämtliche Abbildungen und Tabellen wurden eigenständig erstellt und erfordern daher keine Quellenangaben.

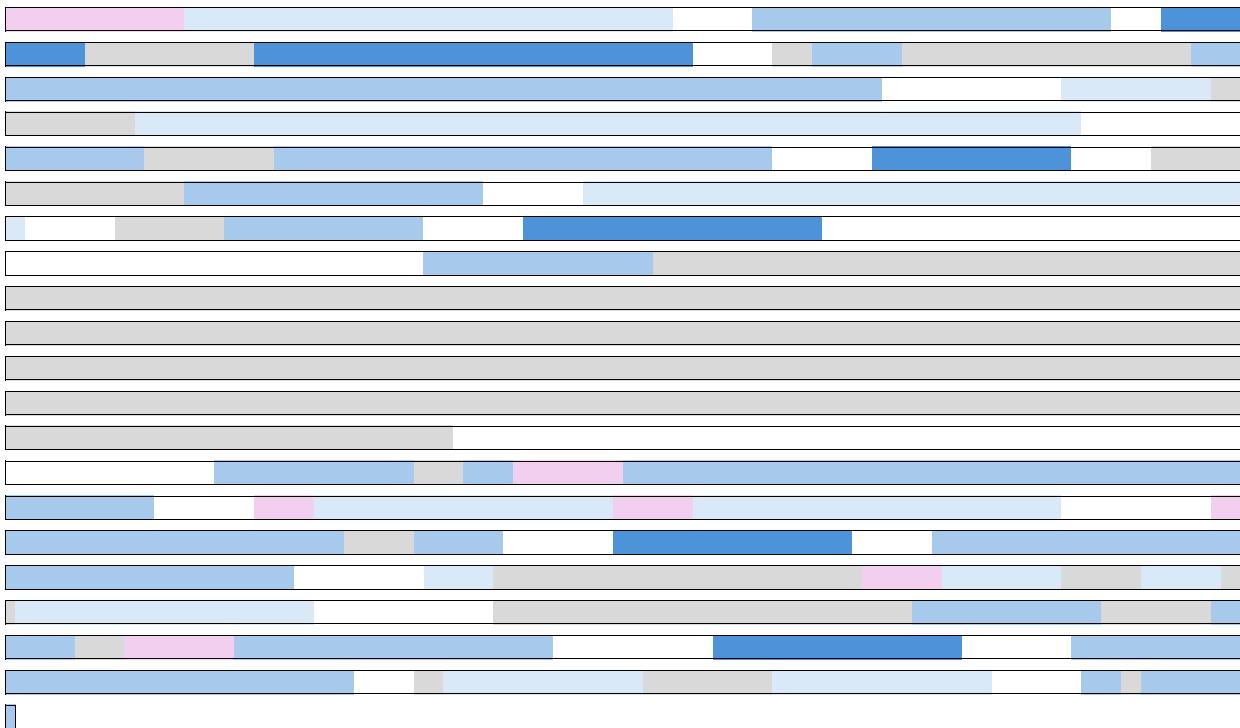
Ablaufabschnitt	Startereignis	Endereignis	Beschreibung
Akkutausch Bohrmaschine	Alten Akku hinlangen	Neuen Akku loslassen	- Alten Akku aus Bohrmaschine lösen - Mit alten Akku zum Akku-Ladegerät gehen - Akku austauschen - Mit neuen Akku zum Arbeitsbereich zurück - Neuen Akku in Bohrmaschine einrasten
Arbeitsbereich vorbereiten	Arbeitsbereich eintreffen	Arbeitsbereich verlassen	- Arbeitsbereich erfassen und einschätzen - Material, Werkzeug, sonstige Gegenstände zur Seite räumen - Zur anderen Tätigkeit weiter
Arbeitsplatz organisieren	Material, Werkzeug, sonstige Gegenstände hinlangen	Material, Werkzeug, sonstige Gegenstände loslassen	- Arbeitsplatz erfassen und einschätzen - Material, Werkzeug, sonstige Gegenstände vorbereiten und ordnen
Auffanggurt anlegen	Auffanggurt hinlangen	Auffanggurt loslassen	- Auffanggurt nehmen - Auffanggurt feste anlegen
Auffanggurt umhaken	Sicherheitshaken hinlangen	Sicherheitshaken loslassen	- Sicherheitshaken aushaken - Position auf Plattform ändern - Sicherheitshaken einhaken
Bohren	Bohrmaschine greifen	Bohrmaschine loslassen	- Bohrmaschine nehmen und über den Kopf führen - Löcher bohren (nur geplante Bohrungen) - Bohrmaschine ablegen
Bohren (Zus. B.)	Bohrmaschine greifen	Bohrmaschine loslassen	- Bohrmaschine nehmen und über den Kopf führen - Löcher bohren (inkl. weiterer ungeplanter Bohrungen) - Bohrmaschine ablegen
Bohrerwechsel	Bohrer kontrollieren	Spannfutter loslassen	- Bohrer kontrollieren - Spannfutter öffnen (etwa alle 100 Bohrlöcher) - Alten Bohrer herausnehmen und verstauen - Neuen Bohrer herausnehmen und einsetzen - Spannfutter schließen
Fahrt zum Arbeitsplatz	Türen greifen	Türen loslassen	- Türen öffnen - Alle Personen am Baucontainer einsteigen - Türen schließen - Fahrt von Halleneingang - Türen öffnen - Alle Personen aussteigen - Türen schließen
Dübeln	Dübel hinlangen	Hammer loslassen	- Dübel herausnehmen und in Loch stecken - Hammer herausnehmen - Dübel in Loch schlagen - Hammer verstauen
Gespräch	Gesprächsbeginn	Gesprächsende	- Gespräch mit anderen Personen
Hindernis umklettern	Ein Fuß von Plattform	Beide Füße auf Plattform	- Auf Umrandung von der Plattform klettern - Oberkörper zwischen Hindernissen hindurchschieben
Kabeltrommel verlegen	Kabeltrommel greifen	Arbeitsbereich eintreffen	- Kabeltrommel abwickeln - Mit Stecker zum Verteilerkasten gehen - Zum Arbeitsbereich zurück gehen
Koordinationsgespräch	Gesprächsbeginn mit OM	Gesprächsende mit OM	- Gespräch und Planung mit Obermonteur zusammen
Ladegerät anschließen und Akkutausch Bohrmaschine	Ladegerät greifen	Neuen Akku loslassen	- Ladegerät an Stromverteilung anschließen - Alten Akku aus Bohrmaschine lösen - Mit alten Akku zum Akku-Ladegerät gehen - Akku austauschen - Mit neuen Akku zum Arbeitsbereich zurück - Neuen Akku in Bohrmaschine einrasten
Material holen	Arbeitsbereich verlassen	Material loslassen	- Zum Materiallager / Bulli gehen - Material zusammensuchen - Mit Material zum Arbeitsbereich zurück gehen - Material ablegen

Tab. A3.1 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 1/2.

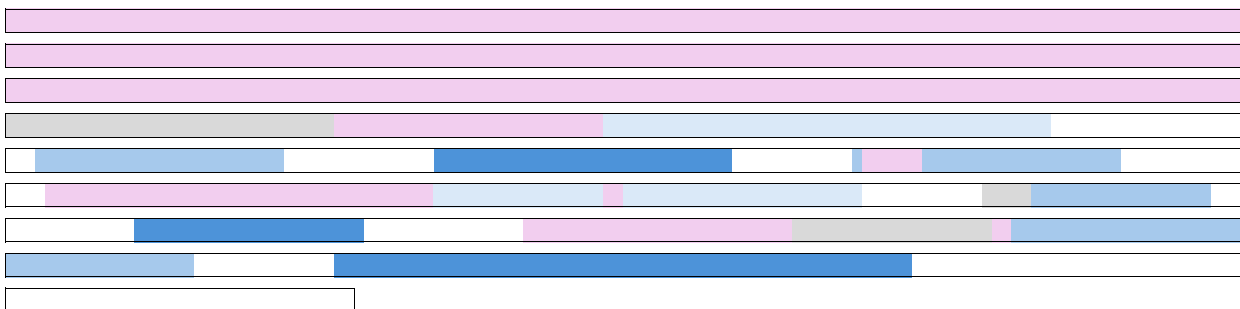
Ablaufabschnitt	Startereignis	Endereignis	Beschreibung
Material und Werkzeug aus Bulli ausladen	Ladetüren greifen	Ladetüren loslassen	- Ladetüren öffnen - Material zusammensuchen und verteilen - Ladetüren schließen
Material und Werkzeug zum Arbeitsbereich bringen	Ladetüren loslassen	Material loslassen	- Mit Material zum Arbeitsbereich gehen - Material ablegen
Messen	Gliedermaßstab hinlangen	Gliedermaßstab loslassen	- Gliedermaßstab herausnehmen - Messen ohne zu markieren - Gliedermaßstab verstauen
Messen und markieren	Gliedermaßstab hinlangen	Stift loslassen	- Gliedermaßstab und Stift herausnehmen - Bohrpunkte mit Gliedermaßstab ausmessen - Bohrpunkte mit Stift anzeichnen - Gliedermaßstab und Stift verstauen
Mittagspause	Arbeit unterbrochen	Arbeit wieder aufgenommen	- Festgelegte Mittagspause für alle Mitarbeiter
Montieren	Befestigungselement hinlangen	Schrauben loslassen	- 2 Schrauben aus 2 Dübeln herausdrehen - Befestigungselement (etwa 10 cm) herausnehmen - Befestigungselement anhalten - 2 Schrauben in 2 Dübel handfest hereindrehen
Nicht beobachtet	Keine Angabe	Keine Angabe	- nicht erfasst oder nicht erkennbar
Pause	Arbeit unterbrochen	Arbeit wieder aufgenommen	- (Private) Tätigkeiten außerhalb der Aufgabe
Scherenarbeitsbühne abholen	Sicherheitsgurt loslassen	Beide Füße auf Boden	- Mit Scherenarbeitsbühne zum Arbeitsbereich fahren - Sicherheitshaken aushaken - Von Scherenarbeitsbühne absteigen
Scherenarbeitsbühne absteigen	Sicherheitshaken hinlangen	Beide Füße auf Boden	- Sicherheitshaken aushaken - Tür öffnen - Treppe heruntersteigen
Scherenarbeitsbühne absteigen MA 2	Sicherheitshaken hinlangen	Beide Füße auf Boden	- Sicherheitshaken aushaken - Tür öffnen und schließen - Treppe heruntersteigen
Scherenarbeitsbühne aufsteigen	Ein Fuß vom Boden	Sicherheitshaken loslassen	- Treppe hochsteigen - Tür öffnen und schließen - Sicherheitshaken einhaken
Scherenarbeitsbühne aufsteigen MA 2	Ein Fuß vom Boden	Sicherheitshaken loslassen	- Treppe hochsteigen - Tür öffnen und schließen - Sicherheitshaken einhaken
Scherenarbeitsbühne fahren	Kippschalter greifen	Kippschalter loslassen	- Kippschalter in Fahrmodus bringen - Mit Joystick fahren - Kippschalter in Standmodus bringen
Scherenarbeitsbühne herunterfahren	Joystick greifen	Joystick loslassen	- Mit Joystick im Standmodus die Plattform herunterfahren
Scherenarbeitsbühne hingehen	Arbeitsbereich verlassen	Sicherheitshaken loslassen	- Zur Scherenarbeitsbühne gehen - Auf Scherenarbeitsbühne aufsteigen - Sicherheitshaken einhaken
Scherenarbeitsbühne hochfahren	Joystick greifen	Joystick loslassen	- Mit Joystick im Standmodus die Plattform herunterfahren
Scherenarbeitsbühne Plattform verkleinern	Sicherheitsraste greifen	Sicherheitsraste loslassen	- Sicherheitsrasten lösen - Plattformerweiterung einfahren - Sicherheitsrasten befestigen
Scherenarbeitsbühne Strom anschließen	Arbeitsbereich verlassen	Netzstecker loslassen	- Zur Scherenarbeitsbühne gehen - Stromkabel aus Scherenarbeitsbühne herausholen - Stromkabel an Strom anschließen
Schlagschrauben	Schlagschrauber greifen	Schlagschrauber loslassen	- Schlagschrauber nehmen und zu Schrauben führen - Schrauben mit Schlagschrauber anziehen - Schlagschrauber ablegen
Warten auf OM	Arbeit unterbrochen	OM im Arbeitsbereich	- Nicht weiterarbeiten, bis OM zurück kommt
Warten auf Hindernisse	Arbeit unterbrochen	Hindernis aufgelöst	- Nicht weiterarbeiten, bis sich das Hindernis auflöst

Tab. A3.2 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme 'Manueller Bohrprozess' mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 2/2.

Zeitaufnahme 08.05.2023



Zeitaufnahme 09.05.2023 (1)



Zeitaufnahme 09.05.2023 (2)

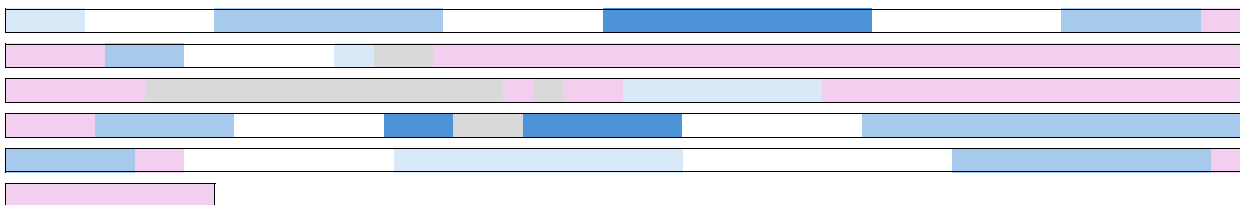


Abb. A3.1 Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme ‚Manueller Bohrprozess‘ (eigene Darstellung).

Ablaufabschnitt	Startereignis	Endereignis	Beschreibung
Akkutausch PLT	Gehen starten	'Power-Button' loslassen	- MA geht zur PLT - MA schaltet PLT aus / PLT fährt herunter und verriegelt - MA öffnet die Akku-Klappe der PLT und nimmt alten Akku heraus - MA geht mit alten Akku zum Jaibot - MA öffnen Akku-Kompartiment - MA tauscht Akkus aus - MA schließt Akku-Kompartiment - MA geht mit neuen Akku zur PLT - MA setzt neuen Akku in PLT und schließt Akku-Klappe der PLT - MA schaltet PLT ein / PLT fährt hoch und entriegelt
Akkutausch Tablet	'Power-Button' drücken	Startbildschirm Tablet	- MA fährt Tablet herunter - Tablet fährt herunter - MA geht mit Tablet zum Jaibot - MA öffnet die Akku-Klappe des Tablets und nimmt alten Akku heraus - MA öffnen Akku-Kompartiment - MA tauscht Akkus aus - MA schließt Akku-Kompartiment - MA setzt neuen Akku in Tablet und schließt Akku-Klappe der PLT - MA startet Tablet - Tablet fährt hoch
Bohrerkontrolle	Button 'Service Bohrer starten' drücken	Bohrarm in Grundposition	- MA drückt Button 'Service Bohrer starten' - Bohrrarm fährt in Serviceposition - MA nimmt Faltenbalg ab - MA führt Sichtprüfung Bohrer durch - MA setzt Faltenbalg auf - MA drückt Button 'Service Bohrer beenden' - Bohrrarm fährt in Grundposition
Bohrerkontrolle, Farbdüse einstellen, Staubbeutel auswechseln	Button 'Service Bohrer starten' drücken	Staubbeutel loslassen	- MA drückt Button 'Service Bohrer starten' - Bohrrarm fährt in Serviceposition - MA nimmt Faltenbalg ab - MA führt Sichtprüfung Bohrer durch - MA stellt Farbdüse ein - MA setzt Faltenbalg auf - MA drückt Button 'Service Bohrer beenden' - Bohrrarm fährt in Grundposition - MA geht zum Service-Kompartiment vom Jaibot - MA öffnet Service-Kompartiment - MA zieht Staubsauger heraus und öffnet diesen - MA kontrolliert und tauscht Staubbeutel - MA schließt Staubsauger und schiebt diesen zurück - MA schließt Service-Kompartiment - MA bringt vollen Staubbeutel zum Sammelort
Bohrerwechsel	Button 'Service Bohrer starten' drücken	Bohrarm in Grundposition	- MA drückt Button 'Service Bohrer starten' - Bohrrarm fährt in Serviceposition - MA nimmt Faltenbalg ab - MA führt Sichtprüfung Bohrer durch - MA öffnet Spannfutter - MA nimmt alten Bohrer heraus und verstaut diesen - MA nimmt neuen Bohrer heraus und fettet ihn ein - MA setzt neuen Bohrer ein - MA schließt Spannfutter - MA setzt Faltenbalg auf - MA drückt Button 'Service Bohrer beenden' - Bohrrarm fährt in Grundposition
Bohrerwechsel, Farbdüse einstellen	Button 'Service Bohrer starten' drücken	Bohrarm in Grundposition	- MA drückt Button 'Service Bohrer starten' - Bohrrarm fährt in Serviceposition - MA nimmt Faltenbalg ab - MA führt Sichtprüfung Bohrer durch - MA öffnet Spannfutter - MA nimmt alten Bohrer heraus und verstaut diesen - MA nimmt neuen Bohrer heraus und fettet ihn ein - MA setzt neuen Bohrer ein - MA schließt Spannfutter - MA stellt Farbdüse ein - MA setzt Faltenbalg auf - MA drückt Button 'Service Bohrer beenden' - Bohrrarm fährt in Grundposition
Bohrturm herunterfahren	Kippschalter greifen	Kippschalter loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA steuert mit Kippschalter / Bohrturm fährt herunter
Fehlerbehebung	Arbeit unterbrochen	Arbeit wieder aufgenommen	- MA trifft versch. Maßnahmen zur Fehlerbehebung

Tab. A3.3 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 1/3.

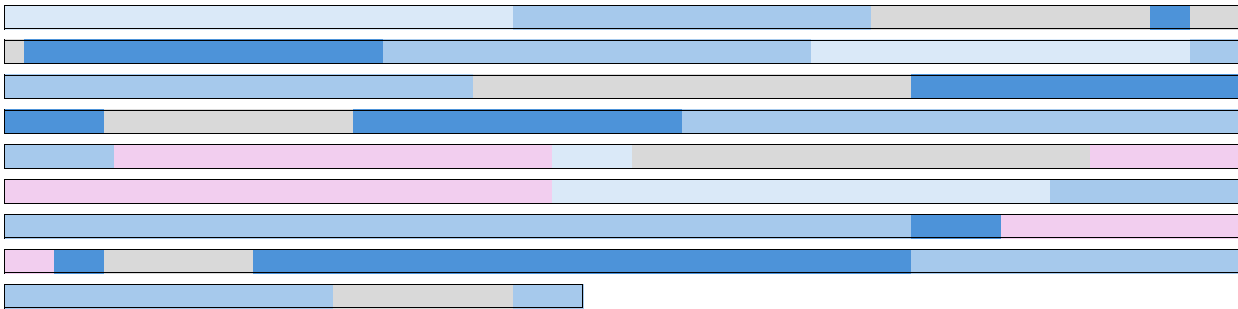
Ablaufabschnitt	Startereignis	Endereignis	Beschreibung
Füllstand Farbe kontrollieren	Startet Gehen	Tür vom Service-Kompartiment loslassen	- MA geht zum Service-Kompartiment vom Jaibot - MA öffnet Service-Kompartiment - MA führt Sichtprüfung Füllstand durch - MA schließt Service-Kompartiment
Gespräch	Gesprächsbeginn	Gesprächsende	- Gespräch mit anderen Personen
Jaibot aus Transportbox fahren	Kippschalter greifen	Joysticks loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA steuert mit Joysticks / Jaibot fährt
Jaibot Ausrichtungstanz	Kippschalter loslassen	Bohrarm in Grundposition	- MA drückt 'Bohrvorgang starten' - Bohrarm führt Ausrichtungstanz aus - Bohrarm fährt in Grundposition
Jaibot bohren	Bohrarm in Grundposition	Bohrarm in Grundposition	- Löcher bohren (nur geplante Bohrungen) - Löcher markieren - Bohrarm fährt in Grundposition
Jaibot bohren (Zus. B.)	Bohrarm in Grundposition	Bohrarm in Grundposition	- Löcher bohren (einschließlich weiterer ungeplanter Bohrungen) - Löcher markieren - Bohrarm fährt in Grundposition
Jaibot fahren	Kippschalter greifen	Kippschalter loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA steuert mit Joysticks / Jaibot fährt - MA stellt Kippschalter auf 'Roboterarm'
Jaibot in Transportbox fahren	Kippschalter greifen	Joysticks loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA steuert mit Joysticks / Jaibot fährt
Jaibot starten	Schlüssel in Schloss	Grüner Startknopf Dauerleuchten	- MA steckt Schlüssel in Schloss - MA drückt grünen Startknopf (blinkt) - ROS fährt hoch - MA öffnet Akku-Kompartiment - MA entnimmt Fernsteuerung und Tablet - MA schließt Akku-Kompartiment
Jaibot vor Transportbox fahren	Kippschalter greifen	Joysticks loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA steuert mit Joysticks / Jaibot fährt
Kompressor entlüften	Tür vom Service-Kompartiment hinlangen	Tür vom Service-Kompartiment loslassen	- MA öffnet Service-Kompartiment - MA schließt Ventile vom Drucksystem - MA entlüftet Kompressor - MA öffnet Ventile vom Drucksystem - MA schließt Service-Kompartiment
MA sucht Fernsteuerung	Arbeit unterbrochen	Fernsteuerung greifen	- MA sucht und findet die verlegte Fernsteuerung
Material aus Transportbox stellen	Material greifen	Material loslassen	- MA nimmt Material und geht damit zum Ablageort - MA stellt Material am Ablageort ab
Material in Transportbox stellen, Transportbox schließen	Material greifen	Türen Transportbox loslassen	- MA nimmt Material und geht damit zur Transportbox - MA stellt Material in Transportbox ab - MA fährt Rampen ein - MA schließt alle Türen der Transportbox und schließt sie ab
Messlanze abbauen und verstauen	Messlanze greifen	Tür vom Service-Kompartiment loslassen	- MA baut Messlanze auseinander - MA öffnet Service-Kompartiment - MA verstaut Messlanze im Service-Kompartiment - MA schließt Service-Kompartiment
Messlanze entnehmen und aufbauen	Tür vom Service-Kompartiment hinlangen	Messlanze loslassen	- MA öffnet Service-Kompartiment - MA nimmt Messlanze aus Service-Kompartiment - MA schließt Service-Kompartiment - MA baut Messlanze zusammen - MA führt Referenzmessung durch
Messlanze messen	Messlanze greifen	Messwert ablesen	- MA steckt Messspitze in Bohrloch - MA betätigt Differenzmessung - MA nimmt Messspitze aus Bohrloch und liest Messwert ab
Mittagspause	Arbeit unterbrochen	Arbeit wieder aufgenommen	- Festgelegte Mittagspause für alle Mitarbeiter
PLT abbauen und verstauen	'Power-Button' drücken	Tür vom Akku-Kompartiment loslassen	- MA schaltet PLT aus / PLT fährt herunter und verriegelt - MA schraubt PLT von Stativ - MA klappt Stativ zusammen - MA geht mit PLT und Stativ zum Jaibot - MA öffnet Service-Kompartiment und Akku-Kompartiment - MA verstaut Stativ in Service-Kompartiment - MA verstaut PLT in Akku-Kompartiment - MA schließt Service-Kompartiment und Akku-Kompartiment
PLT einmessen	Anzeige 'Kopplung' erloschen	Anzeige 'Einmessen' erloschen	- PLT misst sich über Reflektormarken ein

Tab. A3.4 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 2/3.

Ablaufabschnitt	Startereignis	Endereignis	Beschreibung
PLT herausnehmen und aufbauen	Tür vom Service-Kompartiment hinlangen	'Power-Button' loslassen	- MA öffnet Service-Kompartiment und Akku-Kompartiment - MA nimmt PLT aus Akku-Kompartiment - MA wechselt Akku der PLT - MA nimmt Stativ aus Service-Kompartiment - MA schließt Service-Kompartiment und Akku-Kompartiment - MA geht mit PLT und Stativ zum Aufstellort - MA stellt Stativ auf - MA schraubt PLT auf Stativ - MA schaltet PLT ein / PLT fährt hoch und entriegelt
PLT koppeln mit Jaibot	'Power-Button' loslassen	Anzeige 'Kopplung' erloschen	- PLT koppelt sich mit Jaibot
PLT umstellen	'Power-Button' drücken	'Power-Button' loslassen	- MA schaltet PLT aus / PLT fährt herunter und verriegelt - MA entfernt Sicherung - MA geht mit Stativ und PLT zum neuen Aufstellort - MA richtet Stativ und PLT aus - MA schließt Sicherung - MA schaltet PLT ein / PLT fährt hoch und entriegelt
ROS herunterfahren	Button 'Herunterfahren' drücken	Grüner Startknopf erloschen	- MA drückt Button 'Herunterfahren' auf Tablet - ROS fährt herunter
ROS hochfahren	Grünen Startknopf drücken	Grüner Startknopf Dauerleuchten	- MA drückt grünen Startknopf - ROS fährt hoch (Grüner Startknopf blinkt)
Staubbeutel kontrollieren	Tür vom Service-Kompartiment hinlangen	Tür vom Service-Kompartiment loslassen	- MA öffnet Service-Kompartiment - MA zieht Staubsauger heraus und öffnet diesen - MA kontrolliert Staubbeutel - MA schließt Staubsauger und schiebt diesen zurück - MA schließt Service-Kompartiment
Störung "Arm gestört"	Bohrarm in Grundposition	Bohrarm in Grundposition	- Bohrarm berührt den Baukörper oder einen anderen Gegenstand - Bohrarm fährt in Grundposition
Störung "Ausrichtungstanz"	Bohrarm in Grundposition	Bohrarm in Grundposition	- PLT verliert während des Ausrichtungstanzes die Verbindung - Bohrarm fährt in Grundposition
Störung "Bohren fehlgeschlagen"	Bohrarm in Grundposition	Bohrarm in Grundposition	- Bohrarm berührt den Baukörper oder einen anderen Gegenstand - Bohrarm fährt in Grundposition
Störung "Jaibot fährt nicht"	Kippschalter greifen	Joysticks loslassen	- MA stellt Kippschalter auf 'Untere Plattform' - MA betätigt Joysticks - Jaibot fährt nicht
Störung "Markierungssystem"	Markierungsfehler aufgetreten	Markierungsfehler beheben	- Löcher markieren (mit Markierungsfehlern) - Bohrarm fährt in Grundposition - MA behebt Markierungsfehler - MA startet neu Bohrvorgänge - Bohrarm führt Ausrichtungstanz aus - Bohrarm fährt in Grundposition - Löcher Bohren - Löcher markieren (ohne Markierungsfehler)
Störung "Systemwartzeit"	Eingabebefehl	Start der Ausführung	- MA gibt einen beliebigen Eingabebefehl - Jaibot verarbeitet Eingabebefehl / keine Ausführung der Aufgabe
Störung "Verbindung zum Jaibot"	Anzeige 'Verbindung verloren'	Anzeige 'Verbindung verloren' erloschen	- Tablet verliert Verbindung zum Jaibot - Tablet baut Verbindung zum Jaibot neu auf
Stromversorgung abklemmen	Gehen starten	Ladekabel loslassen	- MA geht zur Baustromverteilung - MA zieht Ladekabel aus Baustromverteilung - MA geht mit Ladekabel zum Jaibot - MA zieht Ladekabel von Jaibot ab - MA hängt Ladekabel in Transportbox auf
Stromversorgung anklemmen	Ladekabel hinlangen	Transportbox eintreffen	- MA hängt Ladekabel von Transportbox ab - MA schließt Ladekabel in Jaibot - MA geht mit Ladekabel zur Baustromverteilung - MA schließt Ladekabel in Baustromverteilung - MA geht zur Transportbox zurück
Tablet und Fernsteuerung herausnehmen und hochfahren	Tür vom Akku-Kompartiment hinlangen	Fertig geladene Bohrdatei	- MA öffnet Akku-Kompartiment - MA entnimmt Tablet und Fernsteuerung - MA wechselt jeweils die Akkus - MA schließt Akku-Kompartiment - MA steckt Tablet auf Fernbedienung - MA startet Tablet - Tablet fährt hoch - MA meldet sich auf dem Tablet im Projekt / Etage / Bereich an
Transportbox öffnen	Schlüssel in Schloss	Türen Transportbox loslassen	- MA schließt alle Türen auf und öffnet diese - MA fährt Rampen aus

Tab. A3.5 Ablaufabschnitte der Zeitaufnahme 'Semi-autonomer Bohrprozess' mit Startereignis, Endereignis und Beschreibung der im Ablaufabschnitt durchgeführten Aktivitäten, S. 3/3.

Zeitaufnahme 23.11.2022



Zeitaufnahme 24.11.2022 (1)

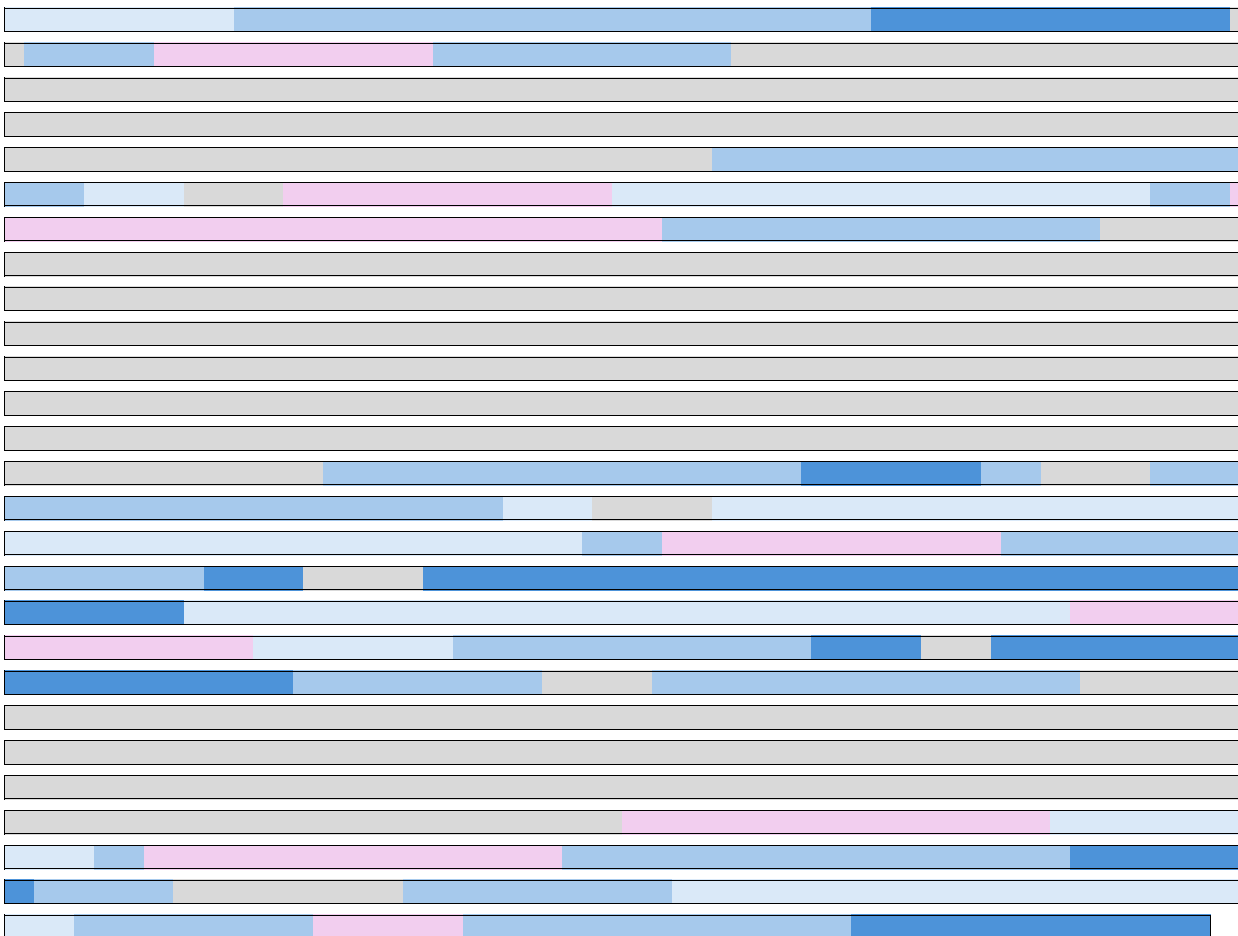
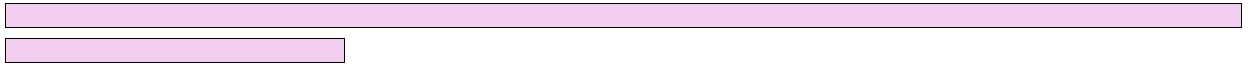
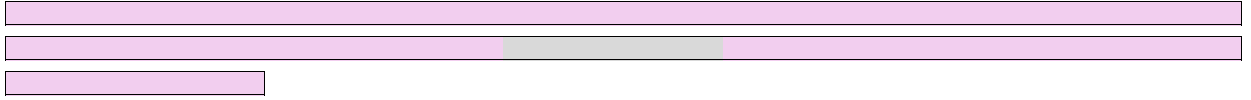


Abb. A3.2 Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme
'Semi-autonomer Bohrprozess', S. 1/2 (eigene Darstellung).

Zeitaufnahme 24.11.2022 (2)



Zeitaufnahme 25.11.2022 (1)



Zeitaufnahme 25.11.2022 (2)

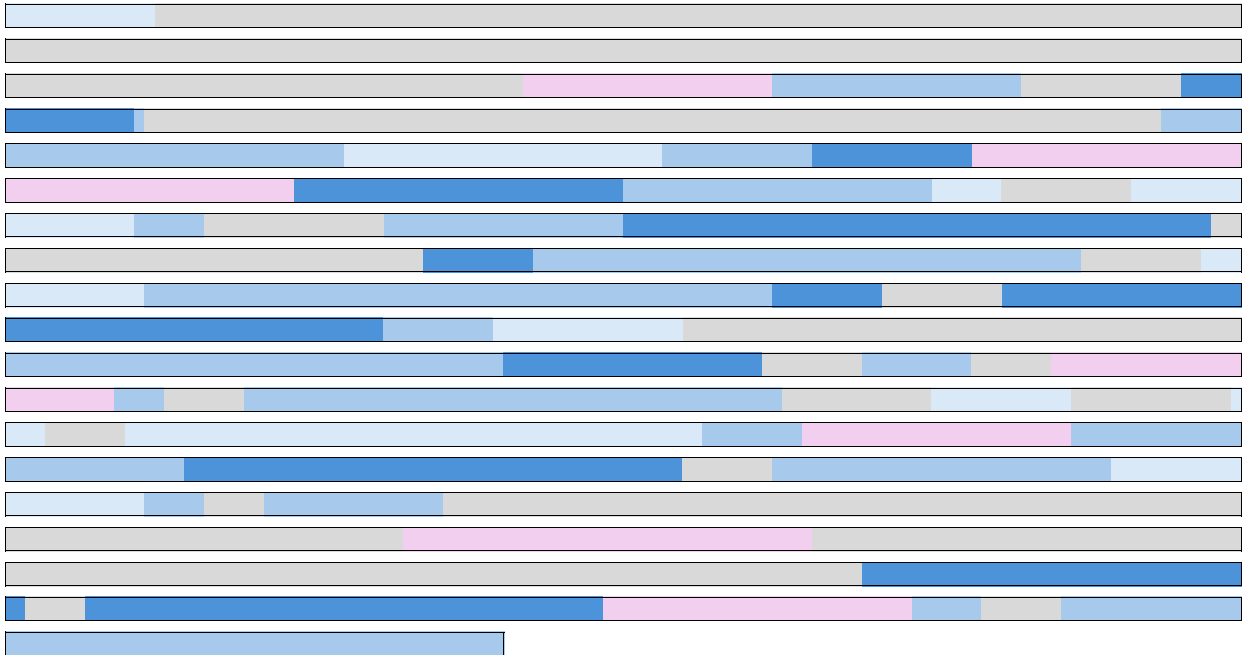


Abb. A3.3 Visualisierung der zeitlichen Abfolge der Ablaufabschnitte als Zeitbanddarstellung im Rahmen der REFA-Zeitaufnahme
'Semi-autonomer Bohrprozess', S. 2/2 (eigene Darstellung).

XI Literaturverzeichnis

ABB Ltd (2021):

Sicheres und nachhaltiges Bauen: ABB Robotics treibt Automatisierung in der Bauindustrie voran., Zürich.

Allan, Oburu (2020):

Effective project time management. In: International academic journal of information sciences and project management ISS, 2020.

Arndt, Klaus-Dieter (2021a):

Arbeitsvorbereitung und Arbeitsplanung. In: Böge, Alfred/Böge, Wolfgang (Hrsg.), Handbuch Maschinenbau, Wiesbaden, S. 1635–1671.

Arndt, Klaus-Dieter (2021b):

Grundlagen des Arbeitsstudiums. In: Böge, Alfred/Böge, Wolfgang (Hrsg.), Handbuch Maschinenbau, Wiesbaden, S. 1619–1633.

Bakalis, Dennis/Büchel, Jan/Scheufen, Dr. Marc (2023):

Digitalisierungsindex 2023.

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (2024):

BKI Handbuch Terminplanung für Architekten [27.07.2024], <https://bki.de/bki-handbuch-terminplanung-fuer-architekten> [27.07.2024].

Becks, Carl (1995):

Zeit (REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung), Den Erfolg vereinbaren: Führen mit Zielvereinbarungen, 1. Auflage., Münschen Wien, S. 430.

Bock, Thomas/Linner, Thomas (2015):

Robot-oriented design: design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction (The Cambridge handbooks in construction robotics), Cambridge.

Bock, Thomas/Linner, Thomas (2016):

Construction robots: elementary technologies and single-task construction robots (Cambridge handbooks on construction robotics), New York.

Brosque, Cynthia/Fischer, Martin (2022):

Safety, quality, schedule, and cost impacts of ten construction robots. In: Construction Robotics, 2022, 6 (2), S. 163–186.

Chan, Daniel W.M./Kumaraswamy, Mohan M. (1996):

An evaluation of construction time performance in the building industry. In: Building and Environment, 1996, 31 (6), S. 569–578.

Chan, Jing Hung/Lau, Chee Yong (2023):

Enhancement of Jaibot: Developing Safety and Monitoring Features for Jaibot Using IoT Technologies. In: International Journal of Technology, 2023, 14 (6), S. 1309.

Frühwald, Adolf (1955):

Das REFA-Gedankengut, Wiesbaden.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V. (2022):

Brancheninfo Bau - Produktivität im Bau(haupt)gewerbe.

Hilti Deutschland AG (2020):

Hilti stellt BIM-fähigen Baustellenroboter vor.

Hilti Deutschland AG (2022):
Jaibot Pitch Präsentation, Produktvorstellung, .

Hilti Deutschland AG (2023):
Bohrroboter Jaibot: Im Einsatz überzeugen Präzision, Produktivität und die Verbesserung der Arbeitsbedingungen [17.05.2023], <https://www.hilti.de/content/hilti/E3/DE/de/company/media-relations/media-releases/Jaibot.html> [05.08.2024].

Hofer, Christoph Hans (2016):
Evaluierung von REFA-Zeiterfassungsmethoden zur Entwicklung von Leistungsansätzen von Ressourcen-
gruppen im Spezialtiefbau.

Jäkel, Jan-Iwo/Klemm-Albert, Katharina (2024):
Barrieren und Treiber von Robotik im Bauwesen. In: Haghsheeno, Shervin/Satzger, Gerhard/Lauble, Svenja/Vössing, Michael (Hrsg.), Künstliche Intelligenz im Bauwesen, Wiesbaden, S. 377–394.

Kinater, Thomas (2017):
Bauprojektmanagement. In: Rottke, Nico B./Thomas, Matthias (Hrsg.), Immobilienwirtschaftslehre - Management, Wiesbaden, S. 533–552.

Krönert, Nils/Connert, Georg/Glockner, Oliver (2023):
Agile und Digitale Prozesse für die Bauausführung: Ein ganzheitlicher Ansatz durch einen Systempartner. In: Hofstadler, Christian/Motzko, Christoph (Hrsg.), Agile Digitalisierung im Baubetrieb, Wiesbaden, S. 297–303.

Krönert, Nils/Zanona, Julia (2021):
Automatisierte Bauprozesse durch Robotik. In: Hofstadler, Christian/Motzko, Christoph (Hrsg.), Agile Digitalisierung im Baubetrieb, Wiesbaden, S. 447–458.

Künzler, K/Robbi, S/Schuster, A/Schuster, P (2022):
Technologiereport: Digitalisierung der Bau- und Immobilienbranche.

LVR-Industriemuseum/Hoffmann, Jürgen (o. J.):
REFA-Stoppuhr 1960-1969, https://industriemuseum.lvr.de/de/sammlung/sammlung_entdecken/arbeit___lohn/refa_zeitnehmer/REFA-Stoppuhr.html [21.08.2024].

Mayer, Andreas/Müller, Roman (2017):
REFA – Methodenlehre: Aufwandswertermittlung in der Gebäudetechnik, 2017.

McKinsey Global Institute (2017):
Reinventing Construction: a route to higher productivity.

MTM ASSOCIATION e. V. (2024):
Erfahren Sie mehr über die MTM-Organisation! [2024], <https://mtm.org/ueber-mtm/mtm-association-e-v> [31.07.2024].

Nukoonrat, Pop (2022):
Innovative Technologien, Prozesse und Produkte in der Bauwirtschaft, 2022.

Pütz, Christian (2022a):
Jaibot Operator - Hilti AG. Persönliches Interview 1.

Pütz, Christian (2022b):
Jaibot Operator - Hilti AG. Persönliches Interview 2.

REFA (1997):
Methodenlehre der Betriebsorganisation. dat: Datenermittlung, München.

REFA Fachverband e. V. (2023):
Satzung des REFA Fachverband e.V. 2023.

REFA-Institut (2015):

Industrial Engineering: Standardmethoden zur Produktivitätssteigerung und Prozessoptimierung (REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung), 2. Auflage., München Wien.

REFA-Institut (2021):

REFA-Grundausbildung 4.0 - Begriffe und Formeln (REFA-Kompodium Arbeitsorganisation), 1. Auflage., München.

Schlick, Christopher M./Bruder, Ralph/Luczak, Holger (2010):

Arbeitswissenschaft, Berlin, Heidelberg.

Vogt, Christian (1995):

Markt (REFA-Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung), Den Erfolg vereinbaren: Führen mit Zielvereinbarungen, 1. Auflage., München Wien, S. 430.

Wang, Mandy/Hassler, Matthias (2023):

Hilti 2023 Finance Report. Finance Report., Schaan: Hilti AG.

Xu, Xinghui/Holgate, Tyron/Coban, Pinar/de Soto, Borja García (2021):

Implementation of a Robotic System for Overhead Drilling Operations: A Case Study of the Jaibot in the UAE, 2021.

Zilberstein, Shlomo (2015):

Building Strong Semi-Autonomous Systems. In: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2015, 29 (1).

XII Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, das Dokument selbstständig und lediglich unter Benutzung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst zu haben.

Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht im Rahmen eines anderen Prüfungsverfahrens eingereicht wurde.

Ort, den Schwerte, 08.02.2025 Unterschrift: 