

# schriftenreihe

## Heft 33



### **Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung**

Entwicklung einer Systematik zur Vorhersage des Leistungsrückgangs auf Basis physiologischer Grundlagen

Dieter Schlagbauer, Bmstr. Dipl.-Ing. Dr.techn.



Dieter Schlagbauer

# **Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung**

**Schriftenreihe des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement**

**Heft 33**

# **Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung**

**Entwicklung einer Systematik zur Vorhersage des  
Leistungsrückgangs auf Basis physiologischer Grundlagen**

von  
Dieter Schlagbauer

herausgegeben vom  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Projektentwicklung und Projektmanagement

Verlag der Technischen Universität Graz

Graz 2019

## ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE ARBEITSZEITGESTALTUNG

Entwicklung einer Systematik zur Vorhersage des Leistungsrückgangs auf Basis physiologischer Grundlagen

Die vorliegende Dissertation wurde im Dezember 2011 der Fakultät für Bauingenieurwesen der TU Graz zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der technischen Wissenschaften (Dr.techn.) vorgelegt und angenommen.

### AUTOR

Bmstr. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter Schlagbauer

### BEGUTACHTER

Univ.-Prof.Dr.-Ing.Detlef Heck  
Univ.-Prof.-Dr.-Ing.Peter Racky

### HERAUSGEBER

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Technische Universität Graz  
Lessingstraße 25/II  
8010 Graz  
Telefon +43 (0) 316 / 873 6251  
E-Mail sekretariat.bbw@tugraz.at  
Web www.bbw.tugraz.at

© Graz 2019, Verlag der Technischen Universität Graz  
www.tugraz-verlag.at

ISBN print 978-3-85125-189-0  
ISBN e-book 978-3-85125-700-7  
DOI 10.3217/978-3-85125-189-0



### Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

Zugl.: Graz, Techn. Univ., Diss. 2011

## Vorwort

Die vorliegende Dissertation von Dieter Schlagbauer greift ein bislang unangetastetes baubetriebliches Thema auf und beleuchtet dies mit einem völlig neuen Ansatz. Er stellt die Arbeitsleistungskurven, bekannt aus Schubert, Vygen, Lang in Frage und erstellt eine eigene Forschungsmethodik, die mit Hilfe des Instituts für Sportwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz umgesetzt wurde. Die Messung von physiologischen Werten wurde in dieser Art noch nicht durchgeführt und stellt in Verbindung mit REFA-Aufnahmen eine Novität dar.

Das Ergebnis sind tätigkeitsabhängige Leistungskurven sowie Leistungskurven mit unterschiedlichen Attributen, wie beispielsweise der Arbeitszeit oder der Temperatur.

Die Dissertation von Herrn Schlagbauer zeichnet sich durch ihre Empirik sowie die Breite der Baustellenuntersuchungen aus. Daher können die Ergebnisse auch getrennt nach Tätigkeiten von Maschinenführern und anderen Arbeitsgruppen dargestellt werden.

Die Signifikanz der Dissertation reicht bis hin zur Arbeits- und Pausengestaltung von Arbeitspartien.

Diese neu überdachten Ansätze und Erkenntnis der Dissertation sollen den Anwendern in der Branche, also den Arbeitsgerbern, Bauleitern und Polieren, die Möglichkeit geben, ihre eigenen Überlegungen zur Arbeitseinteilung, Arbeitsgestaltung zu analysieren und optimieren.

Die vorliegende Dissertation von Dieter Schlagbauer ist das Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung mit den Arbeitsleistungskurven, der Physiologie der Bauarbeiter sowie der Arbeits- und Pausengestaltung. Die etablierten Abläufe der Branche werden grundlegend hinterfragt, was den wissenschaftlichen Wert der Arbeit auszeichnet.

Ich persönlich danke Herrn Schlagbauer für spannende Jahre am Institut. Er hat das Institut durch sein Engagement bereichert, zahlreiche interessante Diplomarbeiten betreut, unzählige Projekte angeschoben und die Berufsmesse „Bit-Bau“ mit kreiert.

Die Arbeit fügt sich hervorragend in das wissenschaftliche Profil des Instituts für Baubetrieb an der TU Graz ein und gibt zugleich wichtige Impulse für die weitere Forschung.

Ich danke dem Verfasser, Herrn Dieter Schlagbauer für die wertvolle Dissertation und sein bemerkenswertes Engagement am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft.

Graz, im August 2019

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

## Vorwort des Verfassers

Die derzeitige Anwendung der bestehenden Arbeitsleistungskurven zeigt das Problem der fehlenden Dokumentation und Auseinandersetzung mit der Entstehung der Kurven von Lehmann bzw. Burkhardt und Winter deutlich auf. Denn die Diskussion dreht sich üblicherweise eher um die Frage, welche der beiden Kurven die „richtige“ für den gegebenen Fall ist und nicht, wie eine der beiden Kurven an die vorhandenen Umgebungsbedingungen bestmöglich und realitätsnah angepasst werden kann.

Auch der oftmals fehlerhafte Verweis auf die Leistungskurve nach Lang (Anm.: Vygen/Schubert/Lang als wesentliche Verbreiter der Arbeitsleistungskurven im deutschsprachigen Raum) zeigt, dass hier oftmals nicht die Anwendung der Kurven durch die Berücksichtigung der Grundlagen, sondern eher die direkte und unreflektierte Verwendung der bestehenden Arbeitsleistungskurven im Vordergrund steht.

Im Zuge der Dissertation „Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung - Entwicklung einer Systematik zur Vorhersage des Leistungsrückgangs auf Basis physiologischer Grundlagen und Darstellung der Anwendung im Mauerwerksbau“ wurde nun ein komplett neuer und auf die baubetriebliche Anwendung ausgerichteter Ansatz entwickelt, der vor allem in zwei Richtungen wirken soll:

1. Durch die Anwender (mit baubetrieblicher und/oder wirtschaftlicher Ausbildung) auf Auftraggeber- und Auftragnehmer-seite soll eine Lösung für die baubetrieblichen Eingangsparameter geschaffen werden, die
2. die Anwendung einer wissenschaftlich fächerübergreifenden Bewertungsmethodik ermöglicht. Diese, im Rahmen der Dissertation klar dargestellte, Bewertungsmethodik soll entsprechend den Überlegungen des Autors danach ohne weitere Veränderungen abgearbeitet werden.

Jedoch ist auch bei der Bearbeitung noch weiterer Input der Anwender von Nöten. Aber auch hier beschränkt sich der notwendige Input wieder auf baubetriebliches und/oder wirtschaftliches Fachwissen, wodurch die Diskussion auf der Baustelle oder zumindest innerhalb der Grenzen der Bauingenieurwissenschaften verbleiben kann.

Weitere, sicherlich durchzuführende Erweiterungen der Datengrundlagen für die Vielzahl der Gewerke und die verschiedenen zu berücksichtigenden Einflussfaktoren, die nicht im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden konnten oder für die Schaffung einer ersten Datengrundlage explizit ausgeschlossen wurden stellen sicherlich den weiteren Forschungsbedarf dar, der der Mitarbeit von Bauunternehmen, Auftraggebern sowie aller Interessenvertretungen bedarf, damit hier eine zukünftige zielgerichtete Forschung etabliert werden kann, die nicht nur das

Ziel einer verbesserten Nachweisbarkeit von Leistungsverlusten zum Ziel hat, sondern vielmehr das Ziel verfolgt die Arbeitsverhältnisse auf Baustellen durch verbesserte Planung und Arbeitsvorbereitung zu optimieren. Damit könnten auch Ansätze geschaffen werden, um ein altersgerechtes Arbeiten auf Baustellen zu verbessern und dem aktuellen Thema des Facharbeitermangels durch das längere „im Betrieb halten“ der langgedienten Arbeitskräfte entgegen zu wirken.

Sicherlich können die an einigen Stellen getroffenen Vereinfachungen die Resultate geringfügig verändern, aber die wissenschaftliche Abstraktion der Realität kann diese nur im Rahmen gewisser Bandbreiten widerspiegeln, weshalb auch den späteren Anwendern bereits an dieser Stelle gesagt sei, dass die aus den Gleichungen entstehenden Resultate erstens nur für die von Ihnen gewählten Randbedingungen Gültigkeit besitzen und zweitens diese Ergebnisse nicht als „in Stein gemeißelte“ Zahlenwerte zu verstehen sind, sondern als ein Erwartungswert mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit.

Es ist daher wesentlich, dass nicht stur an diesen Werte geangen wird, wenn die Resultate unterschiedlicher Streitparteien verglichen werden, sondern es sollte der Weg, der durch die baubetrieblichen Annahmen beschrieben wurde überprüft werden und die dabei vorgefundenen baubetrieblichen und/oder bauwirtschaftlichen Grundlagen gemeinsam abgestimmt und festgelegt werden.

Graz, im Dezember 2011 Bmstr. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dieter Schlagbauer

## Kurzfassung

Die Verlängerung der täglichen Arbeitszeit stellt ein Instrument dar, mit welchem sich die Bauleistung innerhalb eines vorgegebenen Terminplanes erhöhen lässt.

In der derzeitigen Anwendungspraxis werden für die Bewertung der Auswirkungen der Arbeitszeitverlängerung die Ansätze von Burkhardt und Winter bzw. Lehmann aus den 1960er Jahren verwendet. Durch den Wandel im Baustellengeschehen, die Weiterentwicklung der Gerätetechnik und auch der maschinellen Ausrüstung sowie der veränderten Terminanforderungen ergibt sich die Notwendigkeit der Überarbeitung der bestehenden Bewertungsmethoden und die Implementierung weiterer Parameter. Diese Möglichkeiten ergeben sich durch verbesserte oder neue Untersuchungsmethoden, speziell aus dem interdisziplinären Bereich der Sportwissenschaften.

Nach der Einführung in die Thematik der Arbeitswissenschaften werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die bestehenden Arbeitsleistungskurven im Detail betrachtet. Aus dem Ergebnis dieser Analyse werden die Anforderungen an eine neue Bewertungsmethodik formuliert. Anschließend werden das Vorgehen und die Instrumente der Datenerhebung geschildert, welche im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ angewandt wurden.

Um die Anwendbarkeit der Systematik zu validieren, werden anhand der Untersuchungsergebnisse für den Bereich der Mauerwerksarbeiten im mehrgeschossigen Hochbau eine Datenauswertung sowie ein Vergleich zwischen den Mess- und Berechnungswerten durchgeführt. Im gewählten Anwendungsbeispiel erfolgt eine Gegenüberstellung mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven von Burkhardt und Winter bzw. Lehmann. Hierdurch wird die Anwendbarkeit der gewählten Systematik und der zusätzlich berücksichtigten Einflussfaktoren gezeigt.

Abschließend erfolgen eine Darstellung der berücksichtigten und weiteren nicht behandelten Einflussfaktoren auf die Arbeitsleistung sowie ein Ausblick auf die weiteren Forschungsfragen, die sich aus den hier dargestellten Untersuchungen ergeben.

## Abstract

The extension of the daily working hours is an instrument by which the output of construction work can be increased within a given time schedule.

In the present application practice for the evaluation of the impact of longer working hours the approaches of Burkhardt and Winter or Lehmann from the 1960s are used. By the changes on the construction sites, the development of device technology and the mechanical equipment as well as new schedule requirements, a demand for the revision of the approaches and the implementation of additional parameters is shown. These additional opportunities arise from novel or improved methods of investigation since the development of the existing output performance curves, especially in the interdisciplinary field of sports sciences.

After the introduction to the topic of the ergonomics, the existing work performance curves are analyzed within the scope of the present work in detail. From the result of this analysis the demands for a new assessment methodology are formulated. Then the procedure and the instruments of data collection are described, which were applied in the context of the interdisciplinary research project "Work load and work performance curves".

To validate the applicability of the system findings in the field of masonry work in multi-storey buildings are carried out. A data analysis and a comparison between the measured and calculated values are executed. In the elective example a comparison between the new approach and the existing performance curves of Burkhardt and Winter or Lehmann is made. Thus the applicability of the chosen system and the additional factors considered is shown.

Finally a representation of the considered and other not treated influence factors on the work output occurs as well as a view of the additional research duties which have arisen from the investigations presented here.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Anlass und Aufgabenstellung	1
1.2	Zielsetzung und Abgrenzung	4
1.3	Vorgehensweise	5
<b>2</b>	<b>Definition und Grundlagen</b>	<b>8</b>
2.1	Definition des Begriffs „Arbeit“	8
2.2	Definition des Begriffs „Leistung“	9
2.3	Arbeitsleistungskurven	9
2.3.1	Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann	10
2.3.2	Die Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt	11
2.3.3	Die Arbeitsleistungskurve nach Winter	12
2.3.4	Kritik und Anmerkungen zu den bestehenden Leistungskurven	14
2.4	Medizinische und physiologische Grundlagen	17
2.4.1	Belastungs-Beanspruchungskonzept	17
2.4.2	Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Belastung und Beanspruchung	18
2.4.3	Phasen der Energiebereitstellung	18
2.4.4	Bestimmung der Herzfrequenz am $LTP_1$ ( $HF_{LTP1}$ )	19
2.4.5	Weitere Beanspruchungsgrenzen	21
2.4.6	Außentemperatur und körperliche Leistungsfähigkeit	22
2.5	Einflüsse auf die Arbeitsleistung aus baubetrieblicher Sicht	27
<b>3</b>	<b>Systematik der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve</b>	<b>30</b>
3.1	Systematik zur tätigkeits- und personenabhängigen Ermittlung der Leistungsveränderung	31
3.1.1	Berücksichtigte Einflüsse in der der Leistungsänderungsermittlung	32
3.1.2	Zusammenhang der Eingangsparameter mit der Leistungserbringung	33
3.1.3	Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box	35
3.2	Bestimmung der Netto-Leistungswerte aus Brutto-Leistungswerten der Untersuchung bzw. der Literatur	37
3.2.1	Bestimmung der Netto-Aufwandswerte aus den Baustellenbeobachtungen	38
3.2.2	Bestimmung der Netto-Aufwandswerte aus den Literaturkennwerten	39
<b>4</b>	<b>Datenerhebung und Untersuchungsablauf</b>	<b>41</b>
4.1	Grundlagen und Begriffe der Arbeitsablaufbeobachtung	41
4.1.1	Gliederung des Arbeitsablaufes nach REFA	41
4.1.2	Ergänzende Baustellen- und Tätigkeitsinformationen	43
4.1.3	Beobachtungsmethoden nach REFA	44
4.1.4	Beobachtungskategorien	45
4.2	Erhebungsdaten für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve	48
4.3	Untersuchungsdesign	49
4.3.1	Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme (MMA)	50
4.3.2	Modul 2: Einzelzeitaufnahmen (EZA)	50
4.3.3	Modul 3: Erhebung der Wetterdaten	50
4.3.4	Modul 4: Herzfrequenzmessung	51
4.3.5	Modul 5: Spiroergometrie	51
4.3.6	Modul 6: Leistungserhebung	53
4.4	Beschreibung der Durchführung der Untersuchung	53
4.4.1	Durchführung auf der Baustelle	53
4.4.2	Durchführung im Labor	54

<b>5</b>	<b>Datenauswertung</b>	<b>55</b>
5.1	Datenreihen der Auswertung	55
5.2	Auswertung der persönlichen Daten der untersuchten Bauarbeiter	57
5.2.1	Alter <sup>57</sup>	
5.2.2	Gewicht und Body-Mass-Index (BMI)	59
5.3	Beobachtungsumfang der Baustellenuntersuchung	61
5.3.1	Beobachtungsumfang der einzelnen Datenreihen	61
5.3.2	Verteilung der Datenerhebungen für Mauerwerksbau sowie Schal- und Betonierarbeiten im Mehrgeschoßigen Wohnbau	62
5.3.3	Beispielhafte Darstellung des Auswertungsvorganges am Beispiel der Mauerwerksarbeiten	63
5.3.4	Aussagekraft der durchgeführten Datenerhebung	65
5.4	Tätigkeitsanalyse	66
5.4.1	Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der ersten Kategorieebene	66
5.4.2	Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der zweiten Kategorieebene	67
5.5	Tätigkeitsverteilung der Bauarbeiter im Mauerwerksbau	69
5.5.1	Verteilung der Vorgänge auf der Kategorieebene	69
5.5.2	Verteilung der Tätigkeiten auf der Unterkategorieebene	72
5.5.3	Verteilung der Tätigkeiten im Verlauf des Arbeitstages	74
5.6	Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages	77
5.6.1	Herzfrequenzverlauf eines Bauarbeiters	78
5.6.2	Herzfrequenzwerte aller beobachteten Bauarbeiter	80
5.6.3	Herzfrequenz am Arbeitstag und Leistung am Fahrradergometer	81
5.7	Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten	81
5.7.1	Herzfrequenzwerte der einzelnen Kategorien	82
5.7.2	Darstellung des Verlaufs der Herzfrequenzwerte der Tätigkeitsgruppen	83
5.7.3	Klima und Herzfrequenz während des Arbeitstages	85
5.8	Ergebnisse der Spiroergometrien	88
5.9	Relativer Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages	89
5.9.1	Relative Herzfrequenzwerte auf Basis eines Parameters	89
5.9.2	Regressionsanalysen mit mehreren unabhängigen Eingangsparametern	91
5.10	Beanspruchung der Tätigkeiten	95
5.11	Leistungsverlauf während des Arbeitstages	95
5.11.1	Leistungswerte aus den Baustellenbeobachtungen	96
5.11.2	Vergleich der erhobenen Leistungswerten mit Aufwandswerten aus der Literatur	97
<b>6</b>	<b>Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit</b>	<b>99</b>
6.1	Zusammenstellung der erforderlichen Daten	100
6.1.1	Bestimmung der personenbezogenen Parameter	100
6.1.2	Bestimmung der Herzfrequenzwerte für die Tätigkeitskategorien	102
6.1.3	Bestimmung der Leistungswerte	103
6.2	Anwendungsbeispiel der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve	103
6.2.1	Ermittlung der personenbezogenen Parameter	104
6.2.2	Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag	104
6.2.3	Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien	108
6.2.4	Bestimmung des Leistungsfortschritts	110
6.2.5	Veränderung der Arbeitszeit	110
6.3	Anwendung der relativen Beanspruchungsparameter bei Betonierarbeiten	116
6.3.1	Ermittlung des Herzfrequenzverlaufs infolge der Tätigkeitsausführung	116
6.3.2	Anpassung der Tätigkeiten infolge des Herzfrequenzverlaufs	118
6.3.3	Bestimmung des Leistungsfortschritts	118
6.3.4	Verlängerung der Arbeitszeit	118

6.4	Erneuter Vergleich mit den bestehenden Bewertungssystemen	120
<b>7</b>	<b>Diskussion der Datenerhebung zur Anwendung der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung</b>	<b>122</b>
7.1	Externe erhobene Einflussfaktoren	123
7.2	Externe nicht erhobene Einflussfaktoren	125
7.3	Einsatzbereiche	126
7.4	Auswirkung der Anwendung bei unterschiedlich belastenden Tätigkeiten	126
7.5	Weiterführende Anwendung der Ergebnisse der Tätigkeitsverteilung	127
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>128</b>
8.1	Zusammenfassung	128
8.2	Ausblick	129
8.2.1	Maschinenführertätigkeiten	129
8.2.2	Betrachtung der Arbeitsgruppen	129
8.2.3	Betrachtung von Arbeitswochen oder längeren Zeiträumen	130
8.2.4	Arbeits- und Pausengestaltung	130
8.2.5	Beanspruchungsgerechtes Arbeiten	132
<b>A.1</b>	<b>Anhang</b>	<b>133</b>
A.1.1	Datenerhebungsbogen (DEB)	133
A.1.2	Klimadatenanalyse	135
A.1.3	Ergebnisse der Herzfrequenzanalyse für Tätigkeitsgruppen	139
A.1.4	Darstellung des Herzfrequenzverlaufs in den Berechnungsbeispielen für Mauerwerksbau	140
	<b>Glossar</b>	<b>142</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>148</b>

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1	Systematik der Leistungsverlustermittlung .....	7
Bild 2-1	Arbeitsleistungskurve nach Lehmann .....	10
Bild 2-2	Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt .....	12
Bild 2-3	Von Winter überarbeitete Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt .....	13
Bild 2-4	Idealisierte Leistungskurve nach Winter .....	13
Bild 2-5	Belastungs- und Beanspruchungskonzept .....	17
Bild 2-6	Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen .....	23
Bild 2-7	Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur .....	24
Bild 2-8	Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit .....	24
Bild 2-9	Prozentuale Abweichung des Aufwandswertes ( $A_{W_{ges}}$ ) für Mauerwerk vom durchschnittlichen Aufwandswert .....	26
Bild 2-10	Einflussbereiche auf die Leistung nach Hofstadler .....	28
Bild 2-11	Einflussbereiche auf den Aufwandswert nach Hofstadler .....	29
Bild 3-1	Darstellung der Untersuchungsbereiche .....	32
Bild 3-2	Systematik der Leistungsverlustermittlung .....	33
Bild 3-3	Systematik der Leistungsverlustermittlung mit der detaillierten Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box .....	35
Bild 4-1	Gliederung des Arbeitsablaufs .....	42
Bild 4-2	Übersicht des Untersuchungsdesigns .....	49
Bild 4-3	Herzfrequenz (rot), O <sub>2</sub> -Aufnahme (Pink), CO <sub>2</sub> -Abgabe (Türkis), Laktat (blau) und Atemminutenvolumen (grün) während der spiroergometrischen Belastung .....	52
Bild 5-1	Häufigkeitsverteilung des Alter der BauarbeiterInnen der Untersuchung und in Österreich (gesamt) .....	59
Bild 5-2	Boxplot-Darstellung des BMI der Probanden [kg/m <sup>2</sup> ] sowie der BMI Schwellenwerte .....	60
Bild 5-3	Verteilung der untersuchten Bauarbeiter in den BMI-Klassen .....	60
Bild 5-4	Varianz $\varepsilon$ für einzelne Tätigkeiten des Maurers im mehrgeschossigen Wohnbau in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils ( $p$ ) .....	64
Bild 5-5	Mittelwert der Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803) .....	67
Bild 5-6	Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803) .....	68
Bild 5-7	Verteilung der Tätigkeitskategorien in den einzelnen Arbeitsstunden .....	74
Bild 5-8	Anteile der Unterkategorien an der Kategorie "Tätigkeit" in der jeweiligen Arbeitsstunde .....	75
Bild 5-9	Bauarbeiter TU25 - Herzfrequenzwerte eines Arbeitstages .....	79
Bild 5-10	Herzfrequenzwerte für TU25 - Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Arbeitstage .....	79
Bild 5-11	Verteilung von %HF <sub>max,AT</sub> in Abhängigkeit von P <sub>max</sub> .....	81
Bild 5-12	Ausschnitt Datenerhebungsbogen mit eingetragenen Herzfrequenzwerten .....	82

Bild 5-13	Mittlere Herzfrequenz ( $HF_{\text{Mittel}}$ ) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Arbeitsstunden aller beobachteten Bauarbeiter für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" ..... 84
Bild 5-14	$\%HF_{\text{max}}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C 86
Bild 5-15	$\%HF_{\text{max}}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D 86
Bild 5-16	Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte aus der einfachen Regression ..... 90
Bild 5-17	Verlauf des Leistungswertes im Verlauf des Arbeitstages..... 96
Bild 5-18	Vergleich der Literatur-Aufwandswerte mit den Brutto-Aufwandswerten der Datenauswertung ..... 98
Bild 6-1	Systematik der Leistungsverlustermittlung ..... 99
Bild 6-2	Ausschnitt Tätigkeitsverteilung in den einzelnen Arbeitsstunden im Intervall von fünf Minuten..... 109
Bild 6-3	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung – Darstellungsweise nach Lehmann..... 115
Bild 6-4	Detailausschnitt aus Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung..... 115
Bild 6-5	Herzfrequenzverlauf für Mauerwerksarbeiten..... 117
Bild 6-6	Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten..... 117
Bild 6-7	Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten entsprechend der Tätigkeitsverteilung Mauerwerksarbeiten ..... 119
Bild 6-8	angepasster Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten durch Anpassung der Tätigkeitsverteilung mit zusätzlichen Pausen ..... 119
Bild 6-9	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung – Darstellungsweise nach Lehmann..... 121
Bild 7-1	Berücksichtigte Einflussfaktoren auf die Leistung ..... 122
Bild 8-1	Verteilung der Erholungszeiten im Mauerwerksbau ( $N=45$ ) <sup>252</sup> ..... 131

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Brutto- und Nettoaufwandswerte der auswertbaren Datenreihen (N=55) für die Bruttoarbeitszeit.....	38
Tabelle 4-1	Ablaufgliederung nach REFA .....	46
Tabelle 4-2	Einteilung der Vorgänge des Arbeitsablaufs nach Schlagbauer .....	47
Tabelle 5-1	Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter .....	57
Tabelle 5-2	Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter.....	58
Tabelle 5-3	Altersverteilung aller Bauarbeiter in Österreich .....	58
Tabelle 5-4	Übersicht der untersuchten Baustellen.....	61
Tabelle 5-5	Übersicht untersuchter Baustellen mit Mauerwerksarbeiten.....	62
Tabelle 5-6	Varianzen $\varepsilon$ der Ergebnisse der Leistungswerte (N = 59) .....	65
Tabelle 5-8	Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N = 15.803).....	66
Tabelle 5-9	Verteilung der zweiten Kategorieebene –Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter.....	68
Tabelle 5-10	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung aller erhobenen Daten.....	70
Tabelle 5-11	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285) ..	70
Tabelle 5-12	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285) ..	71
Tabelle 5-13	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierter Datensätze („Nicht erkennbar < 20 % des Beobachtungstages) (N=4.956).....	71
Tabelle 5-14	Häufigkeit der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau (N=4.113) .....	73
Tabelle 5-15	Verteilung der Tätigkeitsunterkategorien in den einzelnen Arbeitsstunden.....	75
Tabelle 5-16	Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden.....	76
Tabelle 5-17	Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden mit Zusammenlegung der 10 <sup>ten</sup> und 11 <sup>ten</sup> Stunde .....	77
Tabelle 5-18	Bearbeitete Herzfrequenztafel Bauarbeiter TU25 – Ausschnitt.....	78
Tabelle 5-19	Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 1 - TU 12) an allen Beobachtungstagen .....	80
Tabelle 5-20	Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 13 - TU 21) an allen Beobachtungstagen .....	80
Tabelle 5-21	Durchschnittliche Herzfrequenz der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau .....	83
Tabelle 5-22	Vorbelastungsbereiche für die Untersuchung des Temperatureinflusses .....	85
Tabelle 5-23	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau ( $p$ -Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen %HF <sub>max</sub> und Temperatur .....	85

Tabelle 5-24	Korrelationskoeffizient ( $r$ ), Anzahl der Messungen ( $N$ ) und Signifikanzniveau ( $p$ -Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen %HF <sub>max</sub> und NET .....	87
Tabelle 5-25	Ergebnisse der Spiroergometrie für alle untersuchten Bauarbeiter ....	88
Tabelle 5-26	Mittelwerte(HF <sub>Mittel,Tätigkeit</sub> ) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenzmittelwerte der Tätigkeitsgruppen der einfachen Regression .....	91
Tabelle 5-27	Kombinationen der multiplen Regressionsanalyse .....	92
Tabelle 5-28	Anzahl ( $N$ ), Korrelationsgrad ( $r$ ) und Signifikanzniveau ( $p$ -Wert) für die Datenreihe %HF <sub>max</sub> in Verbindung mit der jeweiligen Eingangsparameterkombination .....	93
Tabelle 5-29	Konstanten und Faktoren zur Berechnung der relativen Herzfrequenz der Tätigkeiten mit Hilfe von Gleichung (6.32) .....	94
Tabelle 5-30	Literaturquellen und Angaben zu Aufwandswerte für volles Mauerwerk und Mauerwerk mit Öffnungen bei Kraneinsatz .....	97
Tabelle 6-1	Faktoren und Konstante für Gleichung (7.6).....	103
Tabelle 6-2	Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme (grau hinterlegte Zellen sind jene Zellen, in denen Annahmen getroffen wurden) .....	106
Tabelle 6-3	Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme (grau hinterlegte Zellen sind jene Zellen, in denen Annahmen getroffen wurden) .....	106
Tabelle 6-4	Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen (orange markiert) .....	107
Tabelle 6-5	Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen (orange markiert) .....	108
Tabelle 6-6	Endgültige Verteilung der Tätigkeitsgruppen .....	109
Tabelle 6-7	Zeiten [min] und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages .....	111
Tabelle 6-8	Zeiten und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages .....	112
Tabelle 6-9	Vergleich der Tagesarbeitsleistung .....	113
Tabelle 6-10	Leistungsverlustermittlung nach Lehmann .....	114
Tabelle 6-11	Leistungsverlustermittlung nach Winter .....	114
Tabelle 6-12	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung .....	114
Tabelle 11-3	Vergleich der Tagesarbeitsleistung .....	119
Tabelle 6-4	Leistungsverlustermittlung nach Lehmann .....	120
Tabelle 11-5	Leistungsverlustermittlung nach Winter .....	120
Tabelle 6-16	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung .....	120

## Abkürzungsverzeichnis

<b>[#]</b>	Stück
<b>[Akcal]</b>	Arbeitskalorie
<b>[Arbeits-kJ/Tag]</b>	Arbeitskilojoule pro Tag
<b>[d]</b>	Tag
<b>[h]</b>	Zeitstunde
<b>[kg]</b>	Kilogramm
<b>[L/min]</b>	Liter pro Minute
<b>[m]</b>	Meter
<b>[min]</b>	Minuten
<b>[S/min]</b>	Schläge pro Minute
<b>[Std]</b>	Lohnstunde
<b>[Wo]</b>	Wochen
<b>[°C]</b>	Grad Celsius
<b><math>\alpha</math></b>	Signifikanzniveau
<b>AEU</b>	Arbeitsenergieumsatz
<b>AG</b>	Auftraggeber
<b>AW<sub>N,MW</sub></b>	Netto-Aufwandswerts für die Mauerwerksarbeiten
<b>AN</b>	Auftragnehmer
<b>ASchG</b>	Arbeitsschutzgesetz
<b>AT</b>	Arbeitstag
<b>AT<sub>HT</sub></b>	Tätigkeitsanteil der zu bestimmenden Haupttätigkeit am Arbeitstag
<b>ATP</b>	Adenosintriphosphat
<b>Aw</b>	Aufwandswert der Haupt und Nebentätigkeiten und ablaufbedingten Unterbrechungen
<b>AWB</b>	Brutto-Aufwandswert
<b>AW<sub>ges</sub></b>	Gesamtaufwandswert, der auch die persönlich bedingten Unterbrechungen mitberücksichtigt
<b>AW<sub>N</sub></b>	Netto-Aufwandswert
<b>BMI</b>	Body-Mass-Index
<b>BS</b>	Baustelle
<b>BUAK</b>	Bauarbeiter-Urlaubs- und Abfertigungskasse
<b>DBE</b>	Digitale Bilderfassung
<b>DEB</b>	Datenerhebungsbogen
<b><math>\Delta_{crit}</math></b>	Abweichung
<b><math>\varepsilon</math></b>	Varianz
<b>EU</b>	Energieumsatz
<b>EU<sub>max</sub></b>	maximaler Energieumsatz

<b>EZA</b>	Einzelzeitaufnahme
<b>FA</b>	Facharbeiter
<b>GU</b>	Grundumsatz
<b>HF</b>	Herzfrequenz
<b>HF<sub>LTP1</sub></b>	Herzfrequenz am "first lactate turnpoint"
<b>HF<sub>LTP2</sub></b>	Herzfrequenz am "second lactate turnpoint"
<b>HF<sub>max</sub></b>	maximale Herzfrequenz
<b>HF<sub>mittel</sub></b>	mittlere Herzfrequenz
<b>HF<sub>rest</sub></b>	Ruheherzfrequenz
<b>HF<sub>vorb</sub></b>	Vorbelastungsherzfrequenz
<b>Hrsg.</b>	Herausgeber
<b>HT</b>	Haupttätigkeit
<b>LA</b>	(Blut-)Laktat
<b>L<sub>AT,9Std</sub></b>	Tagesleistung eines Bauarbeiters bei neun Stunden Nettoarbeitszeit
<b>LTP<sub>1</sub></b>	first lactate turnpoint
<b>LTP<sub>2</sub></b>	second lactate turnpoint
<b>max AEU</b>	maximaler Arbeitsenergieumsatz
<b>MMA</b>	Multimomentaufnahme
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>N</b>	Stichprobengröße
<b>NET</b>	Normal-Effektiv-Temperatur
<b>NT</b>	Nebentätigkeit
<b>P</b>	Leistung
<b>p</b>	prozentualer Anteilswert an der Grundgesamtheit
<b>p-Wert</b>	Signifikanzwert
<b>PALT</b>	physical activity during leisure
<b>PA-R</b>	current physical activity level
<b>PFA</b>	perceived functional ability to walk, jog or run given distances
<b>P<sub>max</sub></b>	maximale Leistung
<b>r</b>	Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient
<b>REFA</b>	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
<b>RQ</b>	Respiratorischer Quotient
<b>SD</b>	Standardabweichung
<b><math>\hat{\sigma}</math></b>	Standardabweichung
<b><math>\hat{\sigma}_{\bar{x}}</math></b>	Standardfehler
<b>SE</b>	Spiroergometrie
<b>SRE</b>	self-report level of aerobic exercise
<b>t</b>	der aus der zentralen Wahrscheinlichkeit der Standardnormalverteilung berechnete Wert der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit

scheinlichkeit ( $t = 1,64$  für 90 %,  $t = 1,96$  für 95 % und  $t = 2,575$  für 99 % Eintrittswahrscheinlichkeit)

<b><math>T_{\text{Arbeit}}</math></b>	tägliche Arbeitszeit
<b><math>T_{\text{Mauern}}</math></b>	Arbeitszeit für Mauerwerksarbeiten
<b>TWC</b>	gefühlte Temperatur
<b><math>\dot{V}_{\text{CO}_2}</math></b>	Kohlendioxidabgabe
<b><math>\dot{V}_E</math></b>	Ventilation = Atemminutenvolumen
<b><math>\dot{V}_{\text{CO}_2}</math></b>	Sauerstoffaufnahme
<b><math>\dot{V}_{\text{CO}_2,\text{max}}</math></b>	maximale Sauerstoffaufnahme
<b>W</b>	Gewicht
<b><math>x</math></b>	arithmetischer Mittelwert aller x-Werte

## 1 Einleitung

### 1.1 Anlass und Aufgabenstellung

Bei der Ausführung von Bauarbeiten entstehen immer wieder Differenzen zwischen den in der Arbeitsvorbereitung sowie der Kalkulation vorausgeplanten und den tatsächlich auf der Baustelle durchzuführenden Arbeitsvorgängen durch Änderungen oder Abweichungen.

Diese Differenzen können zwischen minimalen und sehr großen Veränderungen gegenüber der Ausgangssituation liegen, wobei die Gründe für die Entstehung der Abweichung vielfältig sein können. Einerseits können äußere Zwänge oder die Anordnungen des Auftraggebers dazu führen, den Terminplan zu verändern. Ebenso kann es auf Grund von zu gering abgeschätzter Arbeitszeit für einzelne Arbeitsvorgänge notwendig sein, Forcierungsmaßnahmen vorzusehen. Andererseits kann es in Folge von Produktionsproblemen oder Störungen in der Leistungserbringung für den Auftragnehmer notwendig werden, Forcierungsmaßnahmen vorzusehen, um den vertraglichen Verpflichtungen nachzukommen.

Im Falle einer erforderlichen Forcierung - ausgelöst durch den Auftragnehmer (AN) - führt dies üblicherweise zu internen Überlegungen, wie derartige Leistungen wirtschaftlich ausgeführt werden können. Dies können einerseits die Zahlung einer vereinbarten Pönale oder zusätzliche Kosten für die beschleunigte Bauausführung sein.

Im Falle der Forcierung auf Basis einer Beauftragung durch den Auftraggeber (AG) wird dieser vor der Auftragserteilung wissen wollen, was ihn die konkreten Forcierungsmaßnahmen „kosten“ werden und er wird eine Gegenüberstellung zwischen den Auswirkungen des verzögerten Bauendes und den anfallenden Kosten vom AN einfordern.

In beiden Fällen ist es möglich, dass die Forcierung alleine durch die Verlängerung der Arbeitszeit oder meist durch die Kombination von verschiedenen Maßnahmen wie Verlängerung der täglichen Arbeitszeit in Verbindung mit der Erhöhung der Partiestärke sowie des Maschinenstandes erreicht wird.<sup>1</sup>

Um nun eine Entscheidung treffen zu können, ist die monetäre Bewertung des entstehenden Leistungsverlustes durch die veränderte Arbeitszeit erforderlich. Diese Berechnung erfolgte bisher zumeist in Anlehnung

---

<sup>1</sup> Durch diese Veränderungen der geplanten (zumeist) optimierten Parteeinteilung entstehen weitere zu berücksichtigende Leistungsverluste, welche aus baubetrieblicher Sicht zu bewerten sind. Möglichkeiten der Bewertung finden sich bei Vygen, K., Schubert, E., Lang, A., Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008 oder Hofstadler, C.: Nachweis von Produktivitätsverlusten am Beispiel der Stahlbetonarbeiten – Literaturansätze im Vergleich zu aktuellen Untersuchungsergebnissen. - in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Bauablaufstörungen - Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, Graz 2011, S. 43-74.

an das von Vygen/Schubert/Lang<sup>2</sup> dargestellte Verfahren, wobei dieses die Leistungskurve von Winter<sup>3</sup> als Grundlage für die Berechnungen ansetzt. Eine weitere Leistungskurve, die alternativ zu Winter verwendet werden kann, findet sich bei Lehmann<sup>4</sup>.

In beiden Arbeitsleistungskurven wird der Rückgang der stündlich zu erbringenden Leistung im Verlauf des Arbeitstages dargestellt, wodurch die Ermittlung einer Veränderung der darauf basierenden Aufwandswerte möglich ist. Somit können die veränderten Bedingungen der Leistungsausführung monetär bewertet werden.<sup>5</sup>

Diese beiden zuvor erwähnten Ausarbeitungen zum Thema „Arbeitsleistung“ wurden in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts aufgestellt. In diesen beschreibt einerseits Lehmann die physiologischen Veränderungen und Effekte infolge körperlicher Arbeit und leitet daraus seine Arbeitsleistungskurve ab. Auf der anderen Seite erstellt Winter - dessen Darstellung wiederum auf Untersuchungen von Burkhardt<sup>6</sup> basieren - eine Ermittlungsmethode und eine graphische Darstellung der Leistungsveränderungen zur Bestimmung des Leistungsrückgangs bei längerer Arbeitszeit. Burkhardt führte bei seinen Erhebungen hierfür ausschließlich Messungen bei „Bagger- und Scraperleistungen“<sup>7</sup> durch. Winter überführte Burkhardt's Ergebnisse in ein schematisches Modell des Leistungsverlustes infolge längerer Arbeitszeit, wodurch mit einfachen mathematischen Berechnungen die Ermittlung des Leistungsverlustes möglich wurde.

Weitergehende Erklärungen zur jeweiligen Datenbasis sowie zur Erhebungsmethodik der existierenden Arbeitsleistungskurven konnten nicht gefunden werden. Ein weiterer wesentlicher Anlass zur Überarbeitung der bestehenden Arbeitsleistungskurven ist der Umstand, dass sich die Situation des Arbeitsplatzes „Baustelle“ in den vergangenen 50 Jahren signifikant verändert hat.<sup>8</sup>

In diesem Zusammenhang sei insbesondere die verbesserte Gerätetechnik zu nennen, welche zu gestiegenen Leistungswerten sowie zu einer Spezialisierung auf Teilaufgabenbereiche führte. Hieraus resultierte

---

<sup>2</sup> Vygen, K., Schubert, E., Lang, A., Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008.

<sup>3</sup> Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

<sup>4</sup> Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

<sup>5</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Bauwirtschaftliche Überlegungen zur täglichen Arbeitszeit in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Festschrift 40 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Graz 2009, S. 213 – 228.

<sup>6</sup> Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

<sup>7</sup> Eine Erklärung zum Beobachtungsumfang sowie dem Randbedingungen der Datenerhebung konnte weder bei Burkhardt noch bei Winter gefunden werden. Lediglich die Angabe, dass die Erhebung bei „Bagger- und Scraperarbeiten“ durchgeführt wurden, findet sich bei Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963, S. 80.

<sup>8</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

eine kleinteiligere und gewerkeorientiertere Arbeit. Dies ermöglichte, einzelne Arbeitsschritte zu systematisieren und wissenschaftlich getrennt zu beobachten. Ebenso hat sich die Anzahl der an der Errichtung von Bauobjekten beteiligten Bauarbeiter erhöht.<sup>9</sup>

Zusätzlich zu diesen logistischen Veränderungen erfolgte in vielen Bereichen der erstmalige Einsatz oder die Weiterentwicklung von Baugeräten, wobei im Zusammenhang mit dieser Arbeit vor allem auf die Weiterentwicklung der Hebetchnik und die Anwendung von computerunterstützten Steuerungsprogrammen für verschiedene Baugeräte hingewiesen wird.

Neben diesen logistischen und technischen Randbedingungen, welche sich auch am mittlerweile hohen Maschinsierungsgrad der Baustellen niederschlagen, hat auch der Bereich der Sicherheitstechnik entscheidende Weiterentwicklungen erfahren. Aus den mittlerweile standardisierten arbeitsschutztechnischen und gesetzlichen Maßnahmen ist besonders die Einführung von bestimmten maximalen Einzelstückgewichten (z.B. Ziegelsteingewicht, Zementsackgewicht<sup>10</sup>) für die manuelle Handhabung hervorzuheben.<sup>11</sup>

Diese Auflistung verdeutlicht die gravierenden Veränderungen im Arbeitsumfeld des Bauarbeiters. Gerade daher ist die in der heutigen Praxis vorgenommenen Prognostizierung respektive im Nachhinein getätigte Plausibilisierung der Leistungs- und Aufwandswerte bei veränderter Arbeitszeit aus baubetrieblicher Sicht in Frage zu stellen.

Diese Veränderungen spiegeln sich auch in der Begriffsdefinition von „Arbeit“ wieder:

*„Die Industrialisierung hat den Charakter der Arbeit tiefgreifend verändert. Durch zunehmende Arbeitsteilung in vielen Arbeitsprozessen, die oft mit der Reglementierung des Arbeitstempos durch die Mechanisierung verbunden war, hat sich der Bezug des einzelnen Arbeitenden zum Produktionsergebnis gelockert; Verständnis für Arbeitsobjekte und Arbeitsverrichtungen sind vielfach verloren gegangen. Andererseits ist die Arbeit dadurch in der Regel erleichtert worden, (...).“<sup>12</sup>*

<sup>9</sup> So ist es nicht mehr Usus, dass zum Beispiel ein Haus von nur einer Baumeisterpartie von Anfang bis Ende errichtet wird, sondern für eine Vielzahl von Arbeiten werden einzelne Subunternehmer durch den Hauptauftragnehmer - zumeist ein Generalunternehmer - unter Vertrag genommen.

<sup>10</sup> Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales: Einführung von 25-kg Zementsäcken, GZ 61.209/12-4/99 v. 19.04.1999.

<sup>11</sup> §64 ASchG ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (1994) Republik Österreich, Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz - ASchG) und mit dem das Allgemeine Sozialversicherungsgesetz, das Arbeitsvertragsrechts-Anpassungsgesetz, das Arbeitsverfassungsgesetz, das Berggesetz 1975, das Bauern-Sozialversicherungsgesetz, das Arbeitsmarktförderungsgesetz, das Arbeitslosenversicherungsgesetz 1977 und das Ausländerbeschäftigungsgesetz geändert werden, BGBl. I Nr. 51/2011.

<sup>12</sup> Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58

Der Blick auf andere Industriebereiche und die Leistungsphysiologie im sportwissenschaftlichen Bereich zeigt, dass es hier Weiterentwicklungen bei der Ausrüstung für Untersuchungen und für die Datenauswertung sowie deren Interpretation gibt, wobei die prinzipiellen Beobachtungsmethoden über Jahre hinweg gleich geblieben sind. So können Prozessabläufe immer noch mittels REFA-Aufnahmeverfahren<sup>13</sup> erhoben werden, jedoch werden diese heute meist mit der Unterstützung von Video- und Digitalkameras sowie weiteren elektronischen Hilfsmitteln durchgeführt. Ebenso zählen in der Leistungsdiagnostik die Herzfrequenz, das Atemvolumen bzw. der Sauerstoffverbrauch und die Laktatkonzentration zu den wesentlichen Parametern, um die Beanspruchung des menschlichen Körpers infolge verschiedener Belastungssituationen zu bewerten. Auch hier wurden vor allem die Art und das Vorgehen der Datenerhebung infolge der Unterstützung durch Hard- und Software verbessert und es entstand neues Wissen durch die Weiterentwicklung der Datenauswertungen sowie durch das Zusammenführen neuer Ansätze. Die grundlegenden Methoden blieben jedoch gleich.

Dies führt zur Notwendigkeit, die Veränderungen am Bau mit Hilfe neuer wissenschaftlicher und vor allem interdisziplinärer Ansätze abzubilden.

## **1.2 Zielsetzung und Abgrenzung**

Um den am Bauprozess Beteiligten - konkret Auftraggeber und Bauunternehmen - ein Werkzeug zur Abbildung des realen Leistungsverlauf in die Hand zu geben, soll mit Hilfe einer mehrdimensionalen<sup>14</sup> Betrachtung eine Systematik zur Bewertung des Leistungsverlustes auf Basis physiologischer Grundlagen entwickelt werden.

Mit Hilfe der zu entwickelnden Systematik soll der Leistungsrückgang durch die Veränderung von der Arbeitszeit ermittelt werden, wenn die notwendige Datengrundlage für den zu betrachtenden Einsatzbereich vorhanden ist.

Für die Datenerhebung und die beispielhafte Anwendung der Systematik im Rahmen dieser Arbeit wird aus den oben genannten Gründen ausschließlich der Bereich der Mauerwerksarbeiten ausgewählt.

Die bestehende Leistungskurve nach Lehmann geht von einer kontinuierlichen mittleren oder hohen körperlichen Aktivität aus. Der Umstand, dass auf der Baustelle jedoch meist hoch anstrengende mit mäßig oder

---

<sup>13</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984.

<sup>14</sup> Die Mehrdimensionalität der Untersuchung ergibt sich aus dem Einsatz der üblichen drei unabhängigen Betrachtungen der Arbeitstätigkeit im Rahmen dieser Untersuchung, nämlich der Arbeitsleistung, der Tätigkeitsabfolge und -verteilung und der Arbeitsbeanspruchung.

nicht anstrengenden Tätigkeiten wechseln, wurde bisher ebenso wenig berücksichtigt wie die Anzahl und Anordnung der Pausen.

Dieser Umstand wird im Rahmen dieser Arbeit in der tätigkeitsabhängigen Leistungsermittlung berücksichtigt, indem die Arbeitsleistung von den Eingangsparametern Alter, Größe und Gewicht der Bauarbeiter sowie vom geplanten Arbeitsablauf abhängig gemacht wird.

Für die Anwendung der Kurve auf verschiedenen Baustellen müssen die Eingangsparameter an die entsprechende Situation auf der jeweiligen Baustelle angepasst werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine von den geleisteten Tätigkeiten abhängige Leistungskurve, welche sich aus der Zusammenführung von verschiedenen, die Leistung beeinflussenden Faktoren ergibt und nicht wie bisher eine generelle Kurve für alle Arten von Bauarbeiten mit der einzigen Unterscheidung hinsichtlich der „Schwere“ der zu erbringenden Arbeit.

### 1.3 Vorgehensweise

Um diese Zielsetzung zu erreichen, kamen zwei unterschiedliche Untersuchungsmethoden aus dem Bereich der empirischen Forschung zum Einsatz.

Die geplanten Baustellenbeobachtungen - mit dem Einsatz eines standardisierten Beobachtungsbogens, der Verwendung von Herzfrequenzmessgeräten und der Aufzeichnung von Klimadaten - und die sportwissenschaftlichen Laboruntersuchungen werden den quantitativen Forschungsmethoden zugeordnet. Dem gegenüber stehen die subjektive Beurteilung der Baustellensituation sowie die Beschreibung des Verhaltens der Bauarbeiter untereinander und gegenüber ihrem Vorgesetzten durch den unabhängigen Beobachter. Diese Methoden sind dem Feld der qualitativen empirischen Forschung zuzurechnen.<sup>15</sup>

Um eine tätigkeitsabhängige Leistungsbeurteilung zu erstellen, war es notwendig, eine mehrdimensionale Betrachtung anzustellen und folgende Fragen zu beantworten:

- ◆ Welche Tätigkeiten führt ein Bauarbeiter während eines Arbeitstages bzw. einer Arbeitswoche durch?

<sup>15</sup> Vgl. Girmscheid, G.: Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften, 2. Auflage, Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich 2007 und Nagel, H.: Empirische Sozialforschung, Skriptum zum Wahlfach Kurs I - Methoden der empirischen Sozialforschung, WU Wien, Wien 2003 sowie Winter, S.: Quantitative vs. Qualitative Methoden, [http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nquantitative\\_vs\\_qualitative\\_methoden\\_b.html](http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nquantitative_vs_qualitative_methoden_b.html), Datum des Zugriffs: 15.02.2011, 11:21.

- ◆ Welche körperliche Beanspruchung entsteht infolge der Ausübung der jeweiligen Tätigkeiten?
- ◆ Welchen Rückgang der körperlichen Leistungsfähigkeit verursacht die Ausführung dieser Tätigkeiten im Verlauf eines Arbeitstages?
- ◆ Welche Umgebungseinflüsse haben eine Auswirkung auf die Leistungsfähigkeit und wie können diese dargestellt und berücksichtigt werden?

Die oben dargestellten Fragen sollten durch ein eigens entwickeltes Untersuchungsdesign in mehreren Stufen beantwortet werden.

Hierzu werden die Tätigkeiten eines Bauarbeiters auf mehreren Baustellen mittels Arbeitsablaufbeobachtungen aufgenommen sowie eine durchschnittliche Verteilung der Tätigkeiten ermittelt. Die Ergebnisse auf verschiedenen Baustellen durchgeführten Beobachtungen stellt die Datengrundlage für die weitere Anwendung dar.

Eine parallel dazu durchgeführte Herzfrequenzmessung liefert in Kombination mit im Labor durchgeführten Ergometer-Tests die Basis für Aussagen zur körperlichen Beanspruchung infolge der einzelnen Tätigkeiten. Durch die Aufzeichnung des Leistungsfortschrittes während der Beobachtung der Tätigkeiten und der Herzfrequenzmessung wurde die Veränderung des Leistungs-Outputs festgehalten und in Relation zur geleisteten Arbeit bzw. zur körperlichen Beanspruchung - ausgedrückt durch relative Herzfrequenzwerte - gesetzt.

Als weitere wesentliche Einflussgrößen auf die Leistung der Bauarbeiter können das Klima und die Motivation angesehen werden. Um den Klimaeinfluss abzubilden, werden neben den tätigkeitsrelevanten Daten folgende Klimadaten aufgezeichnet: Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Es erfolgte hierfür die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs mit der erzielten Leistung. Ergänzend wird für diesen Einflussfaktor weiterführende Literatur dargestellt.

Die Motivation des Bauarbeiters ist ein ebenso bedeutender Faktor für seine Leistung. Diese konnte mit dem hier eingesetzten Untersuchungsaufbau nicht direkt durch Befragungen der Bauarbeiter erhoben werden, sodass lediglich eine subjektive Bewertung der Baustelle durch die Beobachter erfolgte.

Nach der Erhebung erfolgt im ersten Schritt die Zusammenführung der Daten aus den Bereichen der Tätigkeitsaufzeichnungen und der Herzfrequenzmessungen, um die individuelle Beanspruchungssituation der einzelnen Tätigkeiten zu bestimmen. Ergänzend dazu wird die Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Tätigkeit an einem Arbeitstag und im gesamten Beobachtungszeitraum analysiert.

Im nächsten Schritt werden die aus der Laboruntersuchung erhaltenen leistungsphysiologischen individuellen Kenngrößen der Bauarbeiter be-

rücksichtigt. Mit Hilfe dieser Daten erfolgt die Transformation der individuellen Beanspruchungsindikatoren der einzelnen Tätigkeiten zu allgemeinen Beanspruchungsindikatoren.

Somit ergibt sich folgende Systematik zur Bewertung des Leistungsverlustes infolge veränderter Arbeitszeit.

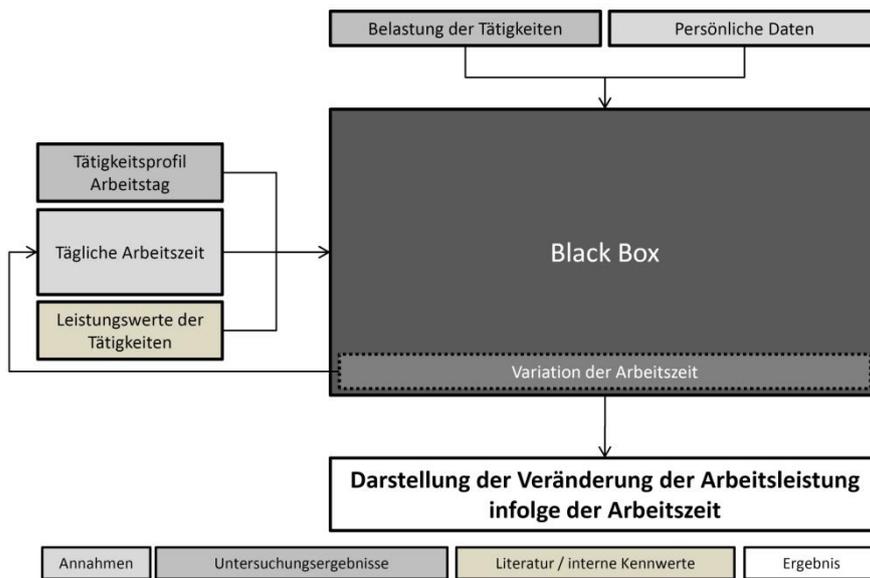


Bild 1-1 Systematik der Leistungsverlustermittlung<sup>16</sup>

Der Leistungsverlust durch die Verlängerung der täglichen Arbeitszeit kann auf Basis der persönlichen Kenngrößen eines Bauarbeiters, der Tätigkeitsverteilung am zu betrachtenden Arbeitstag und den allgemeinen Beanspruchungsindikatoren der auszuführenden Tätigkeiten abgeschätzt werden (Bild 1-1).

<sup>16</sup> Schlagbauer, D.: Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Ansätze zur Arbeitszeitgestaltung auf Basis arbeitsphysiologischer Parameter. - in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Bauablaufstörungen - Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, Graz 2011, S. 75 - 108.

## 2 Definition und Grundlagen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Begriffserklärungen dargestellt und eine Festlegung über die weitere Verwendung des jeweiligen Begriffes in der vorliegenden Arbeit getroffen.

Dies ist speziell bei den Begriffen „Arbeit“ und „Leistung“ notwendig, da diese in verschiedenen Wissenschaftszweigen, wie z.B. Wirtschaftswissenschaften, Physik oder Sportwissenschaften unterschiedlich verwendet werden.

Zudem werden die beiden im deutschsprachigen Raum wesentlichen Arbeitsleistungskurven dargestellt und deren Grundlagen analysiert.

Zudem werden die leistungsphysiologischen und medizinischen Grundlagen für die Erstellung des hier präsentierten Konzeptes erläutert. Dies beinhaltet einerseits die Erläuterung einzelner medizinischer Kenngrößen aber auch die physiologischen Zusammenhänge bei der Arbeitsausführung.

Den Abschluss bildet die Betrachtung von Einflussgrößen auf den Baubetrieb und die nähere Beschreibung der wesentlichen Einflussfaktoren, die auch im neuen Konzept bereits berücksichtigt werden konnten.

### 2.1 Definition des Begriffs „Arbeit“

In Kenntnis der unterschiedlichen Begriffsdefinitionen der „Arbeit“ wird in Anlehnung an Rohmert<sup>17</sup> und Rubner<sup>18</sup> für die folgenden Ausführungen der Arbeitsbegriff definiert: **Arbeit** ist eine **bewusste zielgerichtete Handlung** eines Menschen unter **Einsatz von körperlicher Kraft oder geistigen Fähigkeiten**, um ein **bestimmtes vorgegebenes Ziel zu erreichen**, wobei im Rahmen dieser Arbeit speziell auf die körperliche Arbeit eingegangen wird.<sup>19</sup>

Arbeit ist eine bewusste zielgerichtete Handlung eines Menschen unter Einsatz von körperlicher Kraft oder geistigen Fähigkeiten, um ein bestimmtes vorgegebenes Ziel zu erreichen

<sup>17</sup> Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983.

<sup>18</sup> Rubner, M.: Denkschrift zur Errichtung eines Instituts für Arbeitsphysiologie in der damaligen Kaiser-Wilhelm (der heutigen Max-Planck-)Gesellschaft vom 16. 5. 1912 in Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S.5.

<sup>19</sup> Ein Vergleich der verschiedenen Begriffsdefinitionen aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen wurde im Rahmen der Dissertation geführt, an dieser Stelle wird nur das Ergebnis dieser Betrachtung wiedergegeben.

## 2.2 Definition des Begriffs „Leistung“

Ebenso finden sich auch für den Begriff „Leistung“ unterschiedliche Definitionen, wobei in weiterer Folge der Begriff „**Leistung**“ **synonym** mit dem Begriff „**Arbeitsleistung**“ verwendet, und dieser Begriff entsprechend der Definition von Brockhaus<sup>20</sup> als „betriebliche Leistung“ betrachtet wird. Somit stellt die (Arbeits-)Leistung das Ergebnis der Arbeitstätigkeit je Zeiteinheit (Einheit z.B.: #Ziegel/h, m<sup>2</sup>Mauerwerk/Arbeitstag) dar.

(Arbeits-)Leistung = Ergebnis der Arbeitstätigkeit je Zeiteinheit

## 2.3 Arbeitsleistungskurven

Um einen Überblick über die bestehenden Bewertungssysteme zu geben, werden nachfolgend die beiden allgemein bekannten und in der gängigen bauwirtschaftlichen Literatur vorgefundenen Ansätze nach Lehmann und Burkhardt bzw. Winter zu den Arbeitsleistungskurven vorgestellt.

Weitere, weniger gebräuchliche Untersuchungen zur Berücksichtigung der Leistungsveränderungen bei verlängerter Arbeitszeit wurden im Rahmen der Dissertation ebenso behandelt. Da die baupraktische Anwendung im deutschsprachigen Raum sich jedoch zumeist auf diese beiden erwähnten Kurven beschränkt, wird an dieser Stelle nur auf die weiterführende Bearbeitung im Rahmen der Dissertation verwiesen.<sup>21</sup>

Arbeitsleistungskurve = graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen täglicher Arbeitszeit und Arbeitsleistung

Grundsätzlich bildet die Arbeitsleistungskurve den Zusammenhang zwischen der täglichen Arbeitszeit und der Arbeitsleistung graphisch ab, wobei es zwei unterschiedliche Darstellungsarten gibt. Auf der horizontalen Achse wird in beiden Fällen die tägliche Arbeitszeit aufgetragen. Auf der vertikalen Achse erfolgt entweder die Darstellung der Summenlinie der Arbeitsleistung oder der Verhältniszahl zwischen der stündlich erbrachten Arbeitsleistung und der durchschnittlichen täglichen Arbeitsleistung während achtstündiger Arbeit.

Die erste Darstellungsform entspricht der Arbeitsleistungskurve nach Lehmann<sup>22</sup>, die zweite jener von Burkhardt<sup>23</sup> und Winter<sup>24</sup>.

<sup>20</sup> Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58

<sup>21</sup> Der Überblick über weitere zugehörige Untersuchungen sind im Kapitel 4.1.5 der Dissertation von Schlagbauer (Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 58 ff) dargestellt und im Detail beschrieben.

<sup>22</sup> Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

<sup>23</sup> Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

<sup>24</sup> Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

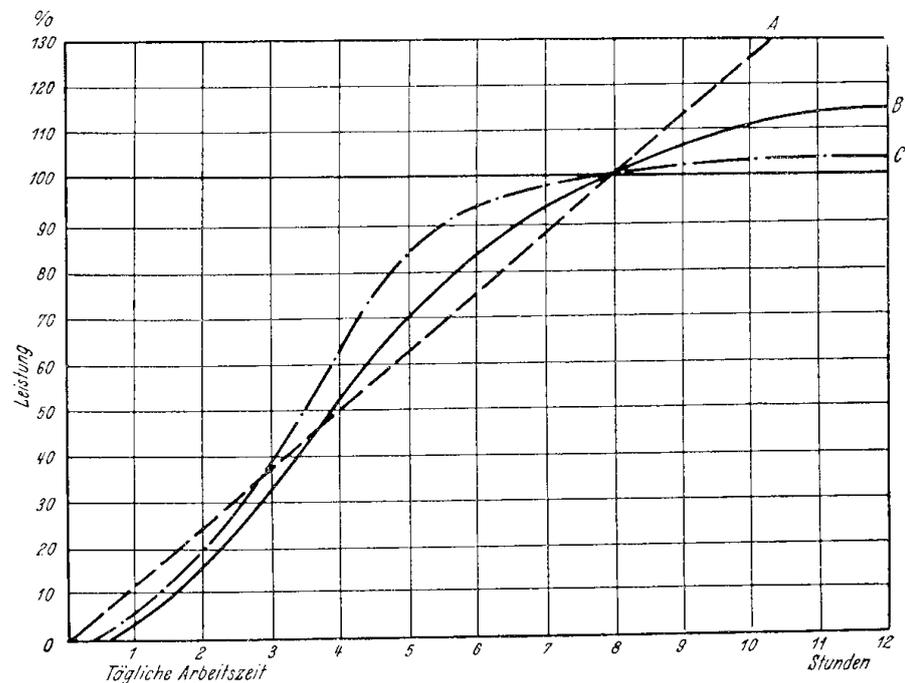


Bild 2-1 Arbeitsleistungskurve nach Lehmann<sup>28</sup>

- Kurve A ... Proportionale Leistung
- Kurve B ... leichte körperliche Arbeit
- Kurve C ... schwere körperliche Arbeit

### 2.3.1 Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann

Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann wurde im Jahr 1962 in „Praktische Arbeitsphysiologie“<sup>25</sup> veröffentlicht. Darin beschreibt Lehmann die arbeitsphysiologischen Probleme, welche in Betrieben auftreten können. Ausgelegt war diese Abhandlung speziell für Studenten der Medizin, wobei einzelne Aspekte auch Grundlagen für die Erforschung der menschlichen Physiologie darstellen und Ansätze für den Einsatz des Faktors Mensch in technischen Berufen abbildeten.<sup>26</sup>

Die Grundlagen für die Entwicklung seiner Arbeitsleistungskurve erklärt Lehmann auf Basis arbeitsphysiologischer Betrachtungen und der Darstellung der Auswirkungen von Belastungen auf den Körper.<sup>27</sup>

Diese Überlegungen führen nach Lehmann zu folgendem graphischen Zusammenhang:

<sup>25</sup> Lehmann, G.: a.a.O.

<sup>26</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

<sup>27</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: a.a.O.

In Hinblick auf seine Darstellung führt Lehmann aus:<sup>29</sup>

*Die Kurve bei einer Proportionalität zwischen Arbeitszeit und Leistung ist der Grenzwert, der im normalen Arbeitsleben nicht erreichbar ist. Am nächsten kommt dieser Kurve eine Arbeit mit geringer geistiger und körperlicher Beanspruchung, bei der die Maschine den Takt der Leistungserbringung vorgibt. Außerdem sind die Rüstzeiten zu Beginn und am Ende aller Arbeiten zu berücksichtigen. Auch der Umstand, dass es eine gewisse Zeit dauert, bis der Arbeiter seine volle Leistung erbringen wird, muss in die Überlegungen mit eingebunden werden.*

*Abzulesen ist, dass bis zu einer gewissen Arbeitszeit die Leistung unter der Proportionalitätsgrenze bleibt, danach steigt die Leistung stärker an als die Proportionalitätskurve. Demnach kann in einer 6-Stundenschicht annähernd die gleiche Leistung wie in einer 8-Stundenschicht erbracht werden, da nach ungefähr sechs Stunden ein starker Rückgang der Leistung auftritt. Über acht Stunden steigt die Tagesleistung im Vergleich zu einem 8-Stundentag nur mehr sehr gering an.*

### 2.3.2 Die Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt

Neben der Darstellung von Lehmann bietet die deutschsprachige Literatur eine weitere Erklärung für Zusammenhang zwischen Arbeitszeit und Arbeitsleistung. Bei Burkhardt findet sich in „Kostenprobleme der Bauwirtschaft“<sup>30</sup> im Kapitel „Auswahl aus den Besonderheiten der Bauproduktion“ und dem darin enthaltenen Unterkapitel „Die Eigentümlichkeiten des Produktionsvorgangs im Baubetrieb“ folgende Beschreibung und graphische Darstellung in Bezug auf Beschleunigungsmaßnahmen:

*„Muss forciert werden, so ist eine zeitliche Anpassung bis zu einem bestimmten Grad durch Verlängerung der täglichen Arbeitszeit möglich. Eine Verlängerung der täglichen Arbeitszeit ist aber immer, bemerkt oder unbemerkt, mit einer Abnahme der Leistung (Arbeit je Zeiteinheit) verbunden. (...)*

*Die Grenze der zeitlichen Anpassung ist deshalb dann erreicht, wenn der Leistungszuwachs (Grenzertrag) unwirtschaftlich wird oder wenn gesetzliche Bestimmungen die tägliche Arbeitszeit regeln.*

*Ist die Möglichkeit der zeitlichen Modifikation erschöpft, so verbleibt nur die quantitative Anpassung, d.h. der Betrieb muss seinen Produktionsapparat vergrößern.“<sup>31</sup>*

<sup>28</sup> Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 S.391.

<sup>29</sup> Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 S.390ff.

<sup>30</sup> Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

<sup>31</sup> Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963, S.80f.

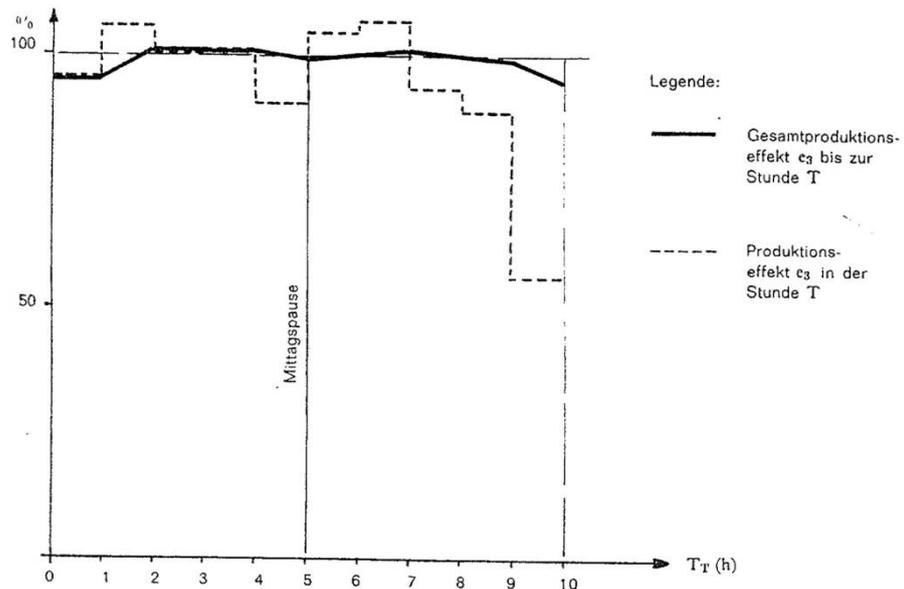


Bild 2-2 Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt<sup>32</sup>

Zur Entstehung der Kurve erklärt Burkhardt:

*„Wir haben Scraper- und Baggerleistungen in Abhängigkeit von der täglichen Arbeitszeit gemessen, die zeigen, dass die Leistungsabnahme bemerkenswert ist.“<sup>33</sup>*

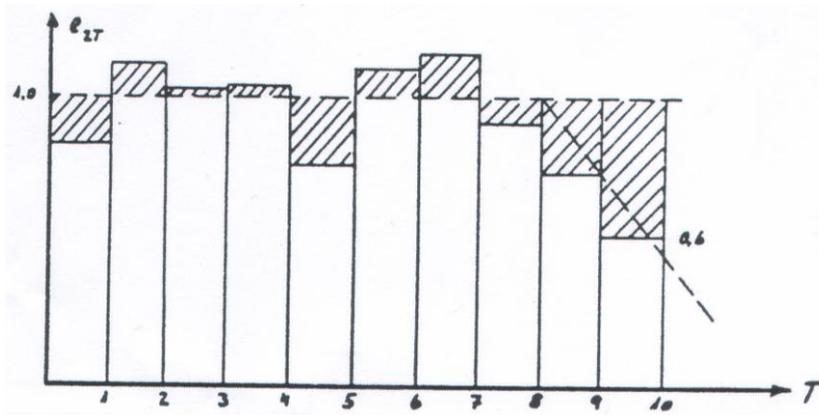
### 2.3.3 Die Arbeitsleistungskurve nach Winter

Da die Arbeitsleistungskurve von Burkhardt nicht für die praktische Anwendung ausgerichtet war, sondern lediglich eine Abbildung der erhobenen Daten darstellt, entstand durch Winter eine Weiterentwicklung, die letztendlich auch in einer Berechnungsformel für den Leistungsrückgang mündete.

Hierzu überarbeitete Winter die Leistungskurve von Burkhardt:

<sup>32</sup> Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963, S.80.

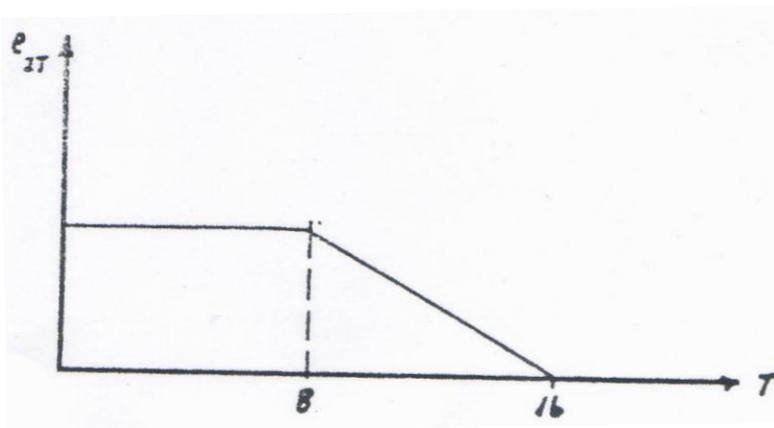
<sup>33</sup> Burkhardt, G.: a.a.O., S.80.

Bild 2-3 Von Winter überarbeitete Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt<sup>34</sup>

Aufbauend auf dieser Grafik vereinfachte Winter<sup>35</sup> den Kurvenverlauf soweit, dass mittels einer einfach zu berechnenden Formel der Kurvenverlauf und somit die Leistungsänderung beschrieben werden konnte.

$$e * T = 12 - 16 \left(1 - \frac{T}{16}\right)^2 \quad (2.1)$$

Die Tagesleistung wird dabei als Produkt des Leistungseffektes  $e$  und der Arbeitsdauer  $T$  angegeben. Diese Gleichung ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt.

Bild 2-4 Idealisierte Leistungskurve nach Winter<sup>36</sup>

<sup>34</sup> Leistungskurve nach Burkhardt dargestellt in Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966, S. 83.

<sup>35</sup> Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

<sup>36</sup> Winter, H.-J.: a.a.O., S. 84.

### 2.3.4 Kritik und Anmerkungen zu den bestehenden Leistungskurven

Betrachtet man die bestehenden Kurven im Detail, müssen zu den jeweiligen Leistungskurven verschiedene Kritikpunkte bzw. Anmerkungen angeführt werden.

#### 2.3.4.1 Kritik zur Anwendung der Arbeitsleistungskurven

Aus Sicht des Verfassers ist bei der derzeitigen Verwendung der Arbeitsleistungskurven in der Bauwirtschaft kritisch anzumerken, dass die zuvor gezeigten Bewertungsmethoden zum Leistungsrückgang undifferenziert für alle Tätigkeiten herangezogen werden.

Der Umstand, dass es keine Unterscheidung nach unterschiedlichen Tätigkeiten gibt, wäre wahrscheinlich schon zum Zeitpunkt der Entwicklung dieser Kurven kritisch zu betrachten gewesen. Da zur Zeit der Erstellung der Arbeitsleistungskurven überwiegend körperliche Arbeit erbracht wurde, könnte dieser Umstand nach Ansicht des Verfassers noch vernachlässigt werden. In der heutigen Zeit, in der sehr viele unterschiedliche Tätigkeiten auf einer Baustelle ausgeführt werden und sich damit unterschiedliche körperliche Belastungen und Beanspruchungen ergeben, erscheint es nicht mehr zielführend, den Leistungsverlauf mit nur einer generellen Kurve für sämtliche Tätigkeiten am Bau abzubilden.

Diese Vorgehensweise ist umso kritischer zu beurteilen, als dass neuere Untersuchungen bereits differenziertere Rückschlüsse zulassen. Beispielsweise finden sich bei Hofstadler<sup>37</sup> verschiedene Darstellungen<sup>38</sup> zu Einflussfaktoren für die Ermittlung des Aufwandswertes bzw. der zu erbringenden Leistung. Ebenso finden sich Untersuchungen zur Bestimmung der Beanspruchung von Bautätigkeiten bei Abdelhamid<sup>39</sup> und Landau/Rohmert<sup>40</sup>, wodurch eine Unterscheidung in leichte oder schwere körperliche Arbeit möglich wäre.

---

<sup>37</sup> Hofstadler, C.: Schwierigkeitsgrad von Schalarbeiten - Darstellung der Auswirkungen im IAD, in: Österreichische Bauzeitung, Heft 14 (2005), S.33 und Hofstadler, C.: Bauablaufplanung - Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten, in: Baumarkt und Bauwirtschaft Heft 01 (2005), S.55.

<sup>38</sup> Die überblicksmäßige Darstellung der Einflüsse auf die Leistung bzw. den Aufwandswerte erfolgte in der Dissertation in in Bild 3-1 und Bild 3-2, , auf die an dieser Stelle verwiesen wird..

<sup>39</sup> Vgl. Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.: Physiological Demands during Construction Work, in: Journal of Engineering and Management Jg.128 (2002) S. 427-437.

<sup>40</sup> Vgl. Rohmert, W.; Landau, K.: Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET), Huber, Bern [u.a.] 1979 und Landau, K.; Rohmert, W. (Hrsg.): Fallbeispiele zur Arbeitsanalyse: Ergebnisse zum AET-Einsatz, Huber, Bern 1981 sowie Rohmert, W.: AET - a new job-analysis method, in: Ergonomics, Jg.28, Nr. 1 (1985), S. 245 - 254.

### 2.3.4.2 Anmerkungen zur Arbeitsleistungskurve nach Lehmann

Zu Lehmann ist festzuhalten, dass seine Überlegungen nicht auf einer zur Leistungskurve gehörenden Untersuchung beruhen. Vielmehr ist seine schematische Darstellung das Ergebnis der Zusammenführung verschiedener medizinischer Untersuchungen.<sup>41</sup>

Im Hinblick auf den Untersuchungsaufbau dieser Arbeit sind die Überlegungen von Lehmann allerdings gut geeignet, da diese viele der grundsätzlichen Körperreaktionen erklären und eine Basis für die Methodenauswahl der Datenerhebung bilden.

In Bezug auf Lehmann ergeben sich folgende weitere Anmerkungen:

- *„Die Ausarbeitung von Lehmann bezieht sich weniger auf die Erforschung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Arbeitszeit. Er behandelt vielmehr die physiologischen Grundlagen, die in Zusammenhang mit der Leistungserbringung der Arbeit entstehen.*
- *Es ist wichtig, die in der Arbeit aufgestellten Theorien und Schlussfolgerungen mit den Erkenntnissen der heutigen Medizin und Psychologie zu vergleichen, um diese Erkenntnisse zu bestätigen oder neue Erkenntnisse zu erarbeiten.*
- *Der Kurvenverlauf ist nach der Kombination aller vorher erklärten Faktoren verständlich und kann als plausibel erklärbar angesehen werden.*
- *Die dargestellten Kurven beziehen sich auf rein körperliche Arbeit. Der Einfluss der Maschinisierung bzw. Mechanisierung der Arbeit muss noch weiter untersucht werden.*
- *Es ist auch die Frage zu beantworten, was der leistungsbegrenzende Faktor beim Zusammenwirken von Mensch und Maschine ist.*
- *Auch der Grad der Maschinisierung bzw. Mechanisierung zum Zeitpunkt der Untersuchung gibt Anlass, diesen Umstand weiter zu untersuchen und aufbauend auf die Erkenntnisse von Lehmann die Leistungskurven zu verändern.“<sup>42</sup>*

Die mangelnde Praktikabilität der Ergebnisse dieser qualitativen Kurven und die unzureichend Dokumentation der Untersuchungen, auf denen diese Arbeitsleistungskurven aufbauen, wurden auch von Rumpold angemerkt. Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass Lehmann im Gegensatz zu Winter keine über den Tag konstante Arbeitsleistung prognostizierte.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

<sup>42</sup> Schlagbauer, D.: a.a.O., S. 2-6f.

<sup>43</sup> Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 53.

### 2.3.4.3 Anmerkungen zu den Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter

Auch bei Burkhardt und Winter können verschiedene Anmerkungen gemacht werden:<sup>44,45</sup>

- ♦ Es wurden nur wenige Informationen über die Untersuchung bzw. Beobachtung von Burkhardt gefunden. Dadurch ist es nicht möglich, die Einflüsse verschiedener Randbedingungen mit in die Überlegungen einfließen zu lassen.
- ♦ Bei der Veränderung der Kurve durch Winter wurden für die vereinfachte Berechnung beeinflussende Effekte zu Beginn der Arbeit, vor und nach Pausen sowie kurz vor Ende der täglichen Arbeitstätigkeit außer Acht gelassen.
- ♦ Besonders auffällig ist in diesem Zusammenhang der starke Leistungsabfall in der letzten Stunde (Stunde 10) in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, da der Leistungswert dieser Stunde nur mehr ca. 50% des Tagesmittelwertes beträgt.

Auch die Übertragung von Daten, welche auf Basis eines Maschineneinsatzes erhoben wurden, auf Arbeiten, die überwiegend oder hauptsächlich durch den Einsatz von körperlicher Arbeit erbracht werden, ist kritisch anzumerken. Dazu wurden in einer vorhergehenden Analyse der Arbeit von Winter Folgendes erklärt:<sup>46</sup>

*„Winter nimmt anhand seiner Ausführungen im Kapitel „Ablaufplanung“ an, dass rein handwerkliche und maschinisierte Arbeitsgänge als gleichartig betrachtet werden können und verallgemeinert dadurch die Untersuchung.*

*Diesen Umstand führt Winter auf die Tatsache zurück, dass es sich beim Maschineneinsatz auf der Baustelle nicht um eine Mechanisierung, sondern um eine Maschinisierung handelt.*

*Der entscheidende Unterschied zwischen diesen beiden Umständen ist, dass die Mechanisierung gekennzeichnet ist durch einen automatisierten Betriebsablauf.*

*Die Maschinisierung bedeutet im Gegensatz dazu, dass die handwerkliche Leistung der Arbeiter durch den Einsatz von Maschinen, die hier eigentlich als größeres Werkzeug angesehen werden können, in seiner Wirksamkeit vervielfacht wird. Damit kommt es laut Winter, trotz noch so hohem Maschineneinsatz im Bauwesen, nicht zu einer Mechanisierung.“*

---

<sup>44</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S.2-22f und 2-25.

<sup>45</sup> Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.50.

<sup>46</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: a.a.O., S. 2-21.

Auch Hager weist im Zusammenhang mit der Kurve von Burkhardt auf die Problematik der Datenerhebung an Baumaschinen hin und führt insbesondere die Nichtberücksichtigung von Wartungs- noch Pfllegetätigkeiten der Maschinen an. Demnach misst er der Kurve von Burkhardt nur eine geringe Bedeutung zu.<sup>47</sup>

## 2.4 Medizinische und physiologische Grundlagen

Für die Bewertung der Belastung und Beanspruchung<sup>48</sup> der zu erbringenden körperlichen Arbeit durch die einzelnen Bauarbeiter ist es erforderlich, grundlegende Begriffe und Zusammenhänge aus der Arbeits- und Leistungsphysiologie darzustellen. Dies umfasst physiologische Kenngrößen, die zur Bewertung der Arbeit dienen.

Belastung = Ursache einer physiologischen Reaktion (Tätigkeitsausführung)  
Beanspruchung = Wirkung einer physiologischen Reaktion auf den Körper

### 2.4.1 Belastungs-Beanspruchungskonzept

Das Belastungs- und Beanspruchungskonzept von Rohmert bildet eine wesentliche Grundlage bei der Betrachtung von Arbeitstätigkeiten aus physiologischer Sicht. Der zu Grunde liegende Ansatz dieses Konzeptes trennt Ursache und Wirkung von körperlichen Reaktionen auf äußere Einflüsse. Im Rahmen dieser Überlegungen wird die Ursache als Belastung und die Wirkung als Beanspruchung verstanden.<sup>49</sup>

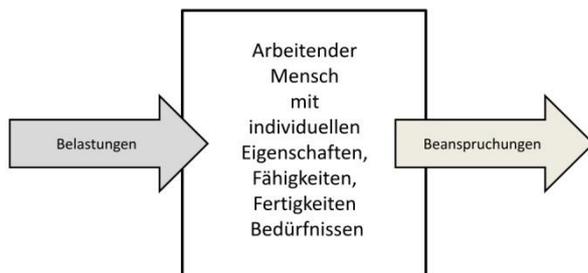


Bild 2-5 Belastungs- und Beanspruchungskonzept<sup>50</sup>

Werden zwei unterschiedliche Personen verglichen, so kann trotz gleicher Belastung, z.B. durch die Ausführung einer Arbeitstätigkeit, durch die individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten eine unterschiedliche

<sup>47</sup> Vgl. Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmassnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 74.

<sup>48</sup> Vgl. Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S.9f und Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998.

<sup>49</sup> Vgl. Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S. 9f.

<sup>50</sup> Vgl. Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S.9f.

Vergleich der vorgefundenen Beanspruchung mit dem maximalen Beanspruchungsparameter ermöglicht einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Personen

Beanspruchung und somit eine unterschiedliche körperliche Reaktionen entstehen.<sup>51</sup>

Im Aufbau der Untersuchung wird dieser Umstand berücksichtigt und im Folgenden daher zwischen Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren unterschieden.

Ebenso ist dies bei der Auswertung der zu erhebenden Daten bei unterschiedlichen Bauarbeitern zu beachten. Der direkte Vergleich eines Beanspruchungsparameters bei einzelnen Bauarbeitern ist nicht möglich sondern erfordert die Einführung einer individuellen maximalen Beanspruchungsgrenze als Vergleichsmaßstab.

#### **2.4.2 Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Belastung und Beanspruchung**

Jede körperliche Aktivität löst je nach Qualität, Quantität, Intensität und Dauer einer muskulären Beanspruchung nach einer gewissen Zeit ein Ermüdungsgefühl aus.<sup>52</sup>

Betrachtet man nun verschiedene Aktivitäten, so muss für die Ausführung der Arbeitstätigkeiten bei der Ausübung des Berufs die Forderung erfüllt sein, dass die Leistungsfähigkeit durch die Berufsausübung nur in geringem Maße herabgesetzt wird und durch die Erholungsmöglichkeiten durch Freizeit und Wochenenden gegeben ist. Da jedoch von einem Arbeiter nicht verlangt werden kann, dass er seine Freizeit ausschließlich zur Erholung heranzieht und sich im Berufsleben vollständig verausgibt, sollte auch die Arbeitsbelastung aus der Berufsausübung, betrachtet über einen Zeitraum von mehreren Tagen bis zu einer Woche, im Bereich der Dauerleistungsgrenze liegen.<sup>53,54</sup>

#### **2.4.3 Phasen der Energiebereitstellung**

Der menschliche Körper bezieht die Energie für sämtliche Aktivitäten aus dem Energieträger Adenosintriphosphat (ATP). Dieser Energieträger muss dabei den Zellen der Skelettmuskulatur in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. In den Muskelzellen selbst ist allerdings nur eine

---

<sup>51</sup> Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 und vgl. Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5. Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009.

<sup>52</sup> Vgl. Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5. Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009, S.128f.

<sup>53</sup> „Die Dauerleistungsgrenze ist in der Arbeitswissenschaft und den Sportwissenschaften diejenige Grenze, bis zu der statische oder dynamische Arbeit ohne zunehmende muskuläre Ermüdung erbracht werden kann.“ aus REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Lexikon der Betriebsorganisation, S. 59.

<sup>54</sup> Siehe auch Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. ab Seite 32.

geringe Menge ATP eingelagert, sodass die Versorgung des Muskels mit ATP-Nachschub durch das Blutkreislaufsystem aufrecht erhalten werden muss.<sup>55</sup>

Der Energieerzeugung (ATP-Produktion) kann im Körper mit oder ohne Sauerstoff erfolgen. Bei der Erzeugung mit Sauerstoff (aerob) werden je nach benötigter Energiemenge Fettsäuren und Glukose mit Hilfe des Sauerstoffs verstoffwechselt. Diese Energiebereitstellung ist für länger-dauernde und gering bis mäßig intensive Muskelaktivitäten notwendig. Bei Belastungsspitzen kann für kurze Zeit (ca. 3 Minuten) auch noch zusätzliche Energie bereit gestellt werden, welche ohne Sauerstoff (anaerob) produziert werden kann.<sup>56</sup>

Nach Pokan et al.<sup>57</sup> können drei Phasen der Energiebereitstellung für den Energiestoffwechsel unterschieden werden:<sup>58</sup>

- Phase I = aerobe Phase
- Phase II = aerob-anaerobe Übergangsphase
- Phase III = anaerobe Phase

Wesentlich für die weitere Betrachtung ist die Schwelle  $LTP_1$  (first lactate turn point)<sup>59</sup>, da bis zum Erreichen dieser Schwelle die ATP-Produktion durch die Oxidation der Fettsäure und Glykose erfolgt. Wie bereits beschrieben, ist es nur mit dieser Art der Energiebereitstellung möglich, die Muskulatur für die Ausführung von Tätigkeiten über längere Zeiträume mit der erforderlichen Energie zu versorgen. Somit wird diese Schwelle zur Definition der Dauerleistungsgrenze herangezogen.

Aerobe Energiebereitstellung:

ATP- Produktion durch Verbrennung von Fett und Glykose mit Sauerstoff

Anaerobe Energiebereitstellung :

ATP-Produktion durch Aufspaltung von Glykose

#### 2.4.4 Bestimmung der Herzfrequenz am $LTP_1$ ( $HF_{LTP_1}$ )

Die exakte Bestimmung der Herzfrequenz am  $LTP_1$  ( $HF_{LTP_1}$ ) kann nur mittels einer Spiroergometrie erfolgen, da diese sehr stark vom zu betrachtenden Individuum abhängig ist. Eine allgemeine Berechnungsformel für die Bestimmung von  $HF_{LTP_1}$  ähnlich der für die maximale Herzfrequenz bei Belastungen findet sich daher in der Literatur nicht.

Jedoch wurde für die näherungsweise Anwendung aus 7 Studien mit insgesamt 17 Untersuchungsgruppen aus verschiedenen Literaturquel-

<sup>55</sup> Vgl. Hollmann, W.; Hettinger, Th.: Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen, 3.Auflage, Schattauer, Stuttgart 1990, S. 129f und [https://www.gesundheit.gv.at/Portal.Node/ghp/public/content/Muskeln\\_Energie.html#headline11](https://www.gesundheit.gv.at/Portal.Node/ghp/public/content/Muskeln_Energie.html#headline11).

<sup>56</sup> Vgl. Hollmann, W.; Hettinger, Th.: a.a.O., S. 129-130.

<sup>57</sup> Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, S39ff in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 39–82.

<sup>58</sup> Eine graphische Darstellung der Veränderung der körperlichen Reaktionen findet sich in Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 22.

<sup>59</sup> Pokan, R. et al.: a.a.O., S. 39–82.

len eine Berechnungsformel bestimmt, die jedoch noch durch weitere direkte Untersuchungen validiert werden muss.

Es wurde im Rahmen der Datenanalyse ein hoch signifikanter Zusammenhang ( $p$ -Wert = 0,001) für die multiple Regressionsanalyse der Datenreihen  $P_{max}$ ,  $HF_{max}$  und  $HF_{LTP1}$ , welcher in der weiteren Anwendung zum Einsatz kommen soll, vorgefunden. Der Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen  $HF_{max}$  und  $P_{max}$  mit  $HF_{LTP1}$  wird durch nachfolgende Gleichung ausgedrückt:<sup>60</sup>

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max} * 0,635 + P_{max} * 0,018 \quad (2.2)$$

Die Anwendung dieses Zusammenhangs wurde im Rahmen der Datenanalyse der Baustellendaten überprüft (siehe Kapitel 6 der Dissertation<sup>61</sup>). Dabei ergab sich nur eine geringe Abweichung, weshalb diese Formel für die Berechnung der Herzfrequenz an der Dauerleistungsgrenze geeignet erscheint.

Die beiden weiteren in der Formel verwendeten Kenngrößen sind üblicherweise ebenfalls Gegenstand von Laboruntersuchungen, für sie finden sich in der Literatur auch Rechenformeln, sodass die Berechnung von  $HF_{LTP1}$  ohne Laboruntersuchungen mit einem ausreichend genauen Ergebnis angewandt werden kann.

#### 2.4.4.1 Bestimmung der maximale Herzfrequenz ( $HF_{max}$ )

Zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz findet sich bei Niederkofler<sup>62</sup> die Zusammenstellung von 11 unterschiedlichen Berechnungsmethoden. Das Ergebnis dieses Vergleichs zeigt, dass die Berechnungsmethode nach Åstrand<sup>63</sup> mit untenstehender Formel die Realität am besten für das untersuchte Kollektiv abbildet.

$$HF_{max} = 211,30 - 0,922 * \text{Alter} \quad (2.3)$$

Im Rahmen einer Studie<sup>64</sup> am HPR<sup>Graz</sup> <sup>65</sup> wurden 79 österreichische berufstätige Probanden am Fahrradergometer getestet und die Formel von Åstrand bestätigt.<sup>66</sup>

Für die weitere Anwendung wird die maximale Herzfrequenz berechnet mit

$HF_{max} = 211,33 - 0,922 * \text{Alter}$

<sup>60</sup> Die detaillierte Auswertung der Studiendaten mit der dazugehörigen statistischen Prüfung findet sich in Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 25ff.

<sup>61</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 97ff.

<sup>62</sup> Niederkofler, W.: Das Konzept der individuellen Physical Working Capacity, Dissertation KFU Graz, Graz 1997.

<sup>63</sup> Åstrand in Niederkofler, W.: Das Konzept der individuellen Physical Working Capacity, Dissertation KFU Graz, Graz 1997, S.100 mit Verweis auf Aigner, A.: Sportmedizin in der Praxis, Hollinek, Wien 1985, S. 514.

<sup>64</sup> Wultsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.: Governmental regulations for early retirement by means of energy expenditure cut offs, in: Scandinavian Journal of Work, Environment & Health (2011).

#### 2.4.4.2 Bestimmung der maximalen Leistung ( $P_{\max}$ )

Die maximale Leistung ( $P_{\max}$ )<sup>67</sup> stellt den zweiten wesentlichen Indikator für die körperliche Leistungsfähigkeit dar.<sup>68</sup>

Die zu erwartende Leistung ( $P_{\max,calc}$ ) kann für Männer aus der folgenden allgemeinen Formel bestimmt werden:<sup>69</sup>

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A \quad (2.4)$$

$$KO = 0,00714 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (2.5)$$

Hierbei sind

KO ... Körperoberfläche [m<sup>2</sup>]

W ... Gewicht [kg]

H ... Größe [cm]

A ... Alter [Jahren]

#### 2.4.5 Weitere Beanspruchungsgrenzen

In der Literatur finden sich neben der  $HF_{LTP1}$  unterschiedliche Angaben weiteren Beanspruchungsgrenzen, welche in absolute und relative unterschieden werden können. Dies ergibt sich, da für jede Person auf Grund der verschiedenen körperlichen Voraussetzungen (z.B. Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Muskulatur) individuelle Beanspruchungsgrenzen bestimmbar sind.

Demgegenüber finden sich in mehreren Regelwerken absolute Kenngrößen zur Beanspruchungseinstufung, die eine allgemeine Einstufung ohne die Berücksichtigung des Individuums zulassen.

Absolute und relative  
Beanspruchungsgrenzen

<sup>65</sup> HPR<sup>Graz</sup> – Human Performance Research Graz: Zentrum für Bewegungswissenschaften und Sportmedizinische Forschung

<sup>66</sup> Vgl. Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 40 sowie Hofmann, P. et al.: Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (1997), S. 763.

<sup>67</sup> Für die gegenständliche Untersuchung wurde diese am Fahrradergometer ermittelt.

<sup>68</sup> Vgl. Wonisch Met al.: Praxisleitlinien Ergometrie, in: Journal für Kardiologie, Nr. 15 (Suppl. A) (2008), S. 8ff.

<sup>69</sup> Vgl. Wonisch Met al.: a.a.O., S. 9.

Anteil an der maximalen Herzfrequenz ( $\%HF_{max}$ ),  
Herzfrequenz am „first lactate turnpoint“ ( $HF_{LTP1}$ ),  
Maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2,max}$ ),  
Maximaler Energieumsatz ( $EU_{max}$ )

Beanspruchungsgrenzen sind:<sup>70</sup>

- Herzfrequenzschwellenwerte<sup>71</sup>
  - ♦ Anteile an der maximalen Herzfrequenz ( $\%HF_{max}$ )
  - ♦ Herzfrequenz am „first lactate turnpoint“ ( $HF_{LTP1}$ )<sup>72</sup>
- Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2,max}$ )<sup>73</sup>,
- Maximaler Energieumsatz ( $EU_{max}$ )<sup>73</sup>.

#### 2.4.6 Außentemperatur und körperliche Leistungsfähigkeit

Einen weiteren Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit stellt die Außentemperatur dar. Es ist jedoch nicht nur die Temperatur allein, die eine zusätzliche Belastung für den Bauarbeiter darstellt, sondern das Klima insgesamt.

*„Als Klima wird der Zustand bezeichnet, der durch die Umgebungstemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Wärmestrahlung und die Windgeschwindigkeit gegeben ist.“<sup>74</sup>*

Eine besondere Problematik stellt in diesem Zusammenhang die Überhitzung des Körpers dar, wenn dieser einem ungünstigen Umgebungsklima ausgesetzt ist. Die Wärmeabgabe des Körpers erfolgt beim Menschen über drei Mechanismen, nämlich die Wärmestrahlung, die Wärmeleitung und Konvektion und die Wasserverdunstung in Form von Schweiß.<sup>75</sup>

---

<sup>70</sup> Bei der zahlenmäßigen Darstellung der Grenzwerte wurde im Rahmen der Dissertation von Schlagbauer (Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 23ff.) in absolute und relative Grenzwerte unterschieden. Auf eine Darstellung an dieser Stelle wird verzichtet, da mit dem Grenzwert des  $HF_{LTP1}$  der für die Anwendung maßgeblich Wert ausgewählt wurde.

<sup>71</sup> Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 40.

<sup>72</sup> Vgl. Pokan, R. et al.: a.a.O., S. 40 sowie Hofmann, P. et al.: Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (1997), S. 763 bzw. Wulsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.: Governmental regulations for early retirement by means of energy expenditure cut offs, in: Scandinavian Journal of Work, Environment & Health (2011) und Hofmann, P.; Tschakert, G.: Special Needs to Prescribe Exercise Intensity for Scientific Studies, in: Cardiology Research and Practice, Jg. 2011 (2011).

<sup>73</sup> Dieser Kennwert wird in der weiteren Anwendung nicht herangezogen, daher erfolgt im Rahmen dieser Veröffentlichung keine weiterführende Erklärung, Informationen finden sich in Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 27ff.

<sup>74</sup> Stark, M.: Hitzebelastung in der Papierindustrie, Dissertation KFU Graz, Graz 2008, S. 2.

<sup>75</sup> Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S.241.

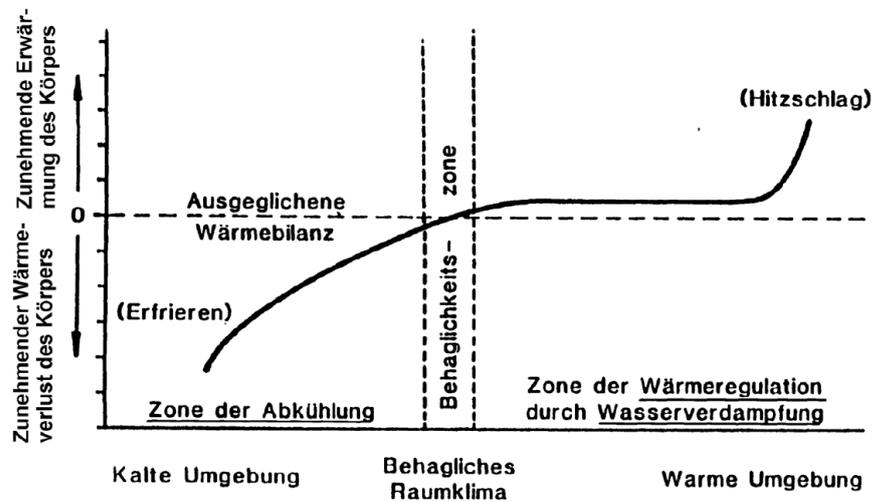


Bild 2-6 Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen<sup>76</sup>

Auf Basis dieser Überlegungen wurden von Hasse und Ehrismann verschiedene Untersuchungen durchgeführt und eine Möglichkeit zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur<sup>77</sup> entwickelt (siehe 2-7). Lehmann merkt kritisch an, dass diese Darstellung nicht als endgültige Lösung betrachtet werden kann.<sup>79</sup>

<sup>76</sup> Bruder, R.: Vorlesung Arbeitswissenschaft, Kapitel 6.1: Umgebungsbedingungen, TU Darmstadt, Darmstadt 2009.

<sup>77</sup> Die hier angesprochene Effektivtemperatur entspricht der Normal-Effektivtemperatur nach Yaglou, C. P.: Temperature, humidity, and air movement in industries: the effective temperature index, in: J. Industr. Hyg. 9, (1927) S. 297-309.

<sup>78</sup> Yaglou, C. P.: Temperature, humidity, and air movement in industries: the effective temperature index, in: J. Industr. Hyg. 9, (1927) S. 297-309 gefunden in Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 249.

<sup>79</sup> Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 251.

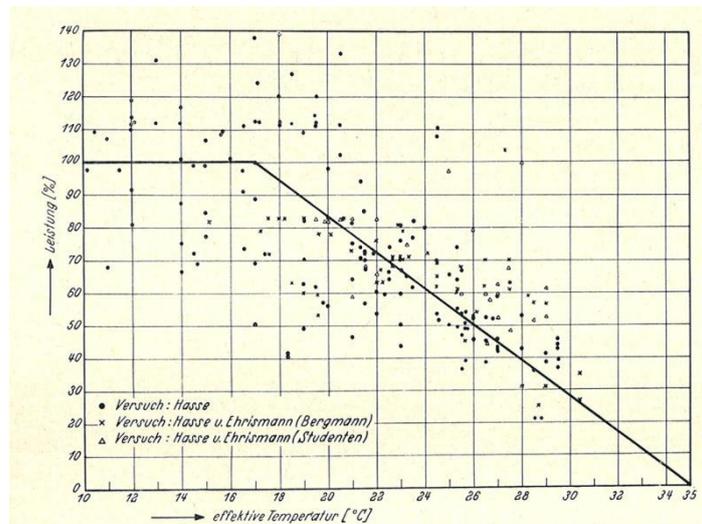


Bild 2-7 Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur<sup>80</sup>

Weitere Publikationen von Ehrismann und Hasse<sup>81</sup>, Lehmann und Szakall<sup>82</sup> sowie Mackworth<sup>83</sup> verdeutlichen den Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit haben (siehe Bild 2-7).

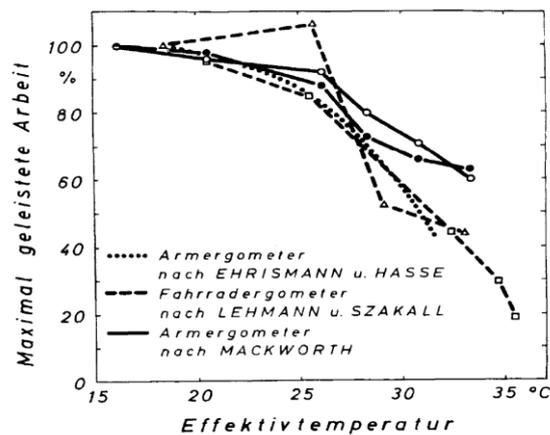


Bild 2-8 Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit<sup>84</sup>

<sup>80</sup> Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 251.

<sup>81</sup> Ehrismann O.; Hasse A.: Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in: Arch. Gewerbepath. und Gewerbehyg., 8, 611(1938) gefunden in Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 und Ehrismann, O.; Hasse, A.: Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in: International Archives of Occupational and Environmental Health, Jg.8, Nr. 5 (1938), S. 611–638..

<sup>82</sup> Lehmann, G.; Szakall, A.: Schweißverlust und Getränkeaufnahme bei Bergleuten und Hitzearbeitern, in: Arbeitsphysiologie 11,73(1940) gefunden in Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

<sup>83</sup> Mackworth, N.H.: Researches on the measurement of human performance, in: Med.Res.Council, Special Report Series No. 268, H.M.S.O., London (1950) gefunden in Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

<sup>84</sup> Bruder, R.: Vorlesung Arbeitswissenschaft, Kapitel 6.1: Umgebungsbedingungen, TU Darmstadt, Darmstadt 2009, S.11.

Diese Darstellung verdeutlicht die hohe Leistungsfähigkeit bis zum Erreichen von 25°C Effektivtemperatur, bevor ein signifikanter Abfall festzustellen ist. Die dargestellten Kurven beruhen auf Untersuchungen oberhalb der Dauerleistungsgrenze, sodass infrage gestellt werden muss, ob die Zusammenhänge auch für die Tätigkeitsausführung mit geringer Beanspruchung angewandt werden kann. Diese Ergebnisse werden auch durch die Erkenntnisse von Hettinger<sup>85</sup> unterstützt. Er wies nach, dass die Leistungsfähigkeit bei einer Effektivtemperatur von ca. 32°C um etwa 50 % reduziert wird. Weitere Untersuchungen von Wenzel / Piekarskie<sup>86</sup> liefern weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen kurzzeitiger Hitzebelastung.

Eine mögliche Referenz-Untersuchung aus dem Bauwesen findet sich lediglich bei Fetzner<sup>87</sup>. Dieser führt zu den rein arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen aus:<sup>88</sup>

*„Die Erarbeitung einer praxistauglichen Berechnungsmethode für Minderleistungen aufgrund von Kälte- und Wärmebelastung ist daher aus den Ergebnissen der Arbeitswissenschaften nicht möglich.“*

Aufgrund dieser Überlegungen führt Fetzner eigene Untersuchungen im Bauwesen durch und ermittelt insbesondere die Abhängigkeit des Aufwandswerts für Maurerarbeiten von der Temperatur. Er bestimmt an 120 Messreihen<sup>89</sup> bei der Erstellung von Kalksandstein- und Porotonmauerwerk die jeweiligen Aufwandswerte und stellt diese graphisch dar ( $Aw^{90}$  und  $Aw_{ges}^{91}$ ).<sup>92</sup>

Als weiteres Kriterium führt Fetzner den Einfluss der Windgeschwindigkeit an, in dem er die gefühlte Temperatur (TWC) aus der Temperatur und der Windgeschwindigkeit ermittelt.<sup>93</sup>

Problematisch an den Ausarbeitungen ist, dass Fetzner in seiner Arbeit keine statistischen Kennwerte, wie beispielsweise den Korrelationskoeffizienten oder den Streuungsparameter an, sodass eine Aussage über die Qualität der dargestellten Trendlinie nicht möglich ist.

Anmerkungen des Autors:  
sehr große Streuung gegenüber der Trendlinie,  
keine statistischen Kennwerte

<sup>85</sup> Hettinger T.: Muskuläre Arbeit und Klimabelastung, Klima am Arbeitsplatz, Vorträge im Rahmen der Informationstagung am 21. und 22. März 1990 in Dortmund, 1990, S. 44.

<sup>86</sup> Wenzel, H. G.; Piekarski, C.: Klima und Arbeit, 1985 gefunden in Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007.

<sup>87</sup> Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007.

<sup>88</sup> Fetzner, T.: a.a.O., S. 70.

<sup>89</sup> Eine genauere Beschreibung zum genauen Umfang einer Messreihe konnte bei Fetzner nicht gefunden werden.

<sup>90</sup> Aufwandswert der Haupt- und Nebentätigkeiten und ablaufbedingten Unterbrechungen

<sup>91</sup> Gesamtaufwandswert, der auch die persönlich bedingten Unterbrechungen mitberücksichtigt

<sup>92</sup> Fetzner, T.: a.a.O., S 170-177.

<sup>93</sup> Fetzner, T.: a.a.O., S. 184.

Aus seiner Untersuchung ergibt sich das in Bild 2-9 dargestellte Ergebnis der prozentualen Abweichung des Aufwandswertes für Mauerwerksbau vom durchschnittlichen Aufwandswert der Untersuchung.

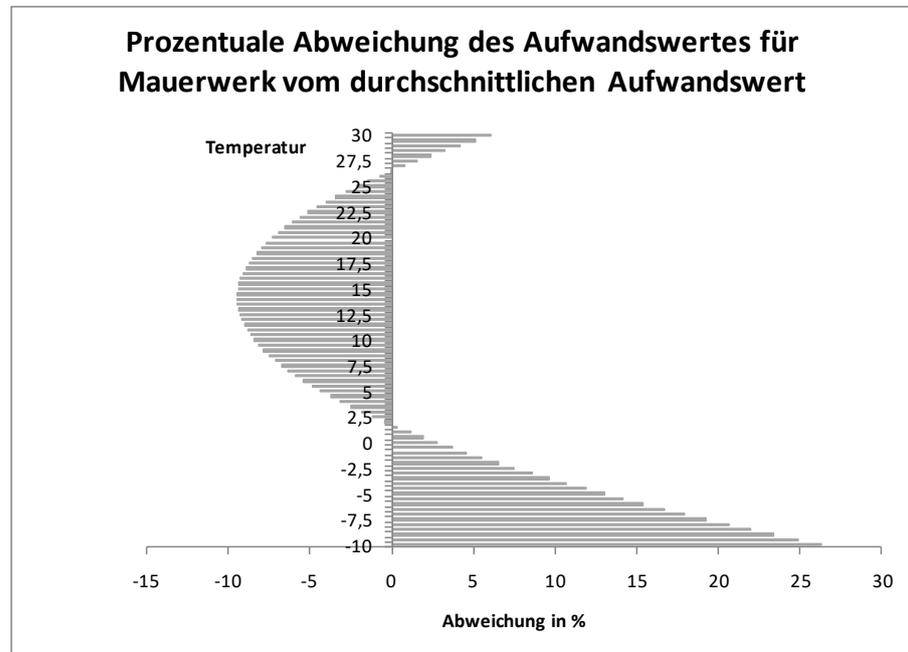


Bild 2-9 Prozentuale Abweichung des Aufwandswertes ( $A_{wges}$ ) für Mauerwerk vom durchschnittlichen Aufwandswert<sup>94</sup>

Nach Ansicht des Verfassers ist die Darstellung in Bild 2-9 sehr unglücklich gewählt, da bei dieser Darstellung der durchschnittliche Aufwandswert bei ca. 2°C und 26°C auftritt. Diese beiden Temperaturen stellen jedoch nicht den Regelfall dar und könnten so zu einer falschen Anwendung führen.

Weiters sollte auch der Einfluss der Akklimatisation<sup>95</sup>, der von Stegemann<sup>96</sup> untersucht wurde, berücksichtigt werden. Entsprechend seiner Untersuchung ist es möglich, dass innerhalb von 9 Tagen eine Anpassung an eine höhere Temperaturbelastung erfolgen. Neben Stegemann

<sup>94</sup> Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007, S 177.

<sup>95</sup> „Die Gewöhnung des menschlichen Körpers an Hitze wird als Akklimatisation bezeichnet.“ Definition entsprechend Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S. 8.

<sup>96</sup> Stegemann, J.: Leistungsphysiologie: Physiolog. Grundlagen d. Arbeit u. d. Sports ; 20 Tab., 3., Thieme, Stuttgart 1984, S.222-223.

verweisen auch weitere Literaturquellen (Babayev<sup>97</sup>, Frisancho<sup>98</sup>) auf einen Akklimatisationszeitraum von 7-12 Tagen.<sup>99</sup>

Im Rahmen der Datenauswertung<sup>100</sup> erfolgt eine Überprüfung der aufgezeichneten Klimaeinflüsse, um ergänzend zu den zuvor dargestellten Grundlagen selbst eine Aussage über den Klimaeinfluss bei den beobachteten Tätigkeiten treffen zu können.

## 2.5 Einflüsse auf die Arbeitsleistung aus baubetrieblicher Sicht

Neben den physiologischen Einflüssen sind vor allem die baubetrieblichen Einflussgrößen auf die Arbeitsleistung zu beachten. Um die tatsächlich realisierbare Arbeitsleistung zu bewerten, müssen diese Einflussfaktoren aufgenommen und bewertet werden. Dabei sind ergänzend zu den persönlichen und arbeitsbedingten Einflüssen im speziellen die jeweiligen Arbeitsbedingungen zu dokumentieren.<sup>101</sup>

*„Unter Arbeitsbedingungen und Einflussgrößen versteht man alle technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gegebenheiten, die einen Einfluss auf den Arbeitsablauf haben.“<sup>102</sup>*

Die Unterscheidung zwischen Arbeitsbedingungen und Einflussgrößen erfolgt entsprechend der Definition von REFA:

Arbeitsbedingungen sind für das aufgezeichnete Arbeitsverfahren konstant, die Einflussgrößen sind variabel.<sup>103</sup>

Hofstadler<sup>104</sup> gibt mit dem nachfolgend dargestellten Bild 2-10 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** einen Überblick über die wesentlichen, die Leistung beeinflussenden Bereiche, welche auch bei der Datenerhebung im Rahmen der Baustellenbeobachtung Berücksichtigung finden. Eine weitere Aufzählung von Einflüssen findet sich bei Car<sup>105</sup>, wenn auch diese nicht so detailliert dargestellt wird.

<sup>97</sup> Babayev, A.: Some aspects of man's acclimatization to hot climates, in: World Meteorological Organization (Hrsg.), Proceedings of the Symposium on Climate and Human Health, Volume 2, Leningrad, Russia 1986, S. 125 ff.

<sup>98</sup> Frisancho, R.: Human Adaptation: A Functional Interpretation, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI 1991.

<sup>99</sup> Vgl. Stark, M.: Hitzebelastung in der Papierindustrie, Dissertation KFU Graz, Graz 2008, S.4.

<sup>100</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 151-153

<sup>101</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 13ff.

<sup>102</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 17.

<sup>103</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 3 Arbeitsgestaltung, Carl-Hanser, München 1984, S. 18.

<sup>104</sup> Hofstadler, C.: Bauablaufplanung - Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten, in: Baumarkt und Bauwirtschaft Heft 01, 2005, S.55.

<sup>105</sup> Car, P.: Messung und Analyse von Produktivität auf Baustellen, Diplomarbeit TU Wien, 2000, S.23.

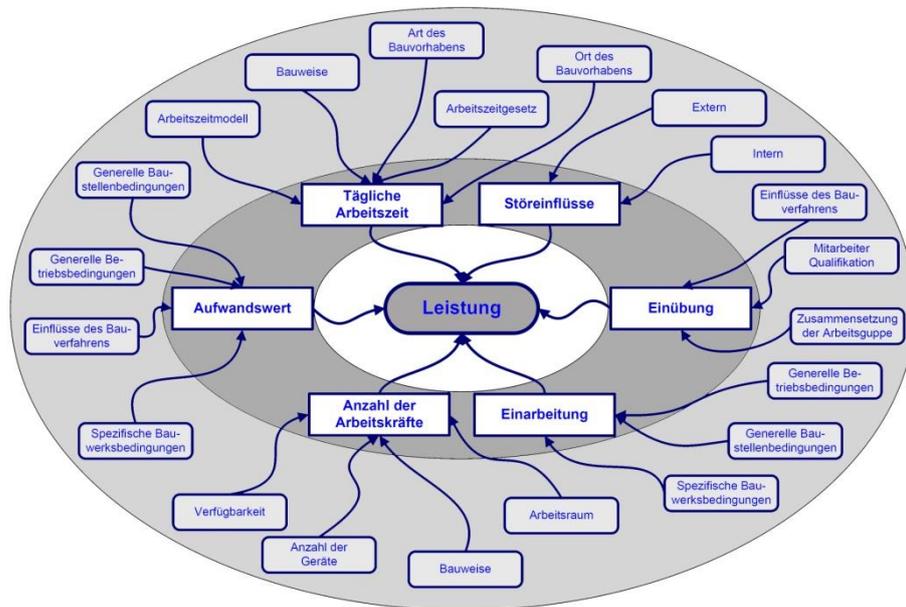


Bild 2-10 Einflussbereiche auf die Leistung nach Hofstadler<sup>106</sup>

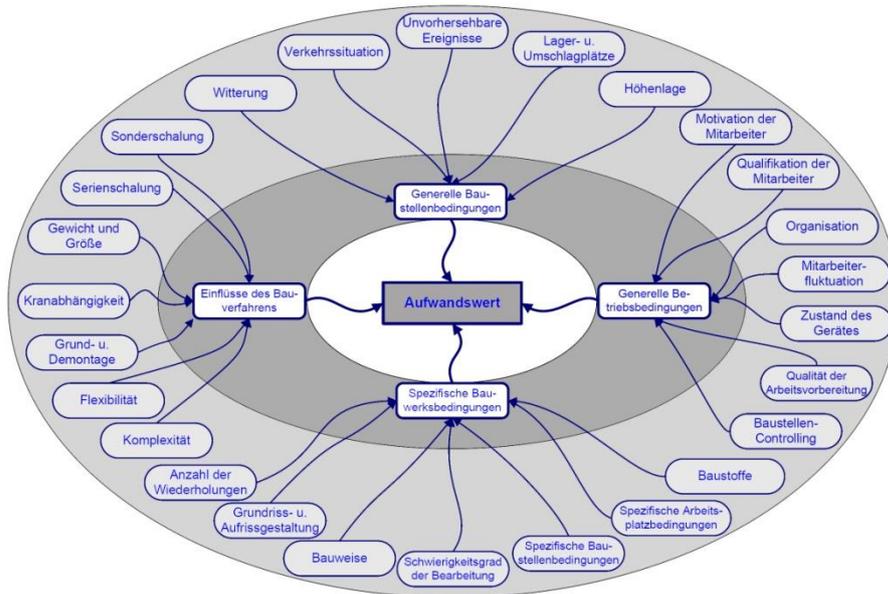
In der oben stehenden Abbildung sind die sechs Einflussbereiche auf die Leistung, welche bereits in der Arbeitsvorbereitung berücksichtigt werden sollten, dargestellt.

Bei der Anwendung der derzeitigen Arbeitsleistungskurven wird lediglich auf die Bereiche „Tägliche Arbeitszeit“ und „Aufwandswert“ eingegangen. Dabei erfolgt die Ermittlung eines Verlustfaktors für den Aufwandswert ausschließlich auf Basis der täglichen Arbeitszeit.<sup>107</sup>

In einer weiteren Darstellung betrachtet Hofstadler die Einflüsse auf den Aufwandswertes eingehender.

<sup>106</sup> Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, S. 277.

<sup>107</sup> Vgl. Vygen, K., Schubert, E., Lang, A., Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008, S 487ff.

Bild 2-11 Einflussbereiche auf den Aufwandswert nach Hofstadler<sup>108</sup>

In Bezug auf den Aufwandswert werden nachfolgende Einflussbereiche aufgeführt: „Generelle Baustellenbedingungen“, „Generelle Betriebsbedingungen“, „Spezifische Bauwerksbedingungen“ und „Einflüsse des Bauverfahrens“.

Eine direkte Verbindung dieser Einflussbereiche zur Anwendung der bestehenden Arbeitsleistungskurven konnte nicht vorgefunden werden, sodass diese Einflüsse aktuell noch zusätzlich berücksichtigt werden müssen.

Bei der Erstellung des Untersuchungsdesigns für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve wurden die Faktoren „Witterung“, „Organisation“, „Motivation der Mitarbeiter“ und „Mitarbeiterfluktuation“ berücksichtigt. Festzuhalten ist, dass mit Ausnahme des Witterungseinflusses, auf die subjektive Wahrnehmung der Beobachter und auf Befragungen der Baustellenführungskräfte zurückgegriffen werden muss.

Durch die Auswahl der Baustellen konnte der Untersuchungsgegenstand soweit eingegrenzt werden, dass weitere Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die „Grund- und Aufrissgestaltung“, die „Bauweise“, der „Schwierigkeitsgrad“ oder die „Höhenlage“ dadurch berücksichtigt wurden.<sup>109</sup>

<sup>108</sup> Hofstadler, C.: Schwierigkeitsgrad von Schalarbeiten - Darstellung der Auswirkungen im IAD, in: Österreichische Bauzeitung, Heft 14 (2005), S.33.

<sup>109</sup> Damit können die nachfolgend präsentierten Daten für ähnliche Projekte ohne Adaption herangezogen werden. Für Projekte mit deutlich abweichenden Randbedingungen sollten analog zur Anwendung der bestehenden kurven Adaptionen vorgenommen werden.

### 3 Systematik der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve

Bevor im Weiteren auf die Details der Datenerhebung und Anwendung eingegangen wird, soll zum allgemeinen Verständnis die zu Grunde liegende Systematik für die Leistungsbewertung erläutert werden.

Mit der erarbeiteten Systematik ist es möglich, die durch die Arbeitsausführung entstehende physiologische Beanspruchung in die Leistungsbewertung zu integrieren und damit eine Veränderung der Leistungsfähigkeit zu prognostizieren bzw. zu plausibilisieren. Im Rahmen der Anwendung werden dabei zwei Zustände miteinander verglichen:

- „ursprünglicher“ Zustand: dieser stellt die Ausgangssituation der Betrachtung dar und bildet den, auf den Ausschreibungs- und Angebotsunterlagen sowie allfälligen bereits eingearbeiteten Korrekturen basierenden Zustand der Arbeitszeit sowie und -abfolge Tätigkeitsverteilung dar. Definiert wird hierbei der/die zu betrachtende/n Arbeiter (persönliche Daten), die tägliche Arbeitszeit bzw. Zeit auf der Baustelle, die Verteilung von Tätigkeits- und Unterbrechungszeiten am Arbeitstag (Tätigkeitsprofil) und der dazugehörige Leistungswert der Tätigkeiten (Leistungswerte Tätigkeiten).
- „veränderter“ Zustand: dieser stellt das Ergebnis verschiedener Adaptionen und Veränderungen dar, welche im Rahmen der Anwendung berücksichtigt werden. Die Adaptionen und Veränderungen umfassen dabei die tägliche Arbeitszeit, die Pausenanordnung, die Verteilung von Tätigkeits- und Unterbrechungszeiten am Arbeitstag und in speziellen Fällen auch die Leistungswerte, wenn Tätigkeiten gänzlich verändert auszuführen sind.

Für die Anwendung ist wesentlich, dass es zwei unterschiedliche Bereiche gibt:

- Bereiche „gemeinsam“<sup>110</sup> festzulegender Werte, für
  - ◆ die Tätigkeitsverteilung am betrachteten Arbeitstag
  - ◆ die Tätigkeitsabfolge im „ursprünglichen“ und „veränderten“ Zustand
  - ◆ den Aufwandswert im ursprünglichen geplanten Zustand

---

<sup>110</sup> Wie z.B. auch bei der Erstellung von Aufmaßunterlagen im Rahmen der Rechnungslegung (Vgl. ÖN B2110:2013 Pkt. 8.2.3) sollte auch bei der Festlegung der wesentlichen Eingangsparameter vor der Anwendung der Berechnungssystematik ein Einverständnis darüber hergestellt werden, damit diese Parameter nicht entsprechend des gewünschten Ergebnisses ausgewählt werden, sondern eine realitätsnahe Abbildung erfolgt.

- ◆ die physiologischen Angaben der/des zu bewertenden Bauarbeiter/s
- ◆ die tägliche Arbeitszeit in den Zuständen „ursprünglich“ und „verändert“
- Bereich anzuwendender Werte auf Basis der durchgeführten Untersuchungen, für
  - ◆ die Belastungs- und Beanspruchungskennwerte der Tätigkeiten
  - ◆ die aus den persönlichen Daten resultierenden Kenngrößen
  - ◆ die aus den festgelegten Leistungswerten und Tätigkeitsprofil bestimmten Netto-Leistungswerte für die einzelnen Tätigkeiten

Im Zuge der Anwendung können nun folgende Fälle dargestellt und miteinander verglichen werden:

- Verkürzung der Arbeitszeit
- Verlängerung der Arbeitszeit
- Veränderung des Arbeitsablaufes durch zusätzliche Unterbrechungszeiten

Damit umfassen die Bewertungsmöglichkeiten die wesentlichen Änderungen im Bauablaufprozess. Eine Veränderung der Leistungsansätze bei gleichbleibenden Tätigkeiten sollte vermieden werden, wenn nicht ein komplett neuer Ansatz für die Leistung auf Grund neuer Tätigkeiten gewählt werden muss, da die Anpassung mit Hilfe des Tätigkeitsprofils möglich ist.

### **3.1 Systematik zur tätigkeits- und personenabhängigen Ermittlung der Leistungsveränderung**

Die Systematik zur tätigkeits- und personenabhängigen Ermittlung der Leistungsveränderung basiert auf einem neuen ganzheitlichen Ansatz<sup>111</sup> zur Untersuchung von Arbeitsabläufen, um neben der bisher verfügbaren Informationen auch die Veränderungen der Baustellensituation und des Baustellenumfeldes zu berücksichtigen.

---

<sup>111</sup> Die bisherigen Untersuchungen beschränken sich zumeist auf die Betrachtung von Tätigkeit und Leistung oder Beanspruchung und Tätigkeit. Im Zuge der ganzheitlichen Betrachtungen werden Tätigkeit, Beanspruchung und Leistung kombiniert betrachtet und so weiterführende Erkenntnisse gewonnen.

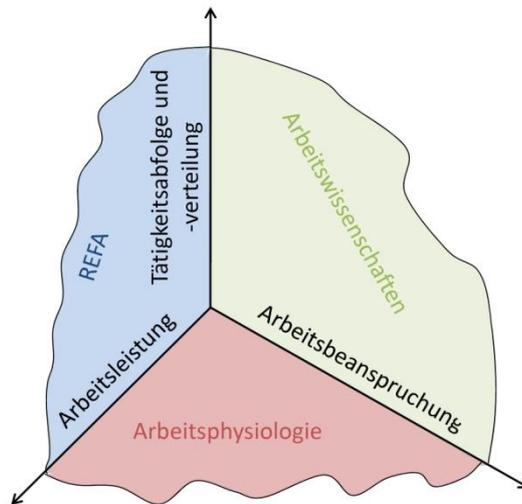


Bild 3-1 Darstellung der Untersuchungsbereiche

Dabei muss ergänzend zu den bestehenden Überlegungen auf die individuelle Leistungsfähigkeit der Bauarbeiter und den Umstand der stark differenzierenden Beanspruchungen der unterschiedlichen Aufgabenbereiche eingegangen werden.

### 3.1.1 Berücksichtigte Einflüsse in der der Leistungsänderungsermittlung

Bei der Ermittlung der Leistungsänderung werden zusätzlich zur täglichen Arbeitszeit folgende Eingangsparameter berücksichtigt und sind als Eingangskennwerte erforderlich

- die persönlichen Kenngrößen der Person (Alter, Gewicht, Körpergröße), um die Individualität des Bauarbeiters zu berücksichtigen,
- die Beanspruchungsparameter der zu erbringenden Tätigkeiten, um die Beanspruchungen der unterschiedlichen Tätigkeiten zu berücksichtigen,
- das Tätigkeitsprofil des Arbeitstages, um die Tätigkeitsabfolgen am Arbeitstag einbeziehen zu können,
- die Leistungswerte der Tätigkeiten, um die Gesamtarbeitsleistung am Arbeitstag aus der Kombination einzelner zu erbringenden Tätigkeiten zu bewerten.

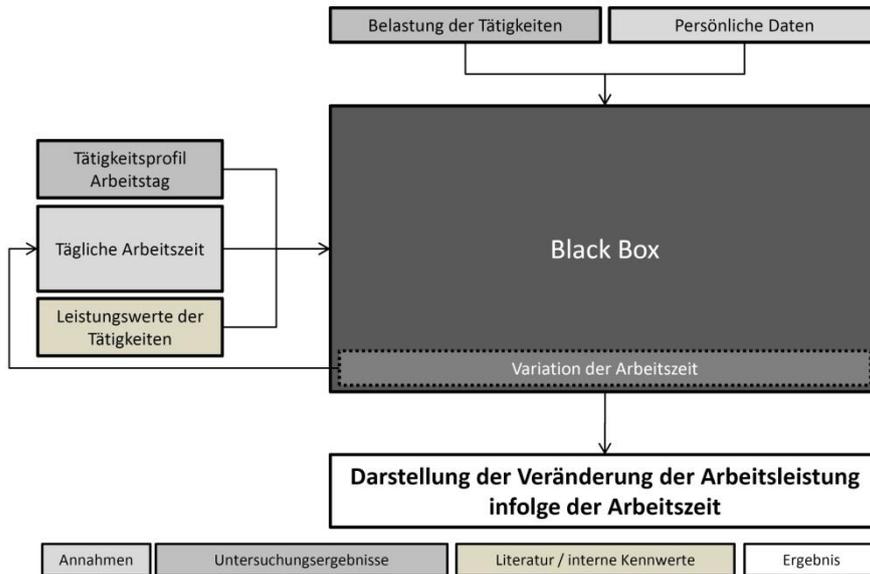


Bild 3-2 Systematik der Leistungsverlustermittlung

In Bild 3-2 ist das Zusammenwirken der Eingangsparameter in die sogenannte „Black Box“ dargestellt.

### 3.1.2 Zusammenhang der Eingangsparameter mit der Leistungserbringung

Nachfolgend werden die Zusammenhänge der Eingangsparameter mit der Arbeitsleistung vorgestellt, um danach die Abläufe innerhalb der Black Box beschreiben zu können.

#### 3.1.2.1 Tägliche Arbeitszeit

Die tägliche Arbeitszeit stellt wie bei den bestehenden Arbeitsleistungskurven den ersten und wesentlichsten Eingangsparameter dar.

Infolge der jeweiligen Arbeitszeit ergibt sich ein Verhältnis zwischen den zu erbringenden Tätigkeiten zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe (z.B.: Errichtung einer Außenmauer) und den Pausenzeiten sowie auch zu den für den allgemeinen Bauablauf notwendigen Tätigkeiten (z.B.: „Herrichten“ zu Arbeitsbeginn und „Aufräumen“ am Ende des Arbeitstages). Diese Zusammenhänge werden im Rahmen des Tätigkeitsprofils abgebildet.

Ebenso ergibt sich aus der täglichen Arbeitszeit ein die Leistungsfähigkeit begrenzender Faktor in Form des maximalen Energieumsatzes in Abhängigkeit der Arbeitszeit, der bei der Bestimmung der Leistung im Falle einer Grenzwertüberschreitung berücksichtigt werden muss.

### 3.1.2.2 Persönliche Daten

Für die Bestimmung der individuellen körperlichen Leistungsfähigkeit sind die Kenntnisse von Geschlecht, Alter, Gewicht, Körpergröße sowie die Herzfrequenzschwellenwerte und die Werte der Sauerstoffaufnahme erforderlich.

### 3.1.2.3 Belastung und Beanspruchung der Tätigkeiten

Die nächste Gruppe von Eingangsparametern sind die relativen Beanspruchungen der einzelnen auszuführenden Tätigkeiten.

Die Darstellung der relativen Beanspruchung erfolgt dabei durch die Ermittlung einer relativen Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeit im Verhältnis zu einer individuellen Herzfrequenzschwelle unter Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren wie Körperbau und Vorbelastung<sup>112</sup> am jeweiligen Arbeitstag.

Hierfür stehen derzeit in der Literatur keine Daten zur Verfügung. Daher wurden im Zuge dieser Arbeit für den Bereich der Mauerwerksarbeiten die erforderlichen Daten erhoben.

### 3.1.2.4 Tätigkeitsprofil des Arbeitstages

Da für die Leistungsermittlung neben der Art der Tätigkeit auch die Abfolge der Tätigkeiten eine entscheidende Rolle spielt, ist es erforderlich, den Arbeitsablauf während des Arbeitstages im Detail festzulegen.

Aus diesem Tätigkeitsprofil kann somit, in Kombination mit den Beanspruchungskennwerten, die oben erwähnte Vorbelastung jeder einzelnen Tätigkeit ermittelt werden.

Das Tätigkeitsprofil kann dabei aufgrund der Erfahrung von Bauleitern oder Polieren abgeschätzt oder durch Baustellenbeobachtungen – wie im Fall dieser Arbeit – bestimmt werden.

### 3.1.2.5 Leistungswerte für Tätigkeiten

Als letzter Eingangsparameter müssen die Leistungswerte für die zu erbringenden Arbeiten herangezogen werden. Bei diesen muss es sich um Netto-Leistungswerte<sup>113</sup> handeln. Dies ist notwendig, da die weiteren

---

<sup>112</sup> Die Vorbelastung resultiert aus den vor der betrachteten Tätigkeit durchgeführten anderen Tätigkeiten. Die Abfolge der Tätigkeiten wird dabei durch das Tätigkeitsprofil des Arbeitstages festgelegt.

<sup>113</sup> Der Netto-Leistungswert stellt den Leistungswert für eine betrachtete Tätigkeitsgruppe oder Tätigkeitskategorie dar. In diesem sind weder Nebentätigkeiten noch Pausen oder Unterbrechungen enthalten. Die Ermittlung dieser Netto-Leistungszeiten wird in Kapitel 3.2 aufgezeigt, um neben den hier dargestellten und eigenen Messwerten auch Literaturkennwerte verwenden zu können.

Zeiten, wie z.B. Verteilzeiten oder Wartezeiten, die üblicherweise in Tabellenwerken<sup>114</sup> bei der Angabe von Leistungswerten inkludiert sind, in diesem Fall im Tätigkeitsprofil des Arbeitstages Eingang finden.<sup>115</sup>

### 3.1.3 Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box

Entsprechend der Zusammenhänge der Eingangsparameter mit der Leistung wurde das in Bild 3-3 dargestellte Berechnungsmodell entwickelt.

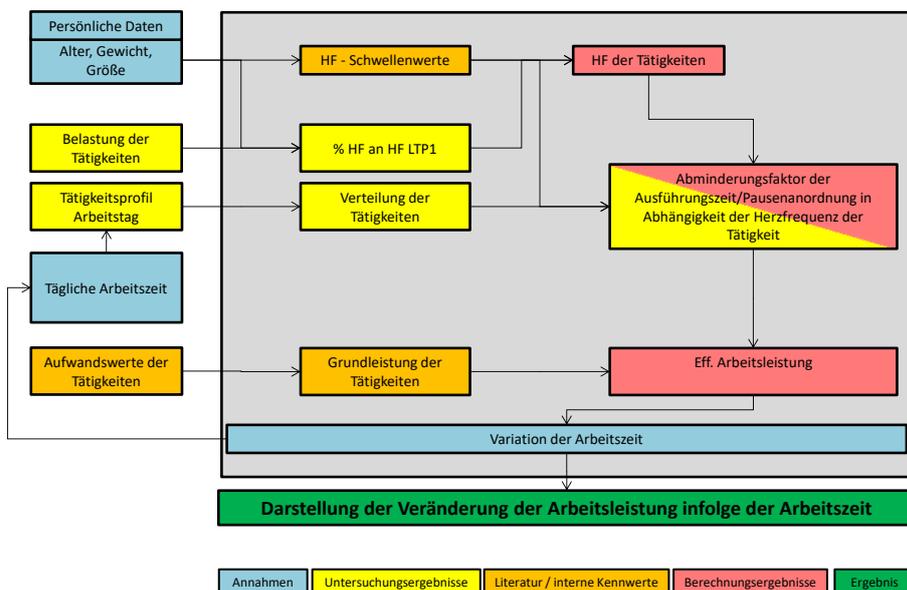


Bild 3-3 Systematik der Leistungsverlustermittlung mit der detaillierten Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box

In der Black Box werden folgende Arbeitsschritte auf Basis der Eingangsparameter abgearbeitet:

- Auf Basis der persönlichen Daten werden die Herzfrequenzschwellenwerte und die maximale Herzfrequenz ermittelt. Stehen bei den Personen, für die die Leistungsänderung prognostiziert werden sollen, Laboruntersuchungen zur Verfügung, können diese stattdessen herangezogen werden.

<sup>114</sup> Quellen für Leistungswerte sind z.B.: Plümecke, K. ; Kuhne, V.: Preisermittlung für Bauarbeiten, 26. Auflage, Müller, Köln 2008, Auer, H.: Kalkulation Hochbau: Baumeisterarbeiten, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 2004, Levsen, P. ; Zahn, E.: Hochbau, 7. Auflage, Schiele & Schön, Berlin 1973, Lugner, R; Stimpfl, H. ; Lenz, G.: Richtlinien, Zeitaufwand, Materialbedarf für die Kalkulation im Hochbau, 13. Auflage, Lugner, Wien 1983, Olesen, G.: Kalkulationstabellen Hochbau: Hochbau, Erdarbeiten, Rohrleitungen, Aussenanlagen, 11. Auflage, Schiele und Schön, Berlin 1994 oder Autorensgemeinschaft Hochbau: Handbuch Arbeitsorganisation Bau, Heft 1.06 Mauerarbeiten Richtzeiten, ztv-Verlag 1981.

<sup>115</sup> Vgl. Heck, D.; Schlagbauer, D.: Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven in Jehle, P.: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, Dresden 2011, S. 129-162.

- Mit Hilfe von Laboruntersuchungen ist es möglich, den Zusammenhang zwischen dem Herzfrequenz- und dem Energieumsatzverlauf herzustellen.
- Aus dem Tätigkeitsprofil und der täglichen Arbeitszeit am zu betrachtenden Arbeitstag ergibt sich die Vorbelastung der jeweiligen Tätigkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt.
- Auf Basis dieser Daten kann die Herzfrequenz einer Tätigkeit bei der Durchführung von einer bestimmten Person in Abhängigkeit der jeweiligen Vorbelastung bestimmt werden. Für diese Berechnungen bieten Untersuchungsergebnisse für den Bereich der Mauerwerksarbeiten eine Datengrundlage.

Die Ermittlung ergibt sich aus der Zusammenführung der relativen Beanspruchungskennwerte der Tätigkeiten (z.B.: % HF<sub>max</sub>) in Abhängigkeit der Vorbelastung und der individuellen maximalen Herzfrequenz.

- Somit kann zu jedem Zeitpunkt des Arbeitstages die Herzfrequenz bestimmt und ein Herzfrequenzverlauf dargestellt werden.
- Im nächsten Schritt erfolgt die Überprüfung der Herzfrequenz der Tätigkeiten in Bezug auf die Individuelle Dauerleistungsgrenze. In diesem Fall ausgedrückt durch den Wert HF<sub>LTP1</sub>.
- Ergeben sich hierbei Überschreitungen, so sollten vor der jeweiligen Überschreitung Pausen vorgesehen werden.
- Können auf Grund der betrieblichen Abläufe oder der Art der Tätigkeit keine Pausen vorgesehen werden, so sind Abminderungsfaktoren für die Leistung infolge der Überschreitung der Herzfrequenz-Dauerleistungsgrenze oder der Energieumsatz-Dauerleistungsgrenze zu bestimmen.<sup>116</sup>
- Den Abschluss stellt die Leistungsermittlung dar. Hierfür werden die Zeiten der Haupttätigkeiten mit den Netto-Leistungswerten multipliziert und die zuvor bestimmten Abminderungsfaktoren berücksichtigt. Daraus ergibt sich die effektive Brutto-Leistung des Arbeitstages aufgrund der gewählten Arbeitszeit und der Verteilung der Tätigkeiten.

Um nun den Leistungsverlust von längerer oder kürzerer Arbeitszeit zu ermitteln, sind die zuvor dargestellten Berechnungsschritte erneut für eine andere tägliche Arbeitszeit durchzuführen und miteinander zu vergleichen.

---

<sup>116</sup> Im Zuge der Datenerhebung im Bereich der Mauerwerks- und Betonierarbeiten konnten hierzu noch keine Datengrundlagen geschaffen werden, da bei beiden Arten von Arbeiten bei hoch belastenden Tätigkeiten entsprechende Pausen möglich waren.

### 3.2 Bestimmung der Netto-Leistungswerte aus Brutto-Leistungswerten der Untersuchung bzw. der Literatur

Für die weitere Anwendung im Rahmen der Systematik der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung ist eine genaue Betrachtung der zuvor dargestellten Aufwandswerte notwendig.

Dies ist erforderlich, da in den unterschiedlichen angeführten Literaturwerten und auch in den selbst erhobenen Aufwandswerten weitere Zeiten für Nebentätigkeiten und Unterbrechungen enthalten sind. Dies zeigen beispielhaft auch die ergänzenden Erklärungen zu den Aufwandswerten der ARH:

- *„Informieren über die technische Ausführung der zugewiesenen Arbeit.*
- *Aufnehmen der Steine vom Zwischenstapel sowie Transportieren zur Verwendungsstelle bis einschließlich achtem Obergeschoß.*
- *Herstellen von Mörtel bzw. Aufbereiten von Fertig- oder Dünnbettmörtel sowie Transportieren zur Verwendungsstelle bis einschließlich achtem Obergeschoß.*
- *Befördern, Aufstellen und Umsetzen von Betriebsmitteln, Geräten und Gerüstteilen, die für die beschriebenen Arbeitspositionen erforderlich sind, soweit sie nicht zur Baustelleneinrichtung gehören.*
- *Einmessen bzw. Anlegen von Wänden, Öffnungen, Aussparungen, Schlitzen u.ä. nach den gegebenen Maßen.*
- *Einhalten des Fertig- oder Schichtmaßes, ausgehend vom gegebenen Meterriß.*
- *Angleichen verschiedener Mauerwerksarten.*
- *Reinigen der Rauch- und Entlüftungsrohre von heruntergefallenem Restmaterial.*
- *Reinigen der Betriebsmittel, Geräte, Maschinen und Gerüste nach jedem Gebrauch.*
- *Aufschaukeln der Stein- und Mörtelreste (Grobreinigen) je Raum unmittelbar nach Fertigstellung der Arbeit.*
- *Abtransport des noch verwendungsfähigen Materials innerhalb des Kranbereiches.*

- *Auf- und Abbauen von inneren Arbeitsgerüsten bis 2 m Höhe und äußeren Zwischengerüstlagen bis 2 m Belagsabstand und Transportieren innerhalb des Kranbereiches.“ 117*

Für die weitere Anwendung ist es erforderlich, den Brutto-Aufwandswert in einen Netto-Aufwandswert zu überführen, da die weiteren zuvor dargestellten Zeiten ausschließlich mit Hilfe des Tätigkeitsprofils berücksichtigt werden.

### 3.2.1 Bestimmung der Netto-Aufwandswerte aus den Baustellenbeobachtungen

Für die Bestimmung der Netto-Aufwandswerte werden neben den Leistungsaufzeichnungen noch die Tätigkeitsaufzeichnungen aus den Datenerhebungsbögen benötigt. Die Ermittlung des Netto-Aufwandswertes erfolgt dabei nach folgendem Schema:

- Ermittlung des Brutto-Aufwandswertes ( $AW_B$ ) für einen Beobachtungsabschnitt
- Ermittlung des Anteils der Tätigkeitszeit der zu bestimmenden Haupttätigkeit ( $AT_{HT,MW}$ ), in diesem Fall der Tätigkeitsgruppe „Mauerwerksarbeiten“
- Berechnung des Netto-Aufwandswertes ( $AW_N$ ) durch Multiplikation des Brutto-Aufwandswertes ( $AW_B$ ) mit dem Anteil der Tätigkeitszeit ( $AT_{HT,MW}$ ) entsprechend nachfolgender Gleichung:

$$AW_N \left[ \frac{Std}{m^3} \right] = AW_B \left[ \frac{Std}{m^3} \right] * AT_{HT,MW} [\%] \quad (3.1)$$

Durch Anwendung dieses Vorgehens auf die Beobachtungsergebnisse ergibt sich das in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellte Bild:

Tabelle 3-1 Brutto- und Nettoaufwandswerte der auswertbaren Datenreihen (N=55)<sup>118</sup> für die Bruttoarbeitszeit

	Brutto-Aufwandswert	Netto-Aufwandswert
	[Std/m <sup>3</sup> ]	[Std/m <sup>3</sup> ]
Mittelwert	4,01	2,01
Standardabweichung	2,18	1,12
Median	3,08	1,39

<sup>117</sup> Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984, Vorbemerkungen unter Pkt. 6.02 zu Mauerarbeiten mit großformatigen Steinen.

<sup>118</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 256-257

Durch den verringerten Datenumfang<sup>119</sup> und die unterschiedliche Betrachtungsweise ergibt sich beim Vergleich der Median-Aufwandswerte aus und den Ergebnissen der Baustellenuntersuchungen (Dargestellt im Kapitel 6 der Dissertation<sup>120</sup> in den Tabellen 6-48 und 6-46) eine Abweichung von ca. 0,5 Std/m<sup>3</sup>.

Netto-Aufandswert= 1,39  
Std/m<sup>3</sup>

Netto-Leistungswert= 0,72  
m<sup>3</sup>/Std

Die dort angegebenen Zeiten beziehen sich jedoch auf die Netto-Arbeitszeit, somit sind die jeweiligen Vormittags- und Mittagspausen nicht berücksichtigt. Um diese Werte mit dem Ergebnis aus der Literatur vergleichen zu können, muss folgende Transformation angewandt werden:

$$AW_{Brutto,Bruttoarbeitszeit} = AW_{Brutto,Nettoarbeitszeit} * \frac{AZ_{Brutto}}{AZ_{Netto}} \quad (3.2)$$

Durch Einsetzen des Medianes des Netto-Aufandswertes aus in Glg. (3.2) ergibt sich ein annähernd übereinstimmendes Ergebnis:

$$AW_{Brutto,Bruttoarbeitszeit} = 3,08 * \frac{10}{9} = 3,42 \left[ \frac{Std}{m^3} \right] \quad (3.3)$$

Für die weitere Anwendung kann somit der Median des Netto-Aufandswertes oder Netto-Leistungswertes herangezogen werden.

### 3.2.2 Bestimmung der Netto-Aufandswerte aus den Literaturkennwerten

Ebenso wie aus den eigenen Baustellenbeobachtungen, kann für die Bestimmung des Netto-Aufandswertes der Brutto-Aufandswert aus der Literatur herangezogen werden.

Die Bestimmung des Netto-Aufandswertes für die Mauerwerksarbeiten ( $AW_{N,MW}$ ) wird durch die Multiplikation des Literatur-Aufandswertes ( $AW_{B,MW}$ ) mit dem Anteil der Haupttätigkeiten (Anteil HT) sowie der Multiplikation mit der tägliche Zeit auf der Baustelle ( $T_{Baustelle}$ ) und Division durch die täglichen Arbeitszeit ( $T_{Arbeit}$ ) ermittelt:<sup>121</sup>

$$AW_{N,MW} = AW_{B,MW} * Anteil HT * \frac{T_{Baustelle}}{T_{Arbeit}} = \left[ \frac{Std}{m^3} \right] \quad (3.4)$$

Der Brutto-Aufandswert für die Gleichung (3.4) entstammt beispielsweise den ARH-Tabellen<sup>122</sup>. Der Anteil der Haupttätigkeitszeit kann aus

<sup>119</sup> Umfang des verringerten Datensatzes: 55 einzelnen Leistungswerte von Bauarbeitern mit Tätigkeitsanalyse; gegenüber 136 Leistungsaufzeichnungen bei allen beobachteten Bauarbeitern.

<sup>120</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S.181f.

<sup>121</sup> Vgl. Heck, D.; Schlagbauer, D.: Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven in Jehle, P.: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, Dresden 2011, S. 129-162.

<sup>122</sup> Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984.

der Datenauswertung (siehe Tabelle 5-13) herangezogen werden. Mit Hilfe dieser Werte ergibt sich:

$$AW_{N,MW} = 3,50 * 35,93 \% * \frac{10}{9} = 1,397 \left[ \frac{Std}{m^3} \right] \quad (3.5)$$

Nach dieser Rechenoperation entspricht der Nettoaufwandswert aus der Literatur nahezu den Ergebnissen der Datenauswertung dieser Arbeit.

## 4 Datenerhebung und Untersuchungsablauf

Entsprechend der zuvor beschriebenen Systematik werden in diesem Kapitel die Datenerhebung und die dafür erforderlichen Untersuchungen zur tätigkeitsbezogenen Leistungsverlustbestimmung dargestellt.

Ein Überblick über die anwendbaren Datenerhebungs- und Untersuchungsmethoden wurde im Rahmen der Dissertation<sup>123</sup> vorgestellt. Dort erfolgte auch eine Auswahl in Hinblick auf ihre Anwendungstauglichkeit, die Beeinflussung der Bauabläufe und weitere, die Ergebnisse der Datenerhebung verfälschende Einflüsse. Daraus ergab sich schließlich der hier vorgestellte endgültige Versuchsaufbau für die Datenerhebung.

### 4.1 Grundlagen und Begriffe der Arbeitsablaufbeobachtung

Die in der Wirtschaft gängigste Untersuchungsmethode für Arbeitsablaufbeobachtungen ist jene nach REFA.<sup>124</sup> Aufbauend auf diese Systematik erfolgt eine Modifikation der Klassifizierung, um die Datenerhebung an die Erfordernisse der vorliegenden Arbeit anzupassen.

#### 4.1.1 Gliederung des Arbeitsablaufes nach REFA

REFA teilt für Beobachtungen den Arbeitsablauf in Ablaufabschnitte ein und unterscheidet diese wie in Bild 4-1 dargestellt:<sup>125</sup>

<sup>123</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012

<sup>124</sup> Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V., Darmstadt: Das Ziel von REFA ist die Steigerung der Wirtschaftlichkeit bzw. Wettbewerbsfähigkeit und der weiteren Humanisierung der Arbeit. Um dieses Ziel zu erreichen, wird das Fachwissen durch Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen, fachwissenschaftlichen Tagungen sowie Fachzeitschriften, Bücher und Software verbreitet. Speziell für das Bauwesen steht die Schriftenreihe REFA in der Baupraxis zur Verfügung.

<sup>125</sup> REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 13f.

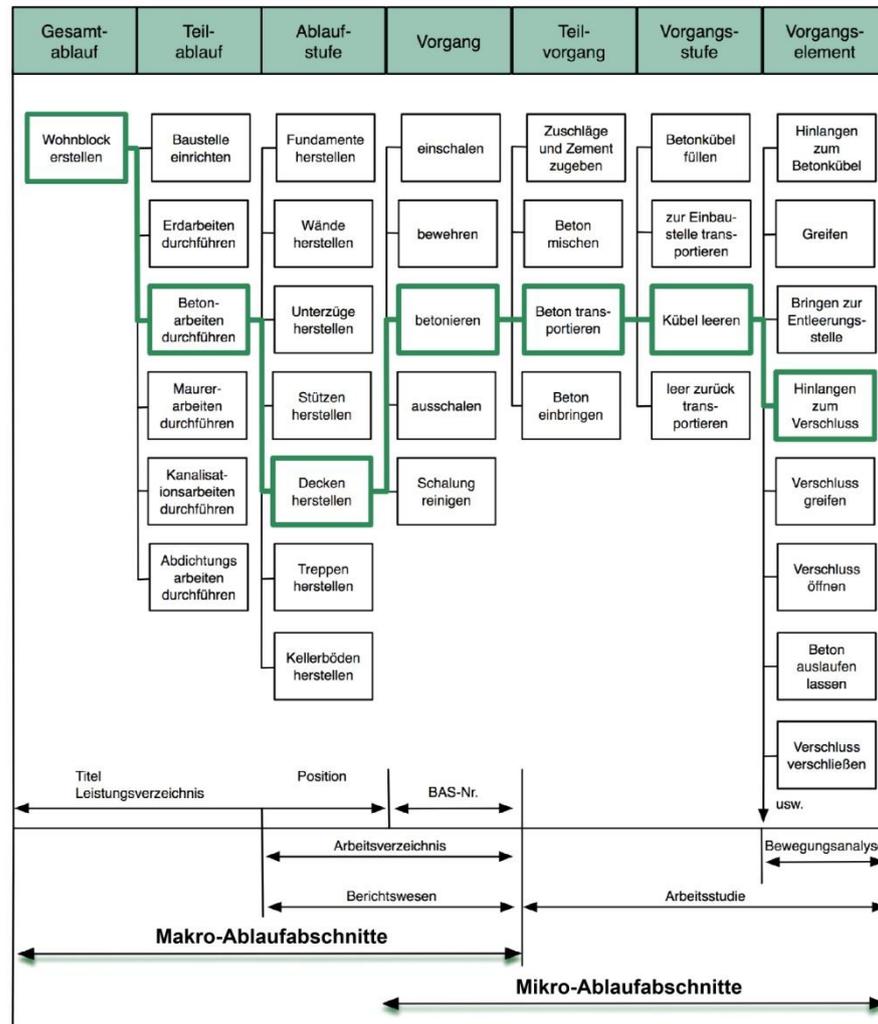


Bild 4-1 Gliederung des Arbeitsablaufs<sup>126</sup>

Im Zuge der Analyse der unterschiedlichen Beobachtungstiefen mit Berücksichtigung eigener früherer Ergebnisse<sup>127</sup> wurde der „Vorgang“ als die am besten geeignete Auswertungstiefe und der „Teilvorgang“ als am besten geeignete Beobachtungstiefe ausgewählt.<sup>128</sup>

*„Mit Vorgang wird der Abschnitt eines Arbeitsablaufes bezeichnet, der in der Ausführung an einer Mengeneinheit eines Arbeitsauftrages besteht. Der Vorgang wiederholt sich bei der Ausführung eines Auftrages normal. Ein Vorgang besteht im Allgemeinen aus mehreren Teilvorgängen, manchmal aber auch nur aus einer oder mehrerer Vorgangsstufen.“<sup>129</sup>*

<sup>126</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 1 Grundlagen, Carl-Hanser, München 1984, S. 58.

<sup>127</sup> Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

<sup>128</sup> Eine detaillierte Beschreibung aller Ablaufabschnitte findet sich in Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012 S. 43ff.

<sup>129</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

Vorgänge werden bei der Berichterstattung der Baustelle als kleinste Einheit erfasst und sind so Grundlage der Nachkalkulation. Die Vorgangsgliederung kann aber auch für eine grobe Zeitaufnahme verwendet werden, um den Arbeitsablauf ausreichend genau beschreiben zu können.<sup>130</sup>

*„Teilvorgänge bestehen aus mehreren Vorgangsstufen, die wegen der besseren Überschaubarkeit als Teil der Arbeitsaufgabe zusammengefasst werden.*

*Bsp. Beton mischen“<sup>131</sup>*

Teilvorgänge sind Gliederungsteile, die bei Gruppenzeitaufnahmen meist als kleinste Einheit erfasst werden. Da die Arbeiten auf Baustellen sehr oft in Gruppenarbeiten durchgeführt werden, ist die Aufzeichnung von Teilvorgängen ein sehr wichtiges Beobachtungskriterium.<sup>132</sup>

#### 4.1.2 Ergänzende Baustellen- und Tätigkeitsinformationen

Für eine ausreichend genaue Beschreibung der ausgeführten Tätigkeit müssen noch folgende Punkte näher beschrieben werden:<sup>133</sup>

##### Arbeitsverfahren

Bezeichnet die Technologie, die zur Veränderung des Arbeitsgegenstandes im Sinne der Arbeitsaufgabe angewendet wird. Für die meisten Arbeiten kann das Arbeitsverfahren mittels der Wahl des Betriebsmittels festgelegt werden.<sup>134</sup>

##### Arbeitsmethode

Bezeichnet die Regeln zur Arbeitsausführung bei bestimmten Arbeitsverfahren.<sup>135</sup>

##### Arbeitsweise

Bezeichnet die individuelle Ausführung der Arbeitstätigkeit, um den durch die Arbeitsmethode vorgeschriebenen Arbeitsablauf zu erreichen. Sie ergibt sich aus den speziellen Eigenschaften des Arbeiters.<sup>136</sup>

Für die Datenerhebung im Rahmen dieser Arbeit werden aufgrund dieser Beschreibungen die Ablaufabschnitte „Vorgang“ oder „Teilvorgang“ als am besten geeignet befunden. Dies ergibt sich daraus, da einerseits eine

---

<sup>130</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

<sup>131</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 14f.

<sup>132</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 14f.

<sup>133</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S. 8-5f.

<sup>134</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

<sup>135</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

<sup>136</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 17.

ausreichende Beobachtungstiefe durch die Gliederung der Vorgänge des Arbeitsablaufes möglich ist und andererseits durch eingeschulte Beobachter und mit Hilfe der noch zu beschreibenden Werkzeuge durch verschiedene Personen Beobachtungen erfolgen können, die zu gleichartigen Ergebnissen führen.

### **4.1.3 Beobachtungsmethoden nach REFA**

Nach der Wahl der Beobachtungstiefe ist der nächste Schritt die Festlegung der Beobachtungsmethode, wobei REFA hier zwei grundsätzliche Aufnahmemethoden unterscheidet. Einerseits die Einzelzeitaufnahme (EZA) als Zeitmessmethode und andererseits die Multimomentaufnahme (MMA) als Zählmethode.<sup>137</sup>

#### **4.1.3.1 Einzelzeitaufnahme (EZA)**

Die Einzelzeitaufnahme (EZA) ist eine klassische Zeitmessmethode, bei der für den jeweiligen zu beobachtenden Arbeitsablaufabschnitt (in diesem Fall für einen „Vorgang“ oder „Teilvorgang“) die Zeit gemessen und festgehalten wird. Durch die Zusammenführung aller einzelnen Aufzeichnungen entsteht so ein „Abbild des Beobachtungszeitraums“.

Da die Arbeit im Bauwesen jedoch zumeist in Gruppen erfolgt, stellt dieses Aufnahmeverfahren ein sehr selten verwendetes Verfahren dar.<sup>138</sup>

Im Rahmen der Baustellenuntersuchungen für diese Arbeit wurde vorgesehen, dass in einzelnen ausgewählten Fällen Einzelzeitaufnahmen durchgeführt werden, um Aufwandswerte für spezielle Arbeitsvorgänge im Detail zu ermitteln. Hierbei wurde die Daten allerdings nicht auf der Baustelle ausgewertet, sondern es erfolgte eine Videoaufnahme und erst darauf aufbauend die Datenauswertung.

#### **4.1.3.2 Multimomentaufnahme (MMA)**

Die MMA stellt ein Zählverfahren dar, bei dem in bestimmten Intervallen oder zu vorher festgelegten Zeitpunkten der Arbeitsablauf beobachtet wird. Hierbei wird der zum Zeitpunkt der Beobachtung vorgefundene (Teil-) Vorgang festgehalten. Eine Erfassung der Dauer des jeweiligen Vorgangs wird nicht vorgenommen. Über die Festlegung des Beobachtungsumfangs und der Anzahl der Beobachtungen kann eine Aussage zum Anteil des jeweiligen Vorgangs am Gesamtbeobachtungszeitraum

---

<sup>137</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 53f und S. 65f.

<sup>138</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 53f.

mit einer sehr hohen statistischen Genauigkeit erfolgen. Ein weiterer Vorteil dieser Beobachtungsmethode ist die gleichzeitige Aufnahme mehrerer Arbeiter ohne den Aufwand für die Datenaufzeichnung wesentlich zu erhöhen.<sup>139</sup>

Die MMA kann dabei in zwei unterschiedliche Methoden unterteilt werden, wobei die Unterscheidung in der Festlegung der Beobachtungszeitpunkte liegt. Erfolgt die Auswahl der Beobachtungszeitpunkte zufällig, z.B. mit Hilfe der Stunden-Minuten-Zufallstabeln von REFA<sup>140</sup>, so handelt es sich um die klassische MMA, die vor allem bei zyklischen Arbeitstätigkeiten zum Einsatz kommen sollte. Bei einem nicht zyklischen Arbeitsablauf ist es möglich ein fixes Beobachtungsintervall (z.B. 10 Minuten) zu wählen. Da die am Bau durchgeführten Arbeiten als nicht zyklisch anzusehen sind, wird im Rahmen dieser Arbeit diese Form der Multimomentbeobachtung eingesetzt.<sup>141</sup>

#### 4.1.4 Beobachtungskategorien

Für eine weitere Auswertung nach REFA müssen die Beobachteten nach bestimmten Kriterien geclustert werden. Eine solche Kategorisierung erfolgt nach folgendem Schema:<sup>142</sup>

---

<sup>139</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S.65f.

<sup>140</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 77.

<sup>141</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 65-86.

<sup>142</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 3 Arbeitsgestaltung, Carl-Hanser, München 1984, S.20ff.

Tabelle 4-1 Ablaufgliederung nach REFA<sup>143</sup>

Grund-Kategorie	Hauptkategorie	Unterkategorie (Ablaufarten)
Im Einsatz	Tätigkeit	Haupttätigkeit
		Nebentätigkeit
		zusätzliche Tätigkeit
	Unterbrechen der Tätigkeit	Ablaufbedingtes Unterbrechen
		Störungsbedingtes Unterbrechen
		Erholungsbedingtes Unterbrechen
		Persönlich bedingtes Unterbrechen
Außer Einsatz	Krankheit, Urlaub, Lehrgang	
Betriebsruhe	Betriebspausen, Feiertage	
Nicht erkennbar		

Da im gegenständlichen Fall die jeweiligen Bauarbeiter immer im Einsatz sind, konnte die Ebene der (Grund)-Kategorien entfallen. Zusätzlich dazu wurden die Definitionen der Unterkategorien zum Teil abgewandelt, um diese für die spezielle Auswertung des Arbeitsablaufes einer Arbeitsaufgabe und der dabei auftretenden Verteilung der Arbeitstätigkeiten anzupassen. Dies betrifft zum Beispiel die Unterkategorie „Zusätzliche Tätigkeit“, welche nach REFA folgendermaßen definiert ist:

*„Um eine zusätzliche Tätigkeit handelt es sich, wenn deren Vorkommen oder Ablauf nicht vorausbestimmt werden kann.“<sup>144</sup>*

Im Gegensatz dazu wird die Unterkategorie „Zusätzliche Tätigkeit“ im Rahmen der Arbeit wie folgt verstanden:

*„Die Unterkategorie „zusätzliche Tätigkeiten“ umfasst Haupt- und Nebentätigkeiten, die nicht dem eigentlichen Arbeitsauftrag der beobachteten Person entsprechen (z.B. die Kranführertätigkeit eines Maurers).“<sup>145</sup>*

Somit ergeben sich nachfolgende Kategorien:

<sup>143</sup> Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 20.

<sup>144</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 20.

<sup>145</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ - Auswertung empirischer Untersuchungen der Tätigkeiten im Baumeistergewerbe in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag, Wien 2010, S.207-237.

Tabelle 4-2 Einteilung der Vorgänge des Arbeitsablaufs nach Schlagbauer<sup>146</sup>

Kategorie [erste Ebene]	Unterkategorie [zweite Ebene]	Beschreibung
„Tätigkeit“		Die Kategorie „Tätigkeit“ umfasst alle durchgeführten Arbeiten, die mit der Leistungserbringung direkt oder indirekt in Verbindung stehen.
	„Haupttätigkeit“	Unter „Haupttätigkeit“ werden alle erhobenen Tätigkeiten zusammengefasst, die der Leistungserbringung einer direkt abrechenbaren Position dienen (z.B. Mauern, Betonieren, Schalung aufstellen, uä.).
	„Nebentätigkeit“	Im Gegensatz zu „Haupttätigkeiten“ können „Nebentätigkeiten“ nicht direkt abgerechnet werden, sondern sind zur Erbringung von „Haupttätigkeiten“ notwendig (z.B. Mörtel mischen, Gerät und Material vorbereiten, uä).
	„Zusätzliche Tätigkeit“	Die Unterkategorie „zusätzliche Tätigkeiten“ umfasst Haupt- und Nebentätigkeiten, die nicht dem eigentlichen Arbeitsauftrag der beobachteten Person entsprechen (z.B. die Kranführertätigkeit eines Maurers).
„Unterbrechung“	„Ablaufbedingt“	Der Bereich der „Ablaufbedingten Unterbrechungen“ umfasst Pausen, die aufgrund des Bauverfahrens und des Bauablaufs notwendig sind.
	„Störungsbedingt“	„Störungsbedingte Unterbrechungen“ entstehen durch äußere Einwirkungen auf den Bauablauf, wodurch dieser unterbrochen wird.
	„Erholungsbedingt“	„Erholungsbedingte Unterbrechungen“ sind Pausen, die der Bauarbeiter infolge anstrengender Tätigkeiten selbstständig einlegt, einschließlich der vom Arbeitgeber vorgegebenen Vormittags- und Mittagspausen.
	„Persönlich bedingt“	„Persönlich bedingte Unterbrechungen“ entstehen infolge der persönlichen Bedürfnisse des Bauarbeiters, z.B. Rauchen, Toiletengang, Trinken, uä.
„Nicht erkennbar“		In die Kategorie „Nicht erkennbar“ werden jene Beobachtungen eingetragen, bei denen zum Beobachtungszeitpunkt der zu beobachtende Arbeiter nicht im Sichtbereich des Beobachters war und daher keine genaue Aussage über seine verrichtete Tätigkeit gemacht werden konnte.

Durch diese Veränderung in der Klassifizierung ist es möglich, dass im Rahmen der Ablaufbeobachtung stabile Daten für die weitere Anwendung der ausgewerteten Tätigkeitsprofile zur Verfügung gestellt werden, da gerade die zusätzlichen Tätigkeiten je nach Baustelle und Arbeitsabfolge sowie äußeren Randbedingungen stark variieren können.

<sup>146</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ - Auswertung empirischer Untersuchungen der Tätigkeiten im Baumeistergewerbe in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag, Wien 2010, S.207-237.

## 4.2 Erhebungsdaten für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve

Für die Entwicklung einer neuen tätigkeitsbezogenen Leistungskurve ist es ausreichend, einzelne Arbeitsvorgänge zu betrachten. Daher wird auf die Aufzeichnung detaillierterer Ablaufabschnitte als in der Stufe der Teilvorgänge im Folgenden verzichtet.<sup>147</sup>

Beobachtung der Teilvorgänge und Auswertung der Vorgänge liefert ausreichend genaue Aussagen  
Herzfrequenzmessung ist das ausgewählte Instrument für die Beanspruchungsbewertung

Ebenso kann bei der Beobachtung der Beanspruchung des einzelnen Arbeiters der Beobachtungsumfang auf die Herzfrequenzmessung in Kombination mit Laboruntersuchungen reduziert werden. Die Vernachlässigung von Reaktions- und Koordinationsüberprüfungen erfolgte aufgrund der Tatsache, dass diese Überprüfungen zu stark in den Arbeitsablauf eingreifen und so eine Verfälschung der Beobachtungsdaten über ein vertretbares Maß hinaus auslösen würden. Überdies musste auf die Messung der Rektaltemperatur verzichtet werden, da nach Vorgesprächen im Vorfeld der Untersuchung klar wurde, dass bei Durchführung dieser Untersuchung keine Freiwilligen gefunden werden können.

Beobachtung verändert das Verhalten der Beobachteten

Eine weitere, jedoch nicht verhinderbare Veränderung des Verhaltens tritt allerdings schon durch die bloße Anwesenheit eines Beobachters auf. Diese Veränderung wird auch als Hawthorne-Effekt bezeichnet.<sup>148</sup> Diesem Verhalten der untersuchten Bauarbeiter wurde dahingehend entgegen gewirkt, dass sich die Beobachter weit außerhalb des Arbeitsbereichs befinden und die Beobachtungen jedes Bauarbeiters über einen Zeitraum von mehreren Tagen erfolgten. Durch Auswahl dieses längeren Zeitraums wurde versucht, den Hawthorne-Effekt zu verringern.

Alter, Größe, Gewicht und persönliche Leistungsfähigkeit sind notwendig für den Vergleich zwischen Bauarbeitern

Neben diesen Daten sind die grundlegenden persönlichen Daten, wie Gewicht, Körpergröße und Alter zu bestimmen, um hier einen Vergleich zwischen den Bauarbeitern vorzunehmen. Ebenso ist für den Vergleich der Bauarbeiter eine Erhebung ihrer persönlichen Leistungsfähigkeit mittels einer Spiroergometrie im Labor notwendig. Auf Basis dieser Daten kann der Energieverbrauch bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten ermittelt werden.

Aus Daten der Spiroergometrie und den Herzfrequenzdaten der Baustelle wird der Energieumsatz ermittelt.

Neben diesen probandenbezogenen Daten müssen auch die klimatischen Bedingungen aufgezeichnet werden, um diese in die Bewertung einfließen zu lassen.

Temperatur, Wind, Luftfeuchtigkeit bilden Umwelteinflüsse ab.

Zusätzlich zu diesen „harten“ Faktoren müssen die „weichen“ Umfeldfaktoren erhoben werden. Aus diesen zusätzlich gewonnenen Informationen lassen sich keine konkreten Zahlenwerte ablesen, doch liefern sie

<sup>147</sup> Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

<sup>148</sup> Vgl. Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Hawthorne-Effekt“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 08:43.

Hintergrundinformationen, um einzelne Ergebnisse interpretieren zu können.

**4.3 Untersuchungsdesign**

Anhand dieser Überlegungen ergab sich das endgültige Design der Untersuchung, welches als Übersicht in Bild 4-2 ersichtlich ist. Es besteht aus drei Auswertungsebenen (I bis III) in denen die Daten der einzelnen Module (1 bis 6) Mithilfe der nachfolgend beschriebenen Werkzeuge erhoben wurden.

Untersuchungsbereich				
Werkzeuge				
Ebene 1				
Ebene 2				
Ebene 3				

Bild 4-2 Übersicht des Untersuchungsdesigns

In der Ebene I – Tätigkeitsanalyse – erfolgte mit Hilfe von Multimoment- und Einzelzeitaufnahmen die Grunddaten Erhebung. In der Ebene II – Belastungs- und Beanspruchungserhebung – wurden diese Daten um die Ergebnisse der Herzfrequenzmessung, den klimatischen Bedingungen und der Laboruntersuchung ergänzt. Abschließend erfolgt in Ebene III – Leistungserhebung – die Bestimmung der tatsächlich erbachten Leistung.

#### 4.3.1 Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme (MMA)



Die Multi-Moment-Aufnahme bildet die Grundlage der gesamten Untersuchungsmethodik. Dabei wird in einem Datenerhebungsbogen die jeweils beobachtete Tätigkeit im Abstand von 10 Minuten (bei den 6 Baustellenbeobachtungen 2008) bzw. 5 Minuten<sup>149</sup> (bei den weiteren 3 Baustellenbeobachtungen 2009) durch einen externen Beobachter eingetragen.<sup>150</sup>

Mit Hilfe dieses Moduls für die Auswertung der Ebene I wird folglich die Datengrundlage für die gesamte Untersuchung geschaffen.

#### 4.3.2 Modul 2: Einzelzeitaufnahmen (EZA)



Als Ergänzung zur MMA wurden bei ausgewählten Tätigkeiten EZA durchgeführt, um die Dauer einzelner Tätigkeiten detaillierter zu erheben. Diese Untersuchungsmethode stellt einen weit größeren Eingriff in die Persönlichkeitsphäre des Bauarbeiters dar, da der Beobachter viel näher an der beobachteten Person sein muss. Deshalb ist geplant, diese Möglichkeit der Tätigkeitserfassung nur in geringem Maße einzusetzen.

Die Ergebnisse der EZA können in Verbindung mit der MMA jedoch eine Grundlage für Überlegungen im Hinblick auf die mehrmalige Ausführung von Arbeiten und der Qualität der Arbeitsvorbereitung und der Arbeitsplanung liefern.<sup>151</sup>

#### 4.3.3 Modul 3: Erhebung der Wetterdaten



Im Zuge der Beobachtung werden jeweils zu Arbeitsbeginn und anschließend im Abstand von 30 Minuten die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit sowie die Windgeschwindigkeit in der Nähe der beobachteten Bauarbeiter mit Hilfe eines Anemometers<sup>152</sup> gemessen. Die letzte Aufzeichnung erfolgt, unabhängig vom vorgegebenen Abstand von 30 Minuten, immer zum Arbeitsende.

<sup>149</sup> Die Verkürzung des Beobachtungsintervalls erfolgte, da es nach der Durchführung mehrerer Baustellenbeobachtungen ersichtlich war, dass auch beim verkürzten Intervall die Beobachtungsgenauigkeit und Beschreibung der vom Beobachter vorgefundenen Arbeitsabläufe ausreichend waren. Durch das verkürzte Intervall ergibt sich eine größere Datenmenge und führt zu einer Verbesserung der statistischen Kennwerte, da der geplante Untersuchungsumfang bei der Menge an Bauarbeitern und Baustellen nicht reduziert wurde.

<sup>150</sup> Der genaue Aufbau des Datenerhebungsbogens (DEB) findet sich im Anhang auf Seite 160. Weiterführende Informationen zu den Werkzeugen der Datenerhebung finden sich in Schlagbauer-(Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 89ff).

<sup>151</sup> Beispielhafte Auswertung und ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der Einzelzeitaufnahmen auf Basis von Filmmaterial und Multi-Momentaufnahmen aus der Baustellenbeobachtung finden sich in der Diplomarbeit von Gappmeier, W.: Aufwandswerte für Schalarbeiten - Baustellenanalyse für Deckenschalungen unter besonderer Betrachtung von Träger- und Rahmenschalungen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

<sup>152</sup> Kestrel 3000 – Pocket Weather Meter (Kestrel, USA).

#### 4.3.4 Modul 4: Herzfrequenzmessung

Eine weitere Komponente der Beanspruchungserhebung stellt die durchgängige Aufzeichnung der Herzfrequenz mittels Pulsmessgurt und Pulsuhr<sup>153</sup> dar. Diese liefert den Verlauf der Herzfrequenz über den gesamten Arbeitstag und durch Aufnahme der Werte im Abstand von 15 Sekunden.

Das Anlegen und Abnehmen sowie eine Kontrolle der Funktionsfähigkeit des Pulsmessgurtes wird vom externen Beobachter, der auch die MMA bzw. EZA und die Wetterdaten aufzeichnete, durchgeführt, wodurch etwaige Fehler durch falsche Handhabung minimiert werden können.

Die Erfahrung zeigt, dass durch Störquellen<sup>154</sup> die Herzfrequenzmessung unvollständige Aufzeichnungen liefern kann, jedoch nur in so geringem Umfang, dass die Datenstabilität dennoch sichergestellt werden konnte.



#### 4.3.5 Modul 5: Spiroergometrie

Neben den ergänzenden Datenerhebungen auf der Baustelle stellen die Ergebnisse der Spiroergometrien die wesentliche Grundlage zur Bewertung der individuellen Belastung und Beanspruchung der Bauarbeiter dar<sup>155</sup>. Der Umfang der Untersuchungen wird von Pretis folgendermaßen erklärt<sup>156</sup>:

*„Es wurde ein Standardprotokoll gefahren. Zuerst wurde das Ruhelaktat während 3 Minuten Ruhephase im Sitzen am Fahrradergometer gemessen. Danach gab es eine Einarbeitungsphase mit 3 Minuten Stufendauer bei 20 Watt Widerstand auf dem Ergometer. Nach einer neuerlichen Laktatabnahme wurde die Belastung alle 60 Sekunden um 15 Watt bis zum subjektiven Belastungsabbruch gesteigert.“*

Das Ergebnis einer Spiroergometrie wird in Form von einzelnen markanten Kenngrößen und einer grafischen Darstellung des Testvorgangs in Bild 4-3 dargestellt.<sup>157</sup>



<sup>153</sup> Messgerät: Polar S 810 (Polar Elektro, Finnland).

<sup>154</sup> Die größten Störungen entstanden bei Arbeiten an Maschinen (z.B. Meißelhammer oder Rüttler) oder durch Mobiltelefone in unmittelbarer Nähe des Pulsmessgurtes.

<sup>155</sup> Im Zuge der Vorbereitung der Untersuchungen wurde eine Probandeninformation zum Thema Spiroergometrie zusammengestellt. Die vollständige Probandeninformation befindet sich im Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

<sup>156</sup> Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S. 66.

<sup>157</sup> Zur Auswertung der Ergebnisse diente die Software ProSport<sup>®</sup>.

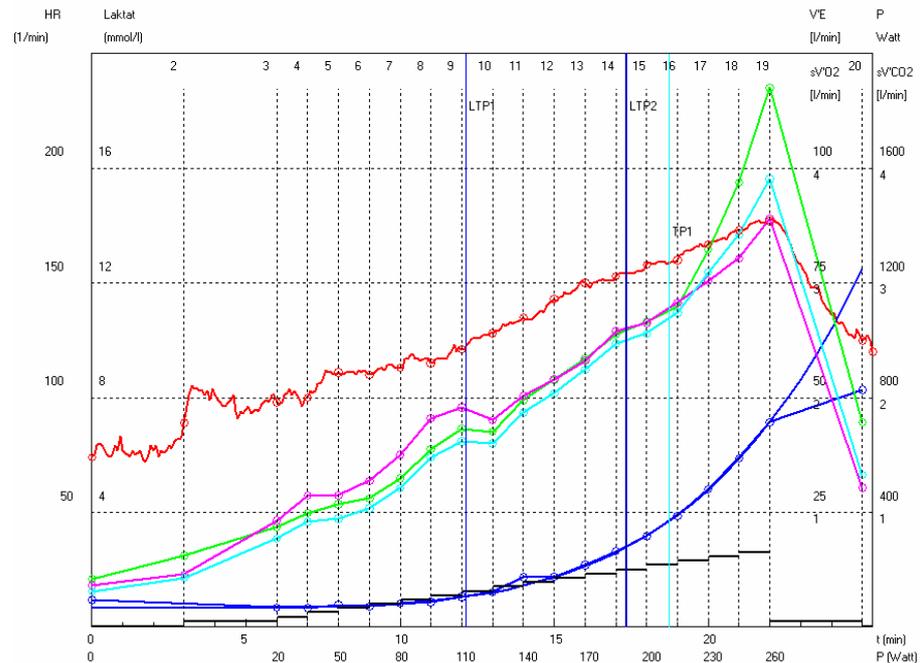


Bild 4-3 Herzfrequenz (rot), O<sub>2</sub>-Aufnahme (Pink), CO<sub>2</sub>-Abgabe (Türkis), Laktat (blau) und Atemminutenvolumen (grün) während der spiroergometrischen Belastung<sup>158</sup>

Pretis führt zur in Bild 4-3 dargestellten Grafik aus:

„Die Abbildung zeigt deutlich den Umschlagpunkt der Atemgase. Der Laktaturnpoint 1 (LTP<sub>1</sub>) definiert die aerobe, der Laktaturnpoint 2 (LTP<sub>2</sub>) die anaerobe Schwelle. Die anaerobe Schwelle ist ein wichtiges Kriterium der Leistungsfähigkeit, während die aerobe Schwelle eine mögliche individuelle Dauerleistungsgrenze darstellen könnte.“<sup>159</sup>

Zur Ermittlung dieser Ergebnisse werden im Zuge der Spiroergometrie folgende Untersuchungsverfahren angewandt:<sup>160</sup>

- Spirometrie:<sup>161</sup> Der Austausch der Atemgase wird laufend mittels Atemmaske gemessen und per Computerprogramm ausgewertet.
- Messung des Blutdrucks:<sup>162</sup> Während des Tests werden regelmäßige automatische Blutdruckmessungen am rechten Oberarm des Probanden durchgeführt.

<sup>158</sup> Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S.66.

<sup>159</sup> Pretis, M.: a.a.O., S. 67.

<sup>160</sup> Vgl. Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S.67.

<sup>161</sup> Messgerät: Zan 600 USB CX (Zan, Deutschland).

<sup>162</sup> Messgerät: 12-Kanal EKG, Zan 800 (Zan, Deutschland).

- Messung der Herzfrequenz:<sup>163</sup> Mittels zweier unabhängiger Pulsuhren wird bei der Untersuchung die Aufzeichnung der Herzfrequenz durchgeführt. Die Zwischenzeiten werden dabei bei jeder neuen Stufe händisch markiert.
- Messung des Laktats:<sup>164</sup> Am Anfang zu Beginn des Belastungstests und bei Beginn und am Ende jeder Stufe wird aus dem Ohrläppchen des Probanden Blut zur Laktatmessung entnommen.

#### 4.3.6 Modul 6: Leistungserhebung

Die Leistungserhebung wird durch den externen Beobachter durchgeführt, welcher mit Hilfe einer Digitalkamera den Leistungsfortschritt aufzeichnet oder durch Videoaufnahme den gesamten Arbeitsprozess festhält. Dadurch ergeben sich weitere Auswertungsmöglichkeiten, wie z.B. die nachträgliche EZA.

Die erbrachte Leistung aller beteiligten Bauarbeiter wurde dabei in vorher festgelegten Intervallen festgehalten und die Leistung in Form von z.B.  $m^2_{\text{errichtetes Mauerwerk/h}}$  oder  $m^3_{\text{Betonwand/h}}$  ermittelt.



### 4.4 Beschreibung der Durchführung der Untersuchung

#### 4.4.1 Durchführung auf der Baustelle

Im ersten Schritt der Untersuchung wurden Vorgespräche mit den jeweiligen Geschäftsführern bzw. den Firmenchefs von Baufirmen mit geeigneten Baustellen<sup>165</sup> geführt. Darauf aufbauend erfolgten Informationsgespräche über den Inhalt und den Ablauf des Forschungsprojektes mit dem zuständigen Polieren und den Bauarbeitern vor Ort.<sup>166</sup>

Während der Baustellenbeobachtung wurden Gespräche mit den Bauleitern und den Polieren geführt, um die zuvor beschriebenen „weichen“ Faktoren beurteilen zu können. Für die Leistungsermittlung wurden Pläne der untersuchten Baustellen zur Verfügung gestellt.

<sup>163</sup> Messgerät: Polar Sport Tester PE 4000 (Polar Elektro, Finnland).

<sup>164</sup> Messgerät: S Line, EKF Diagnostic (Biosen, Deutschland).

<sup>165</sup> Geeignete Baustellen waren in diesem Fall Baustellen, auf welchen gerade Mauerwerksarbeiten im mehrgeschossigen Wohnbau über einen längeren Zeitraum durchgeführt wurden bzw. Baustellen, auf denen gerade ausgewählte Tätigkeiten aus dem Bereich der Baumeistertätigkeiten (Mauern, Schalen, Bewehren und Betonieren) durchgeführt wurden.

<sup>166</sup> Zusätzlich wurden nochmals die Richtlinien hinsichtlich der Auswertung der Daten in Bezug auf den Datenschutz dargestellt. Diese Information erfolgte mittels eines eigenen Probandeninformationsblattes, welches in Anlehnung an die Probandeninformationen, die bei Untersuchungen, die durch die Ethikkommission genehmigt werden müssen, zum Einsatz kommen.

#### **4.4.2 Durchführung im Labor**

Die Bauarbeiteruntersuchung im Labor wurde in den überwiegenden Fällen während bzw. nach der Baustellenbeobachtung durchgeführt.

Für die Spiroergometrie wurden die Bauarbeiter vor Arbeitsbeginn auf der Baustelle abgeholt und zum HPR<sup>Graz</sup> gebracht. Durch den Untersuchungsbeginn am Morgen vor Beginn der Arbeitstätigkeit konnte ein ähnlicher Erholungszustand erwartet werden, wie zu Beginn eines Arbeitstages, an dem Beobachtungen durchgeführt wurden.

## 5 Datenauswertung

Nachdem in den vorhergehenden Kapiteln die Grundlagen der Untersuchung, das Untersuchungsdesign und die Werkzeuge sowie der Ablauf der Datenerhebung vorgestellt wurden, erfolgt nun die Darstellung der für die Anwendung wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Module sowie die kombinierte Auswertung von zusammenhängenden Datenreihen.<sup>167, 168</sup>

### 5.1 Datenreihen der Auswertung

Folgende Datenreihen, die ein eindimensionales Datenmaterial darstellen wurden im Zuge der Datenanalyse ausgewertet:<sup>169</sup>

- Physiologische Kenngrößen
  - ◆ Alter
  - ◆ Gewicht und BMI
- Anzahl einer beobachteten Tätigkeit
- Tätigkeitsverteilung in einer Kategorie oder Unterkategorie
- Herzfrequenz einer Tätigkeit

Da in vielen Fällen einzelne Merkmale voneinander abhängen, wie zum Beispiel Alter und Herzfrequenz, wurden diese ergänzend mit Auswertungsmethoden für mehrdimensionales Datenmaterial analysiert. Mehrdimensionales Datenmaterial bedeutet, dass  $m$  verschiedene quantitative oder qualitative Merkmale bei  $n$  Probanden erhoben werden, wobei für jedes  $n$  jeweils  $m$  Merkmale vorhanden sind.<sup>170</sup>

Als Analysetools wurden das Streudiagramm, die Korrelationsanalyse nach Pearson, die Bestimmung des Signifikanzniveaus<sup>171</sup> und die

<sup>167</sup> Diese wurden im Rahmen der Dissertation erläutert. Für die praktische Anwendung werden an dieser Stelle nur die wesentlichen Ergebnisse in gekürzter Form dargestellt. Die Durchführung der statistischen Auswertung erfolgte mit den Programmen MS EXCEL (Microsoft Corp., USA) und WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

<sup>168</sup> Vgl. Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009, S. 11.

<sup>169</sup> Um den Umfang der Darstellung der Datenauswertung nicht ausufern zu lassen erfolgt hier nur eine verkürzte Darstellung, die die wesentlichen Schritte der Datenanalyse wiedergibt, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten. Die komplette Datenauswertung findet sich in der Dissertation (Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012) ab S. 97- S. 184.

Ebenso werden bei den Beton- und Schalungsarbeiten nur die wesentlichen Informationen, die für die Anwendung erforderlich sind wiedergegeben. Die Vorgehensweise bei der Ermittlung entspricht jener bei den Mauerwerksarbeiten.

<sup>170</sup> Vgl. Bamberg, G.: a.a.O., S. 29ff.

<sup>171</sup> Auch als Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  bezeichnet.

abschließende Regressionsrechnung<sup>172</sup> ausgewählter Parameter<sup>173</sup> mit Hilfe der Softwarelösung WINSTAT<sup>174</sup> eingesetzt.

Die Ermittlung des Signifikanzniveaus ( $\alpha$ ) erfolgte mit Hilfe der Softwarelösungen (WINSTAT<sup>175</sup> und MS EXCEL<sup>176</sup>), wobei in folgende Signifikanzniveaus unterschieden wird:<sup>177</sup>

Signifikanzniveaus:

Signifikanzniveau $\alpha$	Interpretation
$\alpha > 0,05$	Nicht signifikant
$\alpha \leq 0,05$	Signifikant
$\alpha \leq 0,01$	Hoch signifikant
$\alpha \leq 0,001$	Höchst signifikant

- Nicht signifikant ( $\alpha > 0.05$ )
- Signifikant ( $\alpha \leq 0.05$ )
- Hoch signifikant ( $\alpha \leq 0.01$ )
- Höchst signifikant ( $\alpha \leq 0.001$ )

Neben einer Aussage über die Zusammenhänge zweier oder mehrerer Datenreihen ist die Angabe des möglichen Zusammenhangs durch die Korrelationsanalyse die wesentliche Kenngröße. Die Einstufung der Korrelation erfolgt mit Hilfe der Softwarelösungen, wobei in folgende Niveaus unterschieden wird:<sup>179</sup>

Einstufung der Korrelation:<sup>178</sup>

Werte des Korrelationskoeffizienten r	Interpretation
$0 < r \leq 0,2$	Sehr geringe Korrelation
$0,2 < r \leq 0,5$	Geringe Korrelation
$0,5 < r \leq 0,7$	Mittlere Korrelation
$0,7 < r \leq 0,9$	Hohe Korrelation
$0,9 < r \leq 1$	Sehr hohe Korrelation

- $0 < r \leq 0,2$                       Sehr geringe Korrelation
- $0,2 < r \leq 0,5$                     Geringe Korrelation
- $0,5 < r \leq 0,7$                     Mittlere Korrelation
- $0,7 < r \leq 0,9$                     Hohe Korrelation
- $0,9 < r \leq 1$                       Sehr hohe Korrelation

<sup>172</sup> Vgl. Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009, S 39f.

<sup>173</sup> Neben der linearen Regression kann hierfür auch eine Regression mit Hilfe von polynomischen Gleichungen oder e-Funktionen durchgeführt werden, wenn die vorgefundenen Daten auf einen nichtlinearen Zusammenhang schließen lassen. Siehe dazu Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009, S 39f.

<sup>174</sup> WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

<sup>175</sup> WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

<sup>176</sup> MS EXCEL (Microsoft Corp., USA).

<sup>177</sup> Vgl. Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S. 585 sowie [http://www.statistics4u.com/fundstat\\_germ/cc\\_level\\_signif.html](http://www.statistics4u.com/fundstat_germ/cc_level_signif.html), 08.01.2011, 19:32

<sup>178</sup> Bühl, A.: SPSS 16, Einführung in die moderne Datenanalyse, 11. Auflage, Pearson Studium, München [u.a.] 2008, S. 269.

<sup>179</sup> Bühl, A.: SPSS 16, Einführung in die moderne Datenanalyse, 11. Auflage, Pearson Studium, München [u.a.] 2008, S. 269.

## 5.2 Auswertung der persönlichen Daten der untersuchten Bauarbeiter

Aus den Auswertungsbögen der Spiroergometrien wurden die wesentlichen persönlichen Daten der Bauarbeiter entnommen, welche für die weitere Datenauswertung verwendet werden. Die für die weitere Anwendung dabei wesentlichen Datenreihen sind das Alter und der Body-Mass-Index (BMI)<sup>180</sup> sowie die Leistungskennwerte  $HF_{LTP1}$ ,  $HF_{max}$  und  $P_{max}$ <sup>181</sup>.

Tabelle 5-1 Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter

	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	$P_{max}$ [Watt]	$HF_{max}$ [S/min]	$HF_{LTP1}$ [S/min]
$\bar{x}$	31,7	180,7	93,3	28,41	242	184	118
SD	10,9	6,5	21,3	5,30	32	16	11

Die vollständige Auswertung<sup>182</sup> der persönlichen Kennwerte zeigt, wie erwartet, signifikante Zusammenhänge zwischen Alter und  $HF_{max}$  sowie weitere signifikante Zusammenhänge zwischen Alter und  $HF_{LTP2}$  bzw.  $P_{max}$  und  $HF_{LTP1}$ . Weitere signifikante Zusammenhänge zeigten die Zusammenhänge zwischen  $HF_{LTP1}$  und  $HF_{max}$ , unabhängig, ob die jeweiligen Werte oder der relative Anteil ( $\% HF_{LTP1/max}$ ) geprüft wurden. Ebenso ergaben sich signifikante Zusammenhänge bei der Analyse der multiplen Zusammenhänge von  $HF_{max}$  und  $P_{max}$  mit  $HF_{LTP1}$  bzw.  $\% HF_{LTP1/max}$ .

Für die weiteren leistungsphysiologischen Kennwerte konnten keine signifikanten Zusammenhänge in der untersuchten Bauarbeitergruppe gefunden werden.

### 5.2.1 Alter

Aus der Auswertung der Geburtsdaten ergibt sich, bezogen auf das Jahr 2008<sup>183</sup>, dass der Älteste untersuchte Bauarbeiter 55 Jahre und der Jüngste 17 Jahre alt war. Über alle 21 untersuchten Bauarbeiter ergibt sich so das Durchschnittsalter von  $31,7 \pm 10,9$  Jahren.

Um die Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter zu veranschaulichen, wurden die Bauarbeiter in Altersklassen, entsprechend der Einteil-

<sup>180</sup> Eine Darstellung aller im Labor gewonnen Kenngrößen und auch die Überprüfung des Zusammenhangs zwischen einzelnen Kenngrößen wurde in der Dissertation geführt.

<sup>181</sup> Auf die Darstellung der Einzelwerte wird an dieser Stelle verzichtet, da die Leistungskennwerte erst bei der arbeiterübergreifenden Datenanalyse eingesetzt werden, wobei auch dort nicht der Leistungskennwert sondern die relative Beanspruchung den relevanten Kennwert darstellt.

<sup>182</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S. 119-128.

<sup>183</sup> In diesem Jahr wurde der überwiegende Teil der Untersuchungen durchgeführt.

lung der Bauarbeiter Urlaubs- und Abfertigungskasse (BUAK)<sup>184</sup>, zugeordnet.

Die BUAK unterteilt dabei in folgende Altersklassen:

- Bis 18
- Über 18 bis 30 Jahre
- Über 30 bis 40 Jahre
- Über 40 bis 50 Jahre
- Über 50 bis 60 Jahre

Für den Vergleich mit der Gesamtheit aller österreichischen Bauarbeiter erfolgt die Auswertung anhand der statistischen Informationen der BUAK zur Altersverteilung im Jahr 2008. Aus diesen Daten konnte die Verteilung entsprechend der Altersgruppen ermittelt werden.

Auf Basis dieser Daten und nach Auskunft der BUAK beträgt das Durchschnittsalter eines Bauarbeiters in Österreich 37,9 Jahre<sup>185</sup> und ist somit um 6,2 Jahre höher als in der Untersuchungsgruppe.

Weiters wurde ein Vergleich der Altersverteilung entsprechend der BUAK-Klassifizierung durchgeführt. Die Untersuchungsdaten und die von der BUAK zur Verfügung gestellten Daten<sup>186</sup> sind in Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3 sowie Bild 5-1 dargestellt.

Durchschnittsalter eines Bauarbeiters im Jahr 2008 in Österreich beträgt 37,9 Jahre

Tabelle 5-2 Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter

Altersgruppen – Untersuchung					
bis 18	bis 30	bis 40	bis 50	bis 60	über 60
1	10	5	4	1	0
4,76%	47,62%	23,81%	19,05%	4,76%	0,00%

Tabelle 5-3 Altersverteilung aller Bauarbeiter in Österreich<sup>187</sup>

Altersgruppen – BUAK					
bis 18	bis 30	bis 40	bis 50	bis 60	über 60
7117	27962	27167	32101	19131	907
6,22%	24,45%	23,75%	28,06%	16,73%	0,79%

<sup>184</sup> Bau-Arbeiter-Urlaubs-und Abfertigungskasse, <http://www.buak.at>.

<sup>185</sup> Auskunft der BUAK, Durchschnittsalter\_BauarbeiterInnen\_2008.pdf, per email am 16.08.2010, 9:48 Uhr.

<sup>186</sup> Vgl. [http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK\\_5.4](http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK_5.4), ArbeitnehmerInnen nach Alter ab 2006.pdf, 09.August 2010, 11:12 Uhr.

<sup>187</sup> Vgl. [http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK\\_5.4](http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK_5.4), ArbeitnehmerInnen nach Alter ab 2006.pdf, 09.August 2010, 11:12 Uhr.

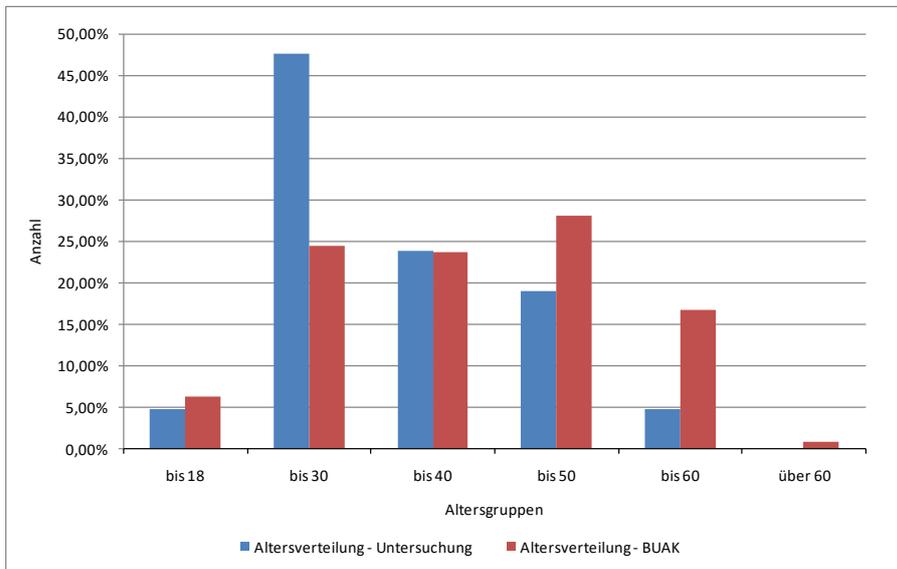


Bild 5-1 Häufigkeitsverteilung des Alter der BauarbeiterInnen der Untersuchung und in Österreich (gesamt)

Aus dem Vergleich der beiden Datenreihen ist ersichtlich, dass die Altersgruppe „19 bis 30“ einen größeren und die Altersgruppen „40 bis 49“, „50 bis 59“ und „über 60“ einen kleineren Anteil gegenüber der Gesamtheit aller BauarbeiterInnen in Österreich aufweisen.

Daher ist es ohne Berücksichtigung des Alterseinflusses nicht möglich, die Mittelwerte der Untersuchung direkt auf alle BauarbeiterInnen Österreichs umzulegen, sodass die persönliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Alters als Einflussfaktor herangezogen werden muss.

Persönliche Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit des Alters muss berücksichtigt werden.

### 5.2.2 Gewicht und Body-Mass-Index (BMI)

Der Body-Mass-Index (BMI) kann mit Hilfe der folgenden Gleichung aus dem Gewicht und der Körpergröße ermittelt werden:

$$BMI [kg/m^2] = \frac{Gewicht [kg]}{Körpergröße^2 [m^2]} \quad (5.1)$$

Es ergaben sich für den BMI der minimale Wert von 21,19 kg/m<sup>2</sup>, der maximale Wert von 39,75 kg/m<sup>2</sup> sowie ein arithmetisches Mittel von 28,41 ±5,30 kg/m<sup>2</sup>.

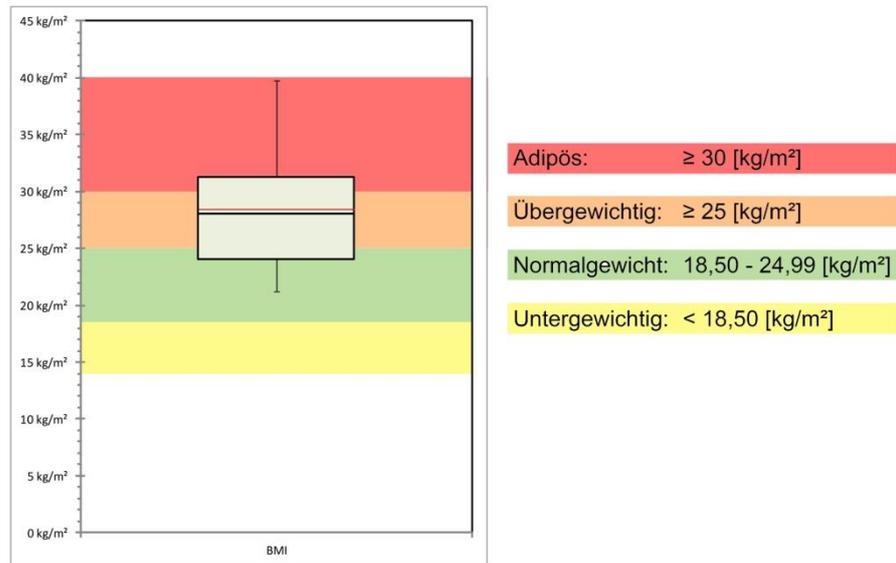


Bild 5-2 Boxplot-Darstellung des BMI der Probanden [kg/m<sup>2</sup>] sowie der BMI Schwellenwerte<sup>188</sup>

Entsprechend Bild 5-2 sind der arithmetische Mittelwert (28,41 kg/m<sup>2</sup>) und der Median (28,09 kg/m<sup>2</sup>) nahezu deckungsgleich. Auch die Box (24,01 – 31,25 kg/m<sup>2</sup>) ist nahezu gleichverteilt um den Mittelwert angeordnet. Stellt man die Verteilung des BMI in den einzelnen Bereichen dar, ergibt dies:

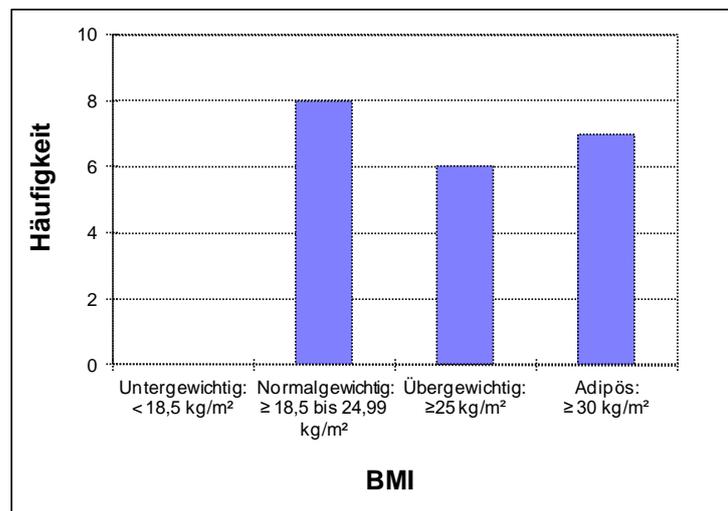


Bild 5-3 Verteilung der untersuchten Bauarbeiter in den BMI-Klassen

<sup>188</sup> BMI-Klassifizierung entsprechend der WHO: Vgl. [http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html), 16.10.2011, 11:00.

### 5.3 Beobachtungsumfang der Baustellenuntersuchung

Vor der Datenauswertung wird der Umfang der Datenerhebung in Bezug auf die Anzahl der beobachteten Arbeitskräfte, die Anzahl der Beobachtungstage, der Anzahl der beobachteten Mann-Tage sowie die Anzahl der Herzfrequenz-Einzelwerte und die Anzahl der Tätigkeitsaufzeichnungen aus statistischer Sicht betrachtet.

#### 5.3.1 Beobachtungsumfang der einzelnen Datenreihen

Die Datenerhebung für diese Arbeit wurde auf neun unterschiedlichen Baustellen im Zuge des Forschungsprojekts „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ durchgeführt. Eine Übersicht der untersuchten Baustellen ist in Tabelle 5-4 ersichtlich.

Tabelle 5-4 Übersicht der untersuchten Baustellen

Baustelle	Baufirma	Anzahl Bauarbeiter [#]	Anzahl Bauarbeiter mit Laboruntersuchung [#]	Tätigkeitsaufzeichnungen [#]	Beobachtungstage [d]	Beobachtungstage mit Herzfrequenzmessung [d]
BS1	FA1	3	2	1051	20	9 1/2
BS2	FA2	4	4	1584	34	32
BS3	FA3	3	2	906	17	17
BS4	FA2	4	3	648	12	7
BS5	FA4	6	2	4162	48	29
BS6	FA5	3	2	504	12	13
BS7	FA6	3	3	1153	24	24
BS8	FA7	2	0	1729	15	15
BS9	FA4	8	1	4066	35	14
keine Baustelle		2	2	0	0	0
Summe		38	21	15.803	217	160 1/2

Weiter können aus Tabelle 5-4 folgende Informationen gewonnen werden. So ermöglichten sieben Baufirmen auf neun unterschiedlichen Baustellen in Summe 217 Beobachtungstage. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden auf den Baustellen 36 Bauarbeiter beobachtet, von denen 19 einer Spiroergometrie zur Ermittlung der persönlichen Leistungsfähigkeit im Labor untersucht wurden. Dies erfolgte zudem bei zwei weiteren Bauarbeitern, die nicht auf einer Baustelle beobachtet wurden.

Die Aufzeichnung von 217 Beobachtungs-Mann-Tagen bedeutet, dass mehr Tages-Aufzeichnungen durchgeführt wurden, als ein Bauarbeiter üblicherweise in einem Jahr auf Baustellen im Hochbau arbeitet.<sup>189</sup>

Aus der Anzahl der Beobachtungstage und der täglich aufgezeichneten Tätigkeiten ergeben sich in Summe 15.803 Einzelnotierungen einer Tätigkeit, einer Unterbrechung oder eines nicht erkennbaren Vorganges.

### 5.3.2 Verteilung der Datenerhebungen für Mauerwerksbau sowie Schal- und Betonierarbeiten im Mehrgeschoßigen Wohnbau

Neben den Tätigkeitsnotierungen erfolgte die Erhebung des Leistungsfortschrittes für Mauerwerksarbeiten, wobei dies bei 12 der 36 beobachteten Bauarbeitern möglich war und 8 dieser 12 Bauarbeiter an der Spiroergometrie teilgenommen haben. Somit ergibt sich für die Beobachtungen des Leistungsverlaufs in Kombination mit der Beanspruchungsanalyse ein Umfang von 59 Mann-Tagen.

Tabelle 5-5 Übersicht untersuchter Baustellen mit Mauerwerksarbeiten

Baustelle	Baufirma	Anzahl Bauarbeiter		Tätigkeitsaufzeichnungen	Beobachtungstage		
		Gesamt	mit Laboruntersuchung		Gesamt	mit Herzfrequenzmessung	mit Herzfrequenzmessung und Leistungsaufzeichnung
		[#]	[#]				
BS1	FA1	0	0	0	0	0	0
BS2	FA2	4	4	1584	34	32	32
BS3	FA3	3	2	906	17	17	3
BS4	FA2	0	0	0	0	0	0
BS5	FA4	5	2	3891	43	24	24
BS6	FA5	0	0	0	0	0	0
BS7	FA6	0	0	0	0	0	0
BS8	FA7	0	0	0	0	0	0
BS9	FA4	0	0	0	0	0	0
keine Baustelle		0	0	0	0	0	0
Summe		12	8	6381	94	73	59

<sup>189</sup> Dieser Umstand ergibt sich aus folgender Überlegung, welche in Kropik, A.; Ehgartner, J.; Prestros, L.: Mittellohnpreiskalkulation: Übungs- und Schulungsheft ; Kalkulationsstichtag 1. Mai 2008, 17. Auflage, Geschäftsstelle Bau, Wien 2009, dargestellt sind:

Arbeitswochen/ Jahr	52,00	Wo
Urlaub	- 5,15	Wo
Krankenstand	- 2,20	Wo
Feiertage und arbeitsfrei Tage	- 2,40	Wo
Ausfallzeiten wegen Schlechtwetter	- 1,50	Wo
Summe = betriebliche Anwesenheitszeit	40,75	Wo = 203,75 Arbeitstage bei 5 Arbeitstagen pro Woche.

Zusätzlich zu diesen 59 Mann-Tagen wurden bei weiteren Bauarbeitern, welche nicht mit Mauerwerksarbeiten beschäftigt waren, aber einen Ergometertest abgelegt haben, 54 Mann-Tage beobachtet.

### 5.3.3 Beispielhafte Darstellung des Auswertungsvorganges am Beispiel der Mauerwerksarbeiten

Die nachfolgende Darstellung zeigt die detaillierte Vorgehensweise bei der Auswertung der Tätigkeitsbeobachtungen im Mauerwerksbau. Dabei werden jedoch nur die wesentlichen Schritte, die dem Verständnis der Datenherkunft dienen wiedergegeben.<sup>190</sup>

#### 5.3.3.1 Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der Tätigkeitskategorien, Tätigkeitsunterkategorien und einzelnen Tätigkeiten (N = 6.381)

Aufgrund der Überlegungen der Dissertation<sup>191</sup> kann die Aussage zu allen drei Tätigkeitsauswertungen getroffen werden, dass sich bei dieser großen Datenmenge ein signifikantes Ergebnis für alle beobachteten Tätigkeiten errechnet. Ein hoch signifikantes Ergebnis tritt bei einem einzelnen Vorgang mit einem Anteil von weniger als 21 % oder mehr als 79 % am Gesamtarbeitsablauf auf.

N=6.063, 99 % Eintrittswahrscheinlichkeit  
→ Varianz < 1,65%

Signifikantes Ergebnis der Tätigkeitsverteilung der gesamten Beobachtung und hoch signifikantes Ergebnis für Tätigkeiten mit einem Anteil kleiner 21 % und größer 79 %

#### 5.3.3.2 Datenreihen bezogen ausschließlich auf Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau (N=4.113)

Da die Datenreihen, die sich ausschließlich auf die Maurerarbeiten im mehrgeschossigen Wohnbau beziehen, eine Untergruppe aller Tätigkeitsnotierungen darstellt, wird dieser Datensatz nochmals explizit ausgewertet. Wie zuvor ausgeführt, liegt auch für diese Auswertung die Erwartungshaltung des Anteilswertes 0,99 und 0,01.<sup>192</sup> Die Varianz wird erneut graphisch dargestellt:

<sup>190</sup> Eine vollständige Darstellung der Datenauswertung im Mauerwerksbau findet sich in der Dissertation von Schlagbauer (Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012).

<sup>191</sup> Vgl. Schlagbauer-Diss, S.111-113.

<sup>192</sup> Die Darstellung erfolgt analog zu Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. nur bis zum Wert p=0,50.

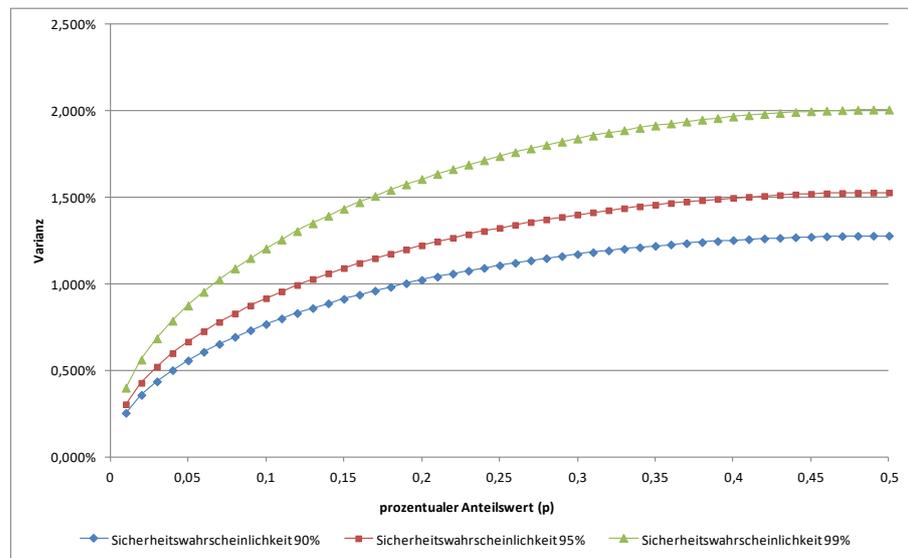


Bild 5-4 Varianz  $\varepsilon$  für einzelne Tätigkeiten des Maurers im mehrgeschossigen Wohnbau in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils ( $p$ )

Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 99 % entsteht infolge der großen Anzahl von Einzelaufzeichnungen lediglich eine Varianz der Tätigkeitsverteilung von  $\varepsilon < 2,01$  % (siehe Bild 5-4).

### 5.3.3.3 Beobachtungs-Mann-Tage (N = 94)

Für die Auswertung der Beobachtungs-Mann-Tage, welche eine Aussage über die tägliche Tätigkeitsverteilung eines Bauarbeiters mit überwiegend Mauerwerksarbeiten liefert, wird die Gleichung (6.12) angewandt.

Auf Grund der geringeren Grundgesamtheit resultiert bei dieser Betrachtung eine größere Varianz der Ergebnisse als bei den vorhergehenden Datenreihen. Im vorliegenden Fall wurde aufgrund der Tätigkeitsanalyse angenommen, dass eine einzelne Tätigkeit einen prozentuellen Anteil von  $p = 1 - 30$  % erreicht, wodurch sich eine Varianz von

- ◆ 1,683 % bis 7,752 % bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit 90 %,
- ◆ 2,011 % bis 9,264 % bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit 95 %,
- ◆ 2,643 % bis 12,171 % bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 99 % ergibt.

Aufgrund dieser Auswertungen ergibt sich für Vorgänge mit einem Anteil von weniger als 10 % oder mit mehr als 90 % Anteil am Gesamtarbeitstag ein signifikantes Ergebnis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 90 %.

N=94, 90% Eintrittswahrscheinlichkeit  
 → Varianz < 8%  
 für  $p < 30$  %

Signifikantes Ergebnis der Tätigkeitsverteilung eines Arbeitstages mit 90% Eintrittswahrscheinlichkeit für  $p < 10$  %

### 5.3.3.4 Beobachtungen des Leistungsverlaufs im Mauerwerksbau (N = 59)

Eine noch größere Varianz ist bei den Beobachtungen des Leistungsverlaufs in Verbindung mit Laboruntersuchungen zu erwarten, da der Stichprobenumfang nochmals auf eine Grundgesamtheit von N = 59 eingeschränkt wird. Aus Gleichung (6.12) kann auch hier ein Wert für die Varianz unter vorher festgelegtem Sicherheitsniveau ermittelt werden, wobei in diesem Fall der Wert für den prozentuell erwarteten Anteil mit  $p = q = 0,5$  angenommen wurde. Somit ergeben sich die in Tabelle 5-6 dargestellten Werte.

Tabelle 5-6 Varianzen  $\varepsilon$  der Ergebnisse der Leistungswerte (N = 59)

Eintrittswahrscheinlichkeit	Sicherheitswahrscheinlichkeit (t)	Varianz $\varepsilon$
90 %	1,64	10,675 %
95 %	1,96	12,759 %
99 %	2,575	16,762 %

### 5.3.4 Aussagekraft der durchgeführten Datenerhebung

Aus den Auswertungen der der Varianzen und der Standardabweichungen kann somit festgestellt werden, dass für die Tätigkeitsbeobachtungen und die Verteilung der täglichen Arbeitszeit sowie der Beobachtung des Leistungsverlaufes genügend Daten für statistisch fundierte Aussagen vorhanden sind.

Die persönlichen Kennwerte der Bauarbeiter, bei denen es auf Grund der Heterogenität der Untersuchungsgruppe schon im Vorfeld klar war, dass eine breite Streuung vorhanden ist. Die Untersuchung der Korrelation wurde im Rahmen der Dissertation geführt und bestätigt die in der Literatur vorgefundenen Ansätze der für die weitere Anwendung wesentlichen physiologischen Parameter.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Datenerhebungen der jeweiligen Module dargestellt. Hierbei erfolgte die Unterscheidung in Hinblick auf den Beobachtungszeitraum (Tag, Woche oder Gesamtbeobachtungszeitraum) und auf die Anzahl der beobachteten Bauarbeiter (einzelner Bauarbeiter oder Arbeitsgruppe). Aufbauend auf den Aufzeichnungen des Datenerhebungsbogens werden die Daten gemäß den Kategorien in Tabelle 4-2 unterteilt.

## 5.4 Tätigkeitsanalyse

In der Tätigkeitsanalyse erfolgte Anteilsmäßige Auswertung der Aufzeichnungen aus der MMA.

### 5.4.1 Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der ersten Kategorieebene

In der ersten Stufe der Datengruppierung werden die aufgezeichneten Vorgänge und Teilvorgänge in die Kategorien „Tätigkeit“, „Unterbrechung“ und „Nicht erkennbar“ eingeteilt.

Die Datenauswertung erfolgt danach durch Auswertung der Verteilung an

- einem Arbeitstag eines Bauarbeiters<sup>193</sup>,
- einem Arbeitstag aller auf einer Baustelle beobachteten Bauarbeiter<sup>193</sup>,
- allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters<sup>193</sup>,
- allen Arbeitstagen aller auf einer Baustelle beobachteten Bauarbeiter<sup>193</sup>,
- allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter.

Die Verteilung aller beobachteten Bauarbeiter auf allen Baustellen wird in Tabelle 5-7 dargestellt. In den Spalten sind die jeweiligen maximalen, minimalen und durchschnittlichen Anteilswerte der jeweiligen Kategorie am Arbeitstag dargestellt.

Tabelle 5-7 Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N = 15.803)

Kategorie	maximaler Anteil	minimaler Anteil	durchschnittlicher Anteil
Tätigkeit	100,0 %	20,7 %	72,01 %
Unterbrechung	55,6 %	0,0 %	19,58 %
Nicht erkennbar	75,9 %	0,0 %	8,41 %

<sup>193</sup> Die detaillierte Datenauswertung aller beschriebenen Bereiche findet sich in der Dissertation in Kapitel xx. An dieser Stelle wird nur das Ergebnis des gesamten Beobachtungszeitraumes dargestellt, da dies für die weitere Verwendung maßgebend ist.

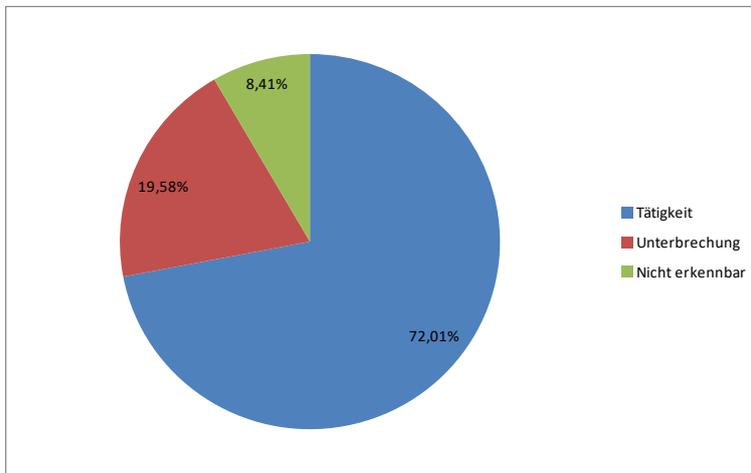


Bild 5-5 Mittelwert der Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803)

Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, dass die untersuchten Bauarbeiter im Durchschnitt zu 72,01 % ihrer Brutto-Arbeitszeit mit der Ausführung von Tätigkeiten beschäftigt waren und Unterbrechungen im Ausmaß von 19,58 % aufgenommen wurden. In dieser gesamten Arbeitszeit sind auch die vom Arbeitgeber vorgegebenen Pausenzeiten enthalten. In welcher Höhe diese Zeiten anfallen, wird mit Hilfe der weiteren Auswertungen der zweiten Kategorieebene und der einzelnen Vorgänge ermittelt.

#### 5.4.2 Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der zweiten Kategorieebene

In der zweiten Stufe der Datengruppierung werden die einzelnen von den Beobachtern festgehaltenen Tätigkeiten in die Unterkategorien „Haupttätigkeit“, „Nebentätigkeit“, „Sonstige Tätigkeit“ sowie in „Ablaufbedingte Unterbrechung“, „Störungsbedingte Unterbrechung“, „Erholungsbedingte Unterbrechung“, „Persönlich bedingte Unterbrechung“ und „Nicht erkennbar“ eingeteilt. Die Datenauswertung erfolgt durch Auswertung der Auftretungshäufigkeiten nach den zuvor dargestellten Unterteilungen.

In Tabelle 5-8 sind die jeweiligen maximalen, minimalen und durchschnittlichen Anteilswerte der jeweiligen Unterkategorie Verteilung aller beobachteten Bauarbeiter auf allen Baustellen dargestellt.

Tabelle 5-8 Verteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter

Kategorie	maximaler Anteil	minimaler Anteil	durchschnittlicher Anteil
Haupttätigkeit	86,2 %	0,0 %	39,77 %
Nebentätigkeit	80,0 %	0,0 %	29,33 %
Sonstige Tätigkeit	67,8 %	0,0 %	2,92 %
Ablaufbedingte Unterbrechung	22,2 %	0,0 %	2,88 %
Störungsbedingte Unterbrechung	22,5 %	0,0 %	1,32 %
Erholungsbedingte Unterbrechung	33,3 %	0,0 %	13,20 %
Persönlich bedingte Unterbrechung	20,0 %	0,0 %	2,18 %

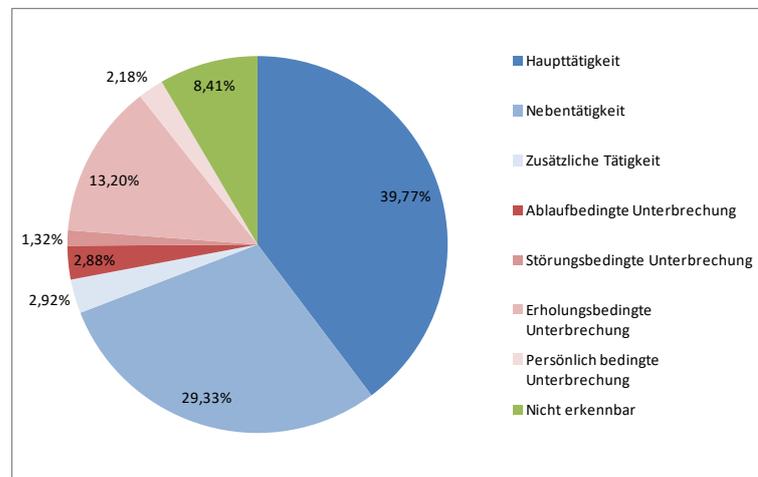


Bild 5-6 Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803)

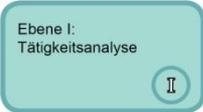
Es ist ersichtlich, dass sich der zuvor ermittelte Tätigkeitsanteil von im Durchschnitt 72,01 % der Brutto-Arbeitszeit auf 39,77 % „Haupttätigkeit“, 29,33 % „Nebentätigkeit“ und 2,92 % „Zusätzliche Tätigkeit“ aufteilt.

Der Anteil von 19,58 % für Unterbrechungen kann in 2,88 % „Ablaufbedingte Unterbrechungen“, 1,32 % „Störungsbedingte Unterbrechungen“, 13,20 % „Erholungsbedingte Unterbrechungen“ und 2,18 % „persönlich bedingte Unterbrechungen“ aufgeteilt werden.

Diese Darstellung bezieht sich auf die gesamte Arbeitszeit und inkludiert die vom Arbeitgeber vorgegebenen Pausenzeiten, welche sich im Anteil „Erholungsbedingte Unterbrechung“ abbilden.

## 5.5 Tätigkeitsverteilung der Bauarbeiter im Mauerwerksbau

Mit Hilfe der erhobenen Daten und anhand der zuvor dargestellten Auswertungssystematik kann somit eine durchschnittliche Verteilung der einzelnen Kategorien für einen Bauarbeiter, der überwiegend mit Mauerwerksarbeiten im Rohbau beschäftigt ist, ermittelt werden.



### 5.5.1 Verteilung der Vorgänge auf der Kategorieebene

Für diese weiterführende Datenanalyse werden nur jene Bauarbeiter berücksichtigt, die in der beobachteten Zeit über 50 % mit Mauerwerksarbeiten beschäftigt waren<sup>194</sup>.

Bei diesen ausgewählten Bauarbeitern mit Laboruntersuchungen wurden 4.429 einzelne Vorgänge an 72 Beobachtungstagen notiert. Weitere 1.952 einzelne Vorgänge wurden an 22 Beobachtungstagen bei Bauarbeitern ohne Laboruntersuchungen durchgeführt. Dies ergibt in Summe 6.381 einzelne Beobachtungen an 94 Beobachtungstagen. In der nachfolgenden Tabelle ist die Verteilung der Vorgänge in der ersten und zweiten Kategorieebene dargestellt.

<sup>194</sup> Dies sind die Bauarbeiter TU3, TU4, TU 7, TU 8, TU 9, TU 10, TU 14, TU 15, TU 24, TU 27, TU 29 und TU 30, wobei nur bei den Bauarbeitern TU3, TU4, TU 7, TU 8, TU 9, TU 10, TU 14 und TU 15 Spiroergometrien durchgeführt wurden.

Tabelle 5-9 Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung aller erhobenen Daten

Kategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert
Tätigkeit	100,00 %	20,69 %	67,81 %
Unterbrechung	55,56 %	0,00 %	22,88 %
Nicht erkennbar	75,86 %	0,00 %	9,31 %
Unterkategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert
Haupttätigkeit	65,31 %	0,00 %	34,15 %
Nebentätigkeit	79,66 %	4,17 %	29,42 %
Zusätzliche Tätigkeit	67,80 %	0,00 %	4,25 %
Ablaufbedingte Unterbrechung	22,22 %	0,00 %	2,65 %
Störungsbedingte Unterbrechung	11,67 %	0,00 %	1,44 %
Erholungsbedingte Unterbrechung	33,33 %	0,00 %	16,42 %
Persönlich bedingte Unterbrechung	20,00 %	0,00 %	2,37 %

Ein Wert von 100 % Tätigkeit während der Arbeitsdurchführung bei einem Bauarbeiter scheint nur unter besonderen Umständen auftreten zu können. Dieser Wert wurde an einem einzelnen Tag aufgenommen, an dem die Bauarbeiter bei nur 10 Vorgängen beobachtet werden konnten, bevor diese die Baustelle verließen. Dieser einzelne Beobachtungstag wurde daher aus der Auswertung herausgenommen. Gleiches gilt für einen weiteren Tag, an dem der Beobachtungsumfang zu gering war.

Insgesamt ergeben sich 6.285 Einzelaufzeichnungen bzw. 87 Beobachtungstagen und eine Verteilung entsprechend Tabelle 5-10 und Tabelle 5-11.

Tabelle 5-10 Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285)

Kategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert
Tätigkeit	88,52 %	20,69 %	67,65 %
Unterbrechung	35,09 %	0,00 %	22,93 %
Nicht erkennbar	75,86 %	0,00 %	9,42 %

Tabelle 5-11 Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285)

Unterkategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert
Haupttätigkeit	65,31 %	0,00 %	34,08 %
Nebentätigkeit	79,66 %	3,30 %	29,26 %
Zusätzliche Tätigkeit	67,80 %	0,00 %	4,31 %
Ablaufbedingte Unterbrechung	14,88 %	0,00 %	2,56 %
Störungsbedingte Unterbrechung	11,67 %	0,00 %	1,46 %
Erholungsbedingte Unterbrechung	28,10 %	0,00 %	16,63 %
Persönlich bedingte Unterbrechung	10,53 %	0,00 %	2,28 %

Demnach weist die Kategorie „Nicht erkennbar“ einen Maximalwert von 75,86 % aus. Um auch die Verfälschung der Verteilungen aufgrund dieses Einflusses auszuschließen, wurden all jene Beobachtungstage aus der Auswertung herausgenommen, bei denen der Anteil „Nicht erkennbar“ einen größeren Wert als 20% aufweist<sup>195</sup>. Nach dieser Korrektur ergibt sich ein Beobachtungsumfang von 4.956 Einzelbeobachtungen bzw. 63 Beobachtungstagen.

Tabelle 5-12 Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierter Datensätze („Nicht erkennbar < 20 % des Beobachtungstages) (N=4.956)

Kategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert	$\epsilon$ (t= 95 %)
Tätigkeit	88,52 %	47,37 %	73,06 %	1,24 %
Unterbrechung	35,09 %	10,00 %	24,27 %	1,19 %
Nicht erkennbar	17,65 %	0,00 %	2,66 %	0,45 %
Unterkategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert	$\epsilon$ (t= 95 %)
Haupttätigkeit	65,31 %	0,00 %	39,51 %	1,36 %
Nebentätigkeit	79,66 %	4,17 %	29,96 %	1,28 %
Zusätzliche Tätigkeit	67,80 %	0,00 %	3,59 %	0,52 %
Ablaufbedingte Unterbrechung	14,88 %	0,00 %	2,93 %	0,47 %
Störungsbedingte Unterbrechung	11,67 %	0,00 %	1,86 %	0,38 %
Erholungsbedingte Unterbrechung	28,10 %	6,98 %	17,84 %	1,07 %
Persönlich bedingte Unterbrechung	10,17 %	0,00 %	1,65 %	0,35 %

<sup>195</sup> Der Wert von 20 % wurde gewählt, um eine ausreichend stabile Aussage über die tatsächlichen Tätigkeiten treffen zu können.

Aus Tabelle 5-12 ist abzuleiten, dass ein Bauarbeiter im Mauerwerksbau im Durchschnitt zu 73,69 % mit Tätigkeiten der Arbeitsdurchführung beschäftigt war. Der Kategorie „Unterbrechung“ sind 23,71 % zuzuordnen.<sup>196</sup>

### 5.5.2 Verteilung der Tätigkeiten auf der Unterkategorieebene

Betrachtet man die Verteilung der Vorgänge auf Ebene der Unterkategorien, so ergibt sich folgende Aufteilung:

- 39,51 % mit Haupttätigkeiten
- 29,96 % mit Nebentätigkeiten
- 3,59 % mit zusätzlichen Tätigkeiten

Aus den Maximal- und Minimalwerten ist ersichtlich, dass es jeweils bei den Anteilen der Haupt- und Nebentätigkeiten starke Ausreißer nach oben und unten gegeben hat. Diese Abweichung kann durch die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben der beobachteten Bauarbeiter, die sich aus Fach- und Hilfsarbeiter zusammensetzen, erklärt werden.

Für die weitere Auswertung muss daher eine vertiefte Betrachtung der unterschiedlichen Tätigkeitsverteilungen von Fach- und Hilfsarbeitern durchgeführt werden. Facharbeiter führen überwiegend reine Mauerwerksarbeiten durch und bestimmen maßgebend den Leistungsoutput. Für die weitere Betrachtung in Kombination mit dem Leistungsverlauf werden nur die Baustellenbeobachtungsdaten der Facharbeiter (TU4, TU8, TU 9, TU10, TU 14, TU15, TU 24 und TU30) herangezogen.

Die Auswertung der Analyseebene der Unterkategorien ist zur Beschreibung der durchgeführten Tätigkeiten noch zu wenig präzise, um die Arbeitsvorgänge und -ablaufschritte von Bauarbeitern im Mauerwerksbau nachvollziehbar darzustellen. Daher erfolgt eine weitere Zerlegung der Unterkategorien Haupttätigkeit und Nebentätigkeit in die am häufigsten auftretenden Tätigkeitsgruppen und eine Unterscheidung der „Persönlich bedingten Unterbrechungen“ in „Eigene Pausen“<sup>197</sup> und „Vorgegebene Pausen“<sup>198</sup>.

---

<sup>196</sup> Mit Hilfe der statistischen Datenanalyse ergibt sich für die dargestellten Mittelwerte eine Standardabweichung von 0,38 bis 1,36 Prozent je nach Anteil der Kategorie oder Unterkategorie. Dies zeigt, dass durch die ausreichend große Datengrundlage nur geringe statistische Abweichungen zu erwarten sind.

<sup>197</sup> „Eigene Pausen“ sind Pausen, bei denen der jeweilige Arbeiter selbst entscheidet, wann er diese macht und wie lange diese dauern; Vgl. Schlagbauer, D.: „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ - Auswertung empirischer Untersuchungen der Tätigkeiten im Baumeistergewerbe in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffender Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag, Wien 2010, S.207-237.

<sup>198</sup> „Vorgegebene Pausen“ sind Pausen, die dem jeweiligen Bauarbeiter durch seinen Vorgesetzten, den Arbeitsvertrag und allen weiteren Gesetzen, welche die Arbeitszeit betreffen, vorgegeben werden; Vgl. Schlagbauer, D.: „Arbeitsbelas-

Auf Basis dieser Kategorisierung ergibt sich folgendes Tätigkeitsprofil eines Bauarbeiters mit überwiegendem Anteil an Mauerwerksarbeiten:

Tabelle 5-13 Häufigkeit der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau (N=4.113)

Tätigkeits-kategorie	Tätigkeits-unterkategorie	Tätigkeitsgruppe	Durchschnittlicher Anteil	$\varepsilon$ (t= 95 %)
Tätigkeit			72,89 %	1,359 %
Haupttätigkeit			46,29 %	1,524 %
	Mauern		35,93 %	1,466 %
	Schalen		6,39 %	0,747 %
	Bewehren		2,99 %	0,520 %
	Betonieren		0,73 %	0,260 %
	Sonst. Haupttätigkeiten		0,24 %	0,150 %
Nebentätigkeit			24,02 %	1,306 %
	Herrichten		2,99 %	0,520 %
	Vorbereiten Mauern		9,99 %	0,916 %
	Vorbereiten Schalen		2,94 %	0,516 %
	Vorbereiten Betonieren		0,07 %	0,081 %
	Vorbereiten Allgemein		1,87 %	0,414 %
	Wegräumen		4,05 %	0,602 %
	Besprechen		3,89 %	0,591 %
Sonstige Tätigkeiten			2,58 %	0,485 %
Unterbrechung			25,21 %	1,327 %
Ablaufbedingte Unterbrechung			3,31 %	0,547 %
Störungsbedingte Unterbrechung			1,82 %	0,409 %
Erholungsbedingte Unterbrechung			18,60 %	1,189 %
	Vorgegebene Pausen		11,52 %	0,976 %
	Eigene Pausen		7,08 %	0,784 %
Persönlich bedingte Unterbrechung			1,48 %	0,369 %

Aus der Tabelle 5-13 ist ersichtlich, dass der beobachtete Maurer durchschnittlich zu 46,29 % der Brutto-Arbeitszeit mit der Ausführung von Haupttätigkeiten beschäftigt war, wobei die tatsächlichen Mauerwerksarbeiten einen Anteil von 35,93 % ausmachen.

Analog dazu machen auch bei den „Nebentätigkeiten“ mit einem Anteil von 24,02 %, die Vorbereitungsarbeiten für den Mauerwerksbau den größten Anteil mit 9,99 % aus. Daneben sind vor allem die Anteile des

„Tätigkeit und Arbeitsleistungskurven“ - Auswertung empirischer Untersuchungen der Tätigkeiten im Baumeistergewerbe in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffender Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag, Wien 2010, S.207-237.

„Herrichtens“ zu Arbeitsbeginn, des „Wegräumens“ am Ende des Arbeitstages sowie allgemeine Vorbereitungsarbeiten für nicht eindeutig zuordenbare Arbeiten und die Besprechungen zum Arbeitsablauf, die wesentlichen Anteile der Nebentätigkeiten.

Bei den „Unterbrechungen“, die einen Anteil von 25,21 % ausmachen, dominieren mit 18,60 % die „Erholungsbedingten Unterbrechungen“, wobei darin die „Vorgegebenen Pausen“, infolge der von der Firma vorgegebenen Pausengestaltung, den überwiegenden Anteil von 11,52 % ausmachen.

Weitere Zeit zur Erholung findet der Bauarbeiter im Rahmen der selbst gewählten „eigenen Pausen“ und der „persönlich bedingten Unterbrechungen“, die insgesamt einen Anteil von 8,56 % betragen.

### 5.5.3 Verteilung der Tätigkeiten im Verlauf des Arbeitstages

Neben der Verteilung der Tätigkeitsgruppen am gesamten Arbeitstag ist für die weitere Anwendung die Auswertung der Verteilung der Tätigkeitsgruppen in der jeweiligen Arbeitsstunde von Bedeutung.<sup>199</sup>

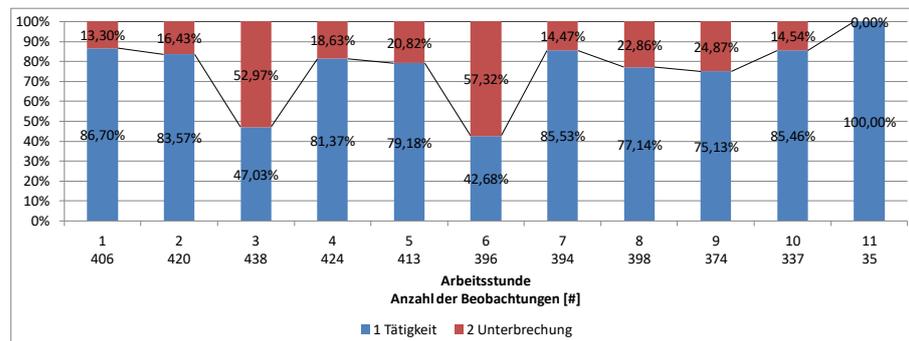


Bild 5-7 Verteilung der Tätigkeitskategorien in den einzelnen Arbeitsstunden

Nach Bild 5-7 ist eine geringe Zunahme der Kategorie „Unterbrechung“ im Laufe des Arbeitstages von der ersten bis zur neunten Stunde festzustellen. In der dritten und sechsten Stunde erhöhen sich die Unterbrechungswerte durch die vorgegebenen Pausenzeiten sprunghaft. In der zehnten Arbeitsstunde erfolgt ein Rückgang der Unterbrechungen. Dies dürfte mit der Ausführung der Tätigkeit „Aufräumen“ zusammenhängen.

<sup>199</sup> Die Auswertung erfolgt dabei nur für die als Facharbeiter eingestufteten Bauarbeiter TU 4, TU 8, TU 9, TU 10, TU 14, TU 15, TU 24 und TU 30 mit einem Datenumfang von 4.035 Aufzeichnungen, entsprechend den zuvor erläuterten Kriterien sowie ohne die Kategorie „Nicht erkennbar“.

Tabelle 5-14 Verteilung der Tätigkeitsunterkategorien in den einzelnen Arbeitsstunden

Unterkategorie	Arbeitsstunde										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anzahl Notierungen	406	420	438	424	413	396	394	398	374	337	35
11 Haupttätigkeit	37,93 %	55,71 %	26,48 %	58,49 %	53,75 %	25,76 %	58,12 %	46,98 %	49,47 %	64,69 %	25,71 %
12 Nebentätigkeit	47,29 %	24,52 %	18,95 %	20,05 %	21,55 %	16,16 %	24,87 %	25,13 %	21,66 %	19,88 %	74,29 %
13 Zusätzliche Tätigkeit	1,48 %	3,33 %	1,60 %	2,83 %	3,87 %	0,76 %	2,54 %	5,03 %	4,01 %	0,89 %	0,00 %
21 Ablaufbedingt	3,94 %	2,38 %	1,14 %	5,19 %	3,87 %	0,00 %	4,06 %	6,78 %	4,28 %	2,97 %	0,00 %
22 Störungsbedingt	8,87 %	5,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	3,52 %	0,53 %	0,00 %	0,00 %
23 Erholungsbedingt	0,25 %	6,90 %	51,83 %	10,85 %	14,04 %	57,07 %	8,38 %	11,31 %	16,84 %	10,98 %	0,00 %
24 Persönlich bedingt	0,25 %	2,14 %	0,00 %	2,59 %	2,91 %	0,25 %	2,03 %	1,26 %	3,21 %	0,59 %	0,00 %

Durch die detailliertere Betrachtung Unterkategorien ist erkennbar, dass der Großteil der „Unterbrechungen“ auf die „Persönlich bedingten Unterbrechungen“ zurückzuführen sind, wobei diese mit zunehmender Arbeitsdauer ansteigen.

Der Anteil „Haupttätigkeit“ an der Kategorie „Tätigkeit“ in der ersten und letzten Arbeitsstunde zeigt einen deutlich geringeren Anteil als in den restlichen Arbeitsstunden (Siehe Bild 5-8). Dieser Umstand ist mit dem erhöhten Anteil an Vorbereitungstätigkeiten (Tätigkeitsgruppe „Herrichten“) sowie Tagesabschlussstätigkeiten (Tätigkeitsgruppe „Aufräumen“) zu erklären.

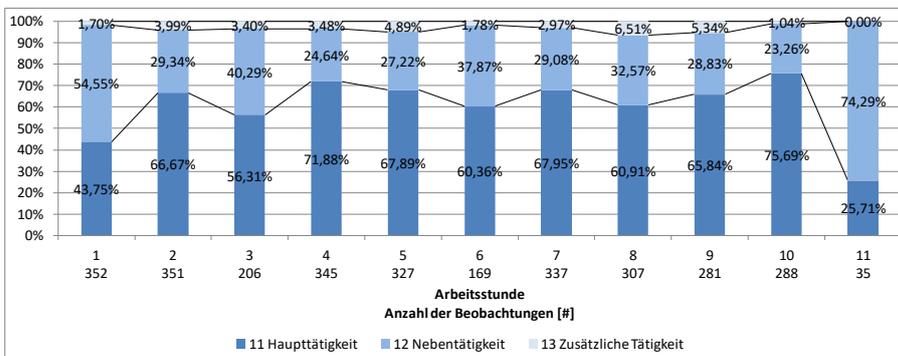


Bild 5-8 Anteile der Unterkategorien an der Kategorie "Tätigkeit" in der jeweiligen Arbeitsstunde

Tabelle 5-15 Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden

Tätigkeitsgruppe	Arbeitsstunde										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
111 Mauern	30,0 %	44,8 %	17,8 %	45,8 %	42,9 %	19,2 %	45,9 %	38,4 %	37,7 %	47,2 %	25,7 %
112 Schalen	5,9 %	6,2 %	4,1 %	8,3 %	5,6 %	3,0 %	5,6 %	2,8 %	9,4 %	16,9 %	0,0 %
113 Bewehren	1,0 %	4,3 %	2,3 %	3,3 %	4,4 %	2,5 %	5,1 %	5,0 %	2,4 %	0,0 %	0,0 %
114 Betonieren	0,0 %	0,5 %	2,3 %	0,9 %	0,7 %	1,0 %	1,5 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
115 Sonstiges	1,0 %	0,0 %	0,0 %	0,2 %	0,2 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	0,0 %	0,6 %	0,0 %
121 Vorbereiten Mauern	19,0 %	10,5 %	10,0 %	10,1 %	10,9 %	7,3 %	10,9 %	8,3 %	9,1 %	5,6 %	0,0 %
122 Vorbereiten Schalen	0,7 %	3,1 %	0,5 %	1,2 %	3,9 %	2,0 %	5,3 %	8,5 %	2,4 %	3,0 %	0,0 %
124 Vorbereiten Betonieren	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,5 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
126 Vorbereiten allgemein	3,4 %	2,1 %	2,7 %	1,9 %	1,0 %	0,8 %	1,5 %	1,3 %	2,9 %	1,5 %	0,0 %
127 Herrichten	19,2 %	1,4 %	2,7 %	0,7 %	0,7 %	2,8 %	1,3 %	0,5 %	0,8 %	0,0 %	0,0 %
128 Aufräumen	0,0 %	0,7 %	0,0 %	1,4 %	1,2 %	0,0 %	1,3 %	2,5 %	2,9 %	8,0 %	74,3 %
129 Besprechung	4,9 %	6,7 %	3,0 %	4,7 %	3,9 %	3,3 %	4,1 %	3,8 %	3,5 %	1,8 %	0,0 %
131 Zusätzliche Tätigkeiten	1,5 %	3,3 %	1,6 %	2,8 %	3,9 %	0,8 %	2,5 %	5,0 %	4,0 %	0,9 %	0,0 %
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	3,9 %	2,4 %	1,1 %	5,2 %	3,9 %	0,0 %	4,1 %	6,8 %	4,3 %	3,0 %	0,0 %
221 Störungsbedingte Unterbrechung	8,9 %	5,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	3,5 %	0,5 %	0,0 %	0,0 %
231 Pause	0,0 %	1,4 %	50,9 %	0,2 %	1,9 %	56,8 %	1,8 %	1,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
232 Eigene Pause	0,2 %	5,5 %	0,9 %	10,6 %	12,1 %	0,3 %	6,6 %	10,3 %	16,8 %	11,0 %	0,0 %
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,2 %	2,1 %	0,0 %	2,6 %	2,9 %	0,3 %	2,0 %	1,3 %	3,2 %	0,6 %	0,0 %

Aufgrund des Charakters und der geringen Häufigkeit der aufgenommenen Tätigkeiten in der elften Stunde wurden diese in der weiteren Betrachtung mit den Daten der zehnten Stunde zusammenfasst. Dadurch wird der Umstand berücksichtigt, dass die letzten Tätigkeiten jedes Arbeitstages der Tätigkeitsgruppe „Aufräumen“ angehören. Das Ergebnis dieser Modifikation ist nachfolgend in Tabelle 5-16 dargestellt.

Tabelle 5-16 Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden mit Zusammenlegung der 10<sup>ten</sup> und 11<sup>ten</sup> Stunde

Tätigkeitsgruppe	Arbeitsstunde									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10/11
111 Mauern	30,0 %	44,8 %	17,8 %	45,8%	42,9 %	19,2%	45,9 %	38,4 %	37,7 %	45,2 %
112 Schalen	5,9 %	6,2 %	4,1 %	8,3%	5,6 %	3,0%	5,6 %	2,8 %	9,4 %	15,3 %
113 Bewehren	1,0 %	4,3 %	2,3 %	3,3%	4,4 %	2,5%	5,1 %	5,0 %	2,4 %	0,0 %
114 Betonieren	0,0 %	0,5 %	2,3 %	0,9%	0,7 %	1,0%	1,5 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %
115 Sonstiges	1,0 %	0,0 %	0,0 %	0,2%	0,2 %	0,0%	0,0 %	0,5 %	0,0 %	0,5 %
121 Vorbereiten Mauern	19,0 %	10,5 %	10,0 %	10,1%	10,9 %	7,3%	10,9 %	8,3 %	9,1 %	5,1 %
122 Vorbereiten Schalen	0,7 %	3,1 %	0,5 %	1,2%	3,9 %	2,0%	5,3 %	8,5 %	2,4 %	2,7 %
124 Vorbereiten Betonieren	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0%	0,5 %	0,3 %	0,0 %	0,0 %
126 Vorbereiten allgemein	3,4 %	2,1 %	2,7 %	1,9%	1,0 %	0,8%	1,5 %	1,3 %	2,9 %	1,3 %
127 Herrichten	19,2 %	1,4 %	2,7 %	0,7%	0,7 %	2,8%	1,3 %	0,5 %	0,8 %	0,0 %
128 Aufräumen	0,0 %	0,7 %	0,0 %	1,4%	1,2 %	0,0%	1,3 %	2,5 %	2,9 %	14,2 %
129 Besprechung	4,9 %	6,7 %	3,0 %	4,7%	3,9 %	3,3%	4,1 %	3,8 %	3,5 %	1,6 %
131 Zusätzliche Tätigkeiten	1,5 %	3,3 %	1,6 %	2,8%	3,9 %	0,8%	2,5 %	5,0 %	4,0 %	0,8 %
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	3,9 %	2,4 %	1,1 %	5,2%	3,9 %	0,0%	4,1 %	6,8 %	4,3 %	2,7 %
221 Störungsbedingte Unterbrechung	8,9 %	5,0 %	0,0 %	0,0%	0,0 %	0,0%	0,0 %	3,5 %	0,5 %	0,0 %
231 Pause	0,0 %	1,4 %	50,9 %	0,2%	1,9 %	56,8%	1,8 %	1,0 %	0,0 %	0,0 %
232 Eigene Pause	0,2 %	5,5 %	0,9 %	10,6%	12,1 %	0,3%	6,6 %	10,3 %	16,8 %	9,9 %
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,2 %	2,1 %	0,0 %	2,6%	2,9 %	0,3%	2,0 %	1,3 %	3,2 %	0,5 %

**5.6 Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages**

Für die Auswertung des Herzfrequenzverlaufs während eines Arbeitstages werden die mit den Pulsmessuhren aufgezeichneten Daten mittels Herstellersoftware<sup>200</sup> eingelesen und zur weiteren Bearbeitung vorbereitet.



<sup>200</sup> Polar Precision Performance SW, Version 4.03.050.

### 5.6.1 Herzfrequenzverlauf eines Bauarbeiters

Für die Auswertung erfolgte eine Mittel-, Maximal- und Minimalwertbildung aus den Herzfrequenzmesswerten eine Minute vor bis eine Minute nach dem Beobachtungszeitpunkt der Tätigkeitsaufzeichnung. Damit konnte von der singulären Zuordnung eines einzelnen Herzfrequenzwertes für eine Tätigkeit Abstand genommen werden und der Beobachtungsunschärfe der Belastungssituation Rechnung getragen werden.<sup>201</sup> Im nächsten Schritt erfolgte eine Korrektur der Ausreißer infolge von Messfehlern<sup>202</sup>, wobei diese offensichtlich fehlerhaften Werte gelöscht wurden.

Tabelle 5-17 Bearbeitete Herzfrequenztabelle Bauarbeiter TU25 – Ausschnitt

Uhrzeit	HF S/min	Mittelwert 2 min	Max.	Min.
10:55	72	80,25	89,00	72,00
11:00	89	84,50	93,00	77,00
11:05	77	83,00	91,00	77,00
11:10	76	82,63	86,00	76,00
11:15	112	108,00	114,00	101,00
11:20		#DIV/0!		
11:25		#DIV/0!		
11:30		#DIV/0!		
11:35		#DIV/0!		
11:40		#DIV/0!		
11:45		#DIV/0!		
11:50		#DIV/0!		
11:55	90	85,75	90,00	79,00

Im Zeitraum von 11:19 bis 11:51 stehen keine Datensätze infolge von einer fehlerhaften Datenaufzeichnung zur Verfügung. Dies ergibt bei der Mittelwertbildung den Fehlerwert „#DIV/0“. In einem solchen Fall wird in der weiteren Bearbeitung kein Wert für diese Zeiten im Datenerhebungsblatt eingetragen.

Auf Basis dieser Datentabellen erfolgt im nächsten Schritt die graphische Darstellung der Mittel-, Maximal- und Minimalwerte eines Arbeitstages (beispielhaft in Bild 5-9, Verlauf der HF-Werte im Zeitraum von 8:10 bis 9:50).

<sup>201</sup> Die Ergebnisse der Berechnung von Minimal- und Maximalwerten wurde für die Auswahl des Auswertungsintervalls herangezogen.

<sup>202</sup> Messfehler entstanden durch die äußere Einwirkungen (z.B. Handystrahlung) auf die Datenübertragung zwischen Pulsmessgurt und Pulsuhr. Diese Fehler verursachten dabei eine singuläre, unnatürlich hohe Herzfrequenz mit bis zu 260 S/min.

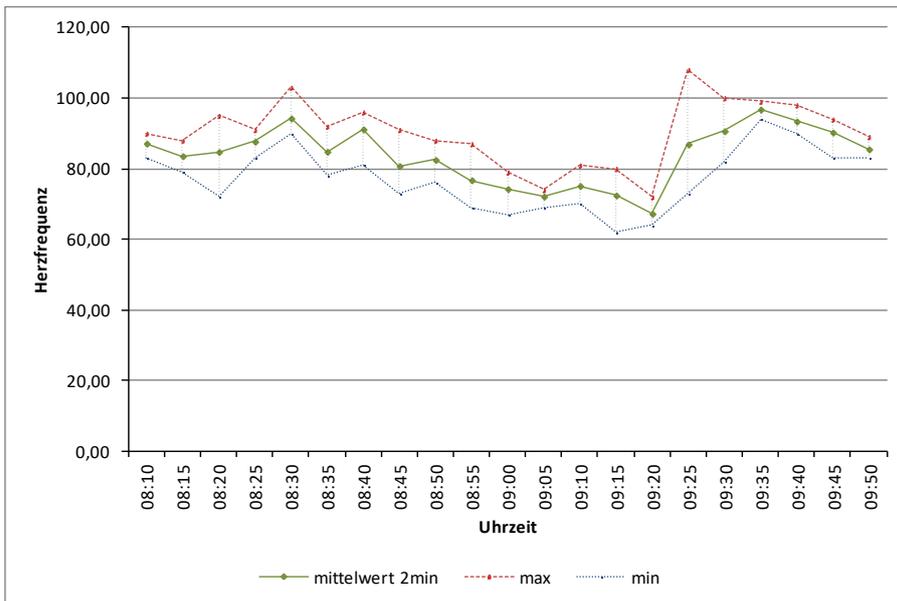


Bild 5-9 Bauarbeiter TU25 - Herzfrequenzwerte eines Arbeitstages

Der dargestellte Mittelwert wird in weiterer Folge für die Ermittlung der Beanspruchung der Tätigkeit verwendet.<sup>203</sup>

Durch die Auswertung des jeweiligen maximalen, minimalen und durchschnittlichen Herzfrequenzwerts am Arbeitstag ergibt sich exemplarisch für einen Bauarbeiter folgendes Bild:

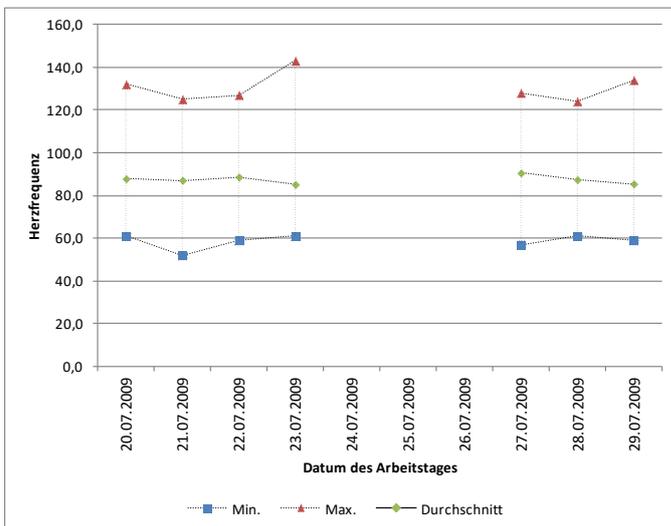


Bild 5-10 Herzfrequenzwerte für TU25 - Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Arbeitstage

<sup>203</sup> Die Darstellung der Bandbreite fungiert als Kontrolle, um etwaige Abweichungen durch extrem hohe oder niedrige Werte im Zuordnungsbereich erkennen und korrigieren zu können.

Demnach liegt die durchschnittliche Herzfrequenz des Bauarbeiters im Bereich von ca. 90 Schlägen pro Minute. Durch verschiedene höher anstrengende Arbeiten steigt die maximale Herzfrequenz an allen Tagen über 120 Schläge pro Minute; an einem Tag wurden sogar mehr 140 Schläge pro Minute verzeichnet.

### 5.6.2 Herzfrequenzwerte aller beobachteten Bauarbeiter

Entsprechend des zuvor dargestellten Beispiels wurden für alle Bauarbeiter aus dem Mauerwerksbau die Herzfrequenzmittel-, Maximal- und Minimalwerte jedes einzelnen Beobachtungstages ermittelt.<sup>204</sup>

Im nächsten Schritt erfolgte die Auswertung des gesamten Beobachtungszeitraums eines Bauarbeiters durch die Ermittlung der Maximal- und Minimalwerte und der Berechnung des Mittelwertes aus den einzelnen Tagesmitteln. Daraus ergibt sich die nachfolgend dargestellte Tabelle.<sup>205</sup>

Tabelle 5-18 Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 1 - TU 12) an allen Beobachtungstagen

Bauarbeiter	TU1	TU2	TU3	TU4	TU7	TU8	TU9	TU10	TU11	TU12
Maximum	141,0	162,0	153,0	159,0	171,0	168,0	153,0	134,0	163,0	183,0
Mittelwert	105,9	113,5	93,6	99,4	110,2	95,7	96,7	98,4	107,1	99,4
Minimum	57,0	73,0	54,0	67,0	71,0	56,0	56,0	71,0	67,0	58,0

Tabelle 5-19 Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 13 - TU 21) an allen Beobachtungstagen

Bauarbeiter	TU13	TU14	TU15	TU16	TU17	TU18	TU19	TU20	TU21	Alle Daten	Mittelwert	SD
Maximum	166,0	156,0	154,0	150,0	142,0	176,0	153,0	153,0	179,0	183,0	145,4	10,6
Mittelwert	88,8	97,3	101,2	92,6	91,0	109,8	104,5	106,2	116,2	101,8	101,8	7,2
Minimum	51,0	52,0	64,0	63,0	62,0	66,0	67,0	68,0	69,0	51,0	69,7	5,6

Aus Tabelle 5-18 und Tabelle 5-19 ist erkennbar, dass zwischen den einzelnen Bauarbeitern größere Abweichungen bei den mittleren Herzfrequenzwerten des Beobachtungszeitraums vorhanden sind.

Auf Grund der unterschiedlichen Arbeitsherzfrequenz eines jeden Bauarbeiters ist der direkte Vergleich der Beanspruchung der Tätigkeit nicht

<sup>204</sup> Die Ergebnisse dieser Auswertungen finden sich im Anhang der Dissertation (Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012) in Punkt A.10

<sup>205</sup> Im Rahmen dieser Datenaufbereitung wurden Beobachtungstage mit zu geringem Beobachtungsumfang bei Bauarbeitern TU9 (15.04.2008 und 18.04.2008), TU 14 (29.05.2009) und TU 19 (18.11.2008) aus der Auswertung herausgenommen.

möglich ist. Erst durch die Kombination mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen kann ein Vergleich hergestellt werden.<sup>206</sup>

### 5.6.3 Herzfrequenz am Arbeitstag und Leistung am Fahrradergometer

Eine Kombinationsmöglichkeit der Daten aus den Baustellenaufnahmen und den Laboruntersuchungen stellt die Gegenüberstellung der maximalen Leistung ( $P_{max}$ ) und dem Anteil der mittleren Herzfrequenz des Arbeitstages an der maximalen Herzfrequenz ( $\%HF_{max,AT}$ ) dar:

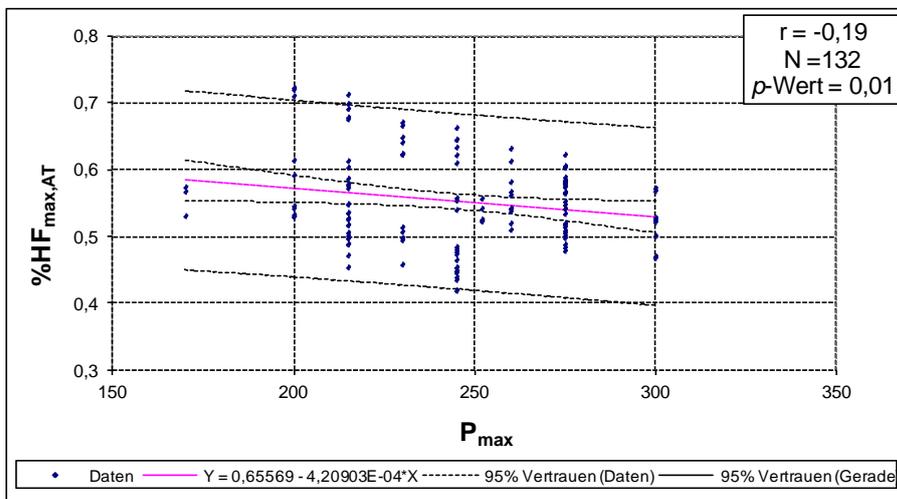


Bild 5-11 Verteilung von  $\%HF_{max,AT}$  in Abhängigkeit von  $P_{max}$

Aus Bild 5-11 ist ersichtlich, dass der Wert von  $\%HF_{max,AT}$  mit zunehmender Leistung beim Fahrradergometertest hoch signifikant ( $p$ -Wert = 0,01) abnimmt. Demnach nimmt bei einem höheren körperlichen Leistungsvermögen die Beanspruchung des Bauarbeiters am Arbeitstag bei gleicher körperlicher Leistung ab.

### 5.7 Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten

Aus den Untersuchungen in Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. in Kombination mit den Herzfrequenzmessungen erfolgt die Zuordnung einer mittleren Herzfrequenz zur jeweiligen Tätigkeit eines Bauarbeiters durch die Eintragung in den Datenerhebungsbogen (dargestellt in Bild 5-12).

Ebene II:  
Belastung &  
Beanspruchung

<sup>206</sup> Daher ist auch die Anwendung der in der Literatur vorhandenen HF-Werte für die Anwendung der Systematik nur bedingt möglich, kann aber bei fehlenden direkten Untersuchungen einen ersten Ansatzpunkt für Abschätzungen liefern.

			07:00													
			0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50		
Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme <b>1</b>	Tätigkeit	Haupttätigkeit	Mauern					1	1	1	1	1	1	1		
			Parapet mauern													
			Deckenausgleich herstellen													
		Nebentätigkeit	Abdichtung auflegen			1										
			Hierarchien	1	1											
			Auf- Wegräumen													
			Ziegel schneiden													
			Einmessen Deckenausgleich													
			Einm. mit Nivellier/Anschlatte													
			Einm. mit Zahnstab													
			Ziegelpalette mit Kran einheben													
			Mörtel mit Kran einheben													
			Mörtel mit Scheibtruhe holen													
			Schnur spannen													
			Gerüst auf-lumbauen													
Besprechung, Planbespr				1												
zusätzl. Tätigkeit	Staubsaug betoniieren															
	Bewehren															
	Ablaufbedingt															
Unterbrechung	Störungsbedingt															
	Erholungsbedingt															
	Persönlich bedingt															
	eigene Pause															
Nicht erkennbar	vorgegebene Pause															
	Nicht erkennbar															
		Summe	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
WBCT		Luftgeschw.			0			0					0			
		rel Luftf.			85,4			86,0					85,5			
		Temp.			7,9			7,5					7,9			
		Puls			85,44	85,11	78,33	75,89	82,11	85,56	88,89	79,11	85,11	85,11		

Bild 5-12 Ausschnitt Datenerhebungsbogen mit eingetragenen Herzfrequenzwerten

### 5.7.1 Herzfrequenzwerte der einzelnen Kategorien

Durch die Eintragung der Herzfrequenzwerte in der letzten Zeile des DEB kann nun automatisch der jeweiligen Tätigkeit ein Herzfrequenzwert zugeordnet werden, wodurch weitere Auswertungen möglich sind.

Tabelle 5-20 Durchschnittliche Herzfrequenz der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau

Tätigkeits-kategorie	Tätigkeits-unterkategorie	Tätigkeitsgruppe	Durchschnittliche Herzfrequenz
Tätigkeit			98,21 S/min
Haupttätigkeit			97,73 S/min
	Mauern	98,85 S/min	
	Schalen	100,83 S/min	
	Bewehren	106,59 S/min	
	Betonieren	108,59 S/min	
	Sonst. Haupttätigkeiten	91,58 S/min	
Nebentätigkeit			99,19 S/min
	Herrichten	88,93 S/min	
	Vorbereiten Mauern	101,32 S/min	
	Vorbereiten Schalen	98,80 S/min	
	Vorbereiten Betonieren	103,38 S/min	
	Vorbereiten Allgemein	96,43 S/min	
	Wegräumen	101,21 S/min	
	Besprechen	96,69 S/min	
Sonstige Tätigkeiten			96,11 S/min
Unterbrechung			94,39 S/min
Ablaufbedingte Unterbrechung			98,02 S/min
Störungsbedingte Unterbrechung			90,23 S/min
Erholungsbedingte Unterbrechung			93,88 S/min
	Vorgegebene Pausen	93,63 S/min	
	Eigene Pausen	94,60 S/min	
Persönlich bedingte Unterbrechung			96,54 S/min

Auf eine Auswertung der mittleren Herzfrequenz der einzelnen aufgezzeichneten Tätigkeiten wird verzichtet. Eine Anwendung dieser Detailaufzeichnungen ist auf Grund des teilweise zu geringen Beobachtungsumfangs bei einzelnen Tätigkeiten zur Entwicklung der Arbeitsleistungskurve nicht geeignet. Es werden daher nur die Herzfrequenzwerte der Tätigkeitsgruppen für die weitere Bearbeitung herangezogen.

### 5.7.2 Darstellung des Verlaufs der Herzfrequenzwerte der Tätigkeitsgruppen

Erst nach der Bestimmung der Beanspruchung der einzelnen Tätigkeiten spielt im zweiten Schritt die zeitliche Komponente eine Rolle. Es werden die Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitsgruppen in einen Zusammenhang mit der Arbeitszeit gesetzt und folgende Auswertungen vorgenommen:

- Mittlere Herzfrequenz einer Tätigkeitsgruppe in der jeweiligen Arbeitsstunde.
- Mittlere Herzfrequenz einer Tätigkeitsgruppe in Abhängigkeit der Vorbelastung<sup>207</sup> bis zum Zeitpunkt der Tätigkeitsnotierung.

Als Beispiel erfolgt die Darstellung für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“:

Durch die Auswertung der erhobenen Daten der Baufacharbeiter aus dem Bereich Mauerwerksbau (TU 3, TU 4, TU7, TU 8, TU9, TU 14, TU 15 und TU 24) ergibt sich folgende, in Bild 5-13 dargestellte mittlere Herzfrequenz und die zugehörige Standardabweichung für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ während aller Beobachtungstage.

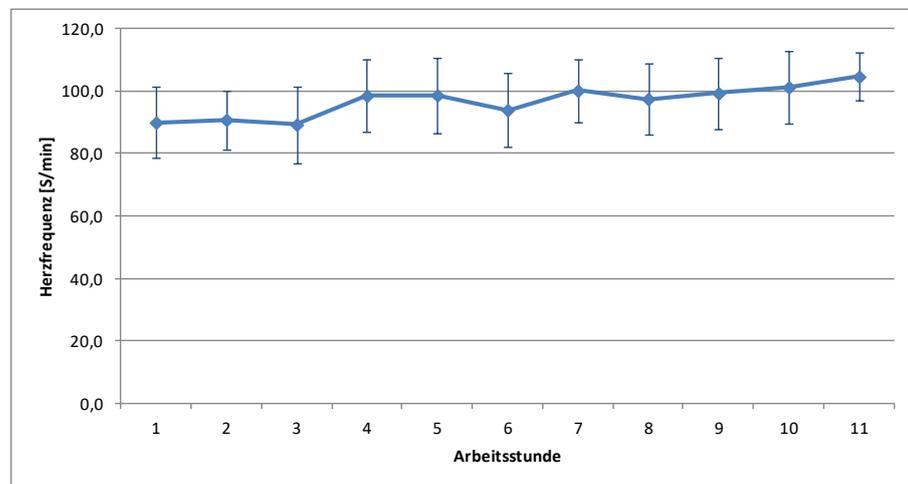


Bild 5-13 Mittlere Herzfrequenz ( $HF_{\text{Mittel}}$ ) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Arbeitsstunden aller beobachteten Bauarbeiter für die Tätigkeitsgruppe "Mauern"

Die Streuung der Herzfrequenzmittelwerte liegt bei ca.  $\pm 10\%$ . Begründet werden kann dies durch die unterschiedliche Arbeitsherzfrequenz der einzelnen Bauarbeiter, daher wird die weitere Verwendung der Absolutwerte als nicht zielführend eingestuft.

Auf die Darstellung der einzelnen Auswertungen der weiteren Tätigkeitsgruppen wird an dieser Stelle ebenso verzichtet, da erst nach Transformation der Absolutwerte in Relativwerte<sup>208</sup> ein aussagekräftiger Vergleich durchgeführt werden kann. Gleiches gilt für die Auswertungen der absoluten Herzfrequenzwerte in Bezug auf die Vorbelastung.

<sup>207</sup> Die Vorbelastung errechnet sich aus dem Mittelwert der Herzfrequenzen aller vom Arbeitsbeginn bis zum Beobachtungszeitraum durchgeführten Tätigkeiten multipliziert mit der Arbeitszeit in Minuten.

<sup>208</sup> In Relation zur individuellen maximalen Herzfrequenz oder Dauerleistungsgrenze des Bauarbeiters.



### 5.7.3 Klima und Herzfrequenz während des Arbeitstages

Aus den Grundlagen (Kapitel Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) ist ein Einfluss des Klimas auf die Herzfrequenz bekannt. Demnach muss für die wesentliche Bewertungsgröße, nämlich die Herzfrequenz, ein möglicher Zusammenhang überprüft werden. Es erfolgt daher die Darstellung der relativen Herzfrequenz (%HF<sub>max</sub>)<sup>209</sup> in Abhängigkeit der Außentemperatur in unterschiedlichen Vorbelastungs-herzfrequenzbereichen<sup>210</sup>.

Die Vorbelastungsbereiche wurden, wie in Tabelle 5-21 ersichtlich, festgelegt:

Tabelle 5-21 Vorbelastungsbereiche für die Untersuchung des Temperatureinflusses

Bereich	A	B	C	D	E	F	G
Vorbelastungsherzfrequenzbereich	<75	75-85	85-95	95-105	105-115	115-125	>125
Anzahl	47	438	1146	1161	259	82	7
Mittelwert des Bereichs	74,52	82,81	94,07	100,76	111,50	115,76	126,83
Standardabweichung	8,55	9,98	9,87	9,81	11,03	9,04	10,18

Die Auswertung der einzelnen Bereiche ergibt folgende statistischen Kennwerte sowie die in Bild 5-14 und Bild 5-15 dargestellten Streudiagramme.<sup>211</sup>

Tabelle 5-22 Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p-Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen %HF<sub>max</sub> und Temperatur

Bereich	A	B	C	D	E	F	G
r	0,2201	0,153	- 0,086	- 0,095	0,123	0,160	0,246
N	16	157	1094	1161	259	82	7
p-Wert	0,206 <sup>ns</sup>	0,028 <sup>*</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,001 <sup>***</sup>	0,024 <sup>*</sup>	0,075 <sup>ns</sup>	0,297 <sup>ns</sup>

<sup>209</sup> %HF<sub>max</sub>: Anteil der jeweiligen Herzfrequenz an der maximalen Herzfrequenz der Spiroergometrie.

<sup>210</sup> Die Vorbelastungsherzfrequenz ist mittlere Herzfrequenz von Arbeitsbeginn bis zum Messzeitpunkt der beobachteten Tätigkeitsausführung.

<sup>211</sup> Die weiteren Darstellungen finden sich im Anhang unter A.1.2.

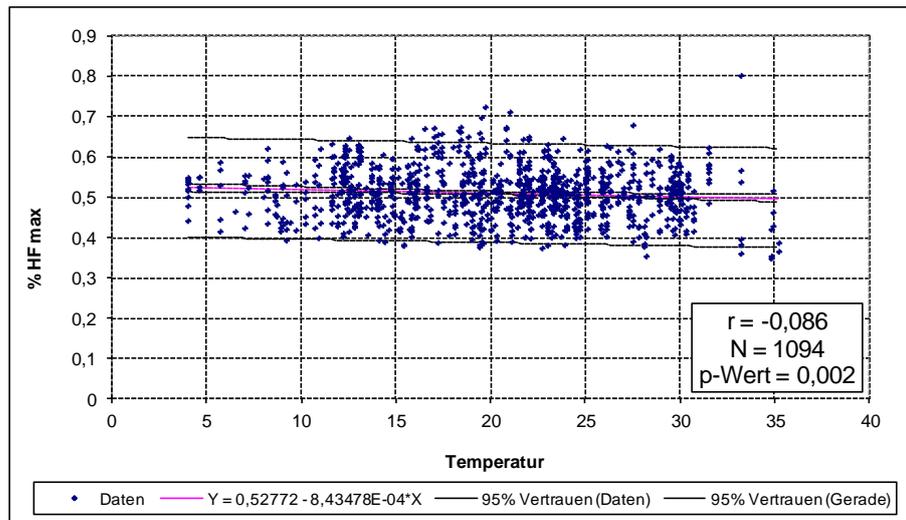


Bild 5-14 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C

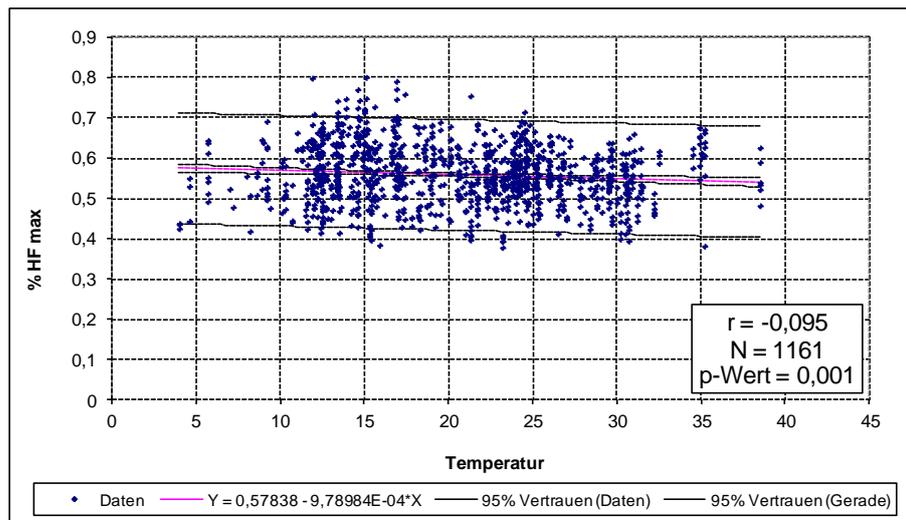


Bild 5-15 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D

Demnach besteht bei den Datenreihen für die Bereiche B bis E eine signifikante Aussage, wobei ein Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Temperatur bei den untersuchten Arbeitstagen als nicht vorhanden angesehen werden kann, wie die berechneten Korrelationskoeffizienten zeigen.

Wird statt der gemessenen Außentemperatur die Normal-Effektiv-Temperatur (NET)<sup>212</sup>, welche auch die Luftfeuchtigkeit und die Windge-

<sup>212</sup> „Die Normal-Effektivtemperatur (NET) „berücksichtigt die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit...“; Definition nach Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S. 12.

schwindigkeit berücksichtigt, eingesetzt, ergeben sich die folgenden statistischen Kennwerte:

Keine Korrelation zwischen der Herzfrequenz und der Temperatur

Tabelle 5-23 Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p-Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen %HF<sub>max</sub> und NET

Bereich	A	B	C	D	E	F	G
r	0,205	0,216	- 0,101	- 0,113	0,154	0,193	0,655
N	16	157	1094	1161	259	82	7
p-Wert	0,223 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>**</sup>	0,000 <sup>***</sup>	0,000 <sup>***</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,042 <sup>*</sup>	0,055 <sup>ns</sup>

Es zeigt sich auch bei der Betrachtung der NET signifikante Aussagen für die Bereiche B bis F auf Basis dieser Daten möglich sind. Auch in diesen Fällen sind die Zusammenhänge, dargestellt durch die Korrelationskoeffizienten r, als sehr gering einzustufen sind.<sup>213</sup>

In anderen Industriebereichen, im Speziellen im Bergbau, wurden umfassende Untersuchungen<sup>214</sup> zum Zusammenhang zwischen der Leistung bzw. Leistungsfähigkeit der Arbeiter und dem Grubenklima<sup>215</sup> angestellt. Die dort gefundenen Erkenntnisse sind aber nur bedingt auf den Baubereich zu übertragen, da vor allem die konstant hohen Temperaturen und die sehr hohe Luftfeuchtigkeit<sup>216</sup> am Arbeitsplatz einen wesentlichen Unterschied zu den Arbeitsaufgaben auf der Baustelle, mit Ausnahme des Tunnelbaus, darstellen.

Kein Einfluss der Klimadaten auf die Herzfrequenzwerte auf den untersuchten Baustellen.

Dies zeigt auch die oben dargestellte Analyse der erhobenen Klimadaten. Aufgrund dieser Auswertungsergebnisse wird für die weitere Datenauswertung der Einfluss des Klimas nicht weiter berücksichtigt.<sup>217</sup>

Die Ermittlung der NET erfolgte mit Hilfe der Software „GEWITEB Klimarechner“ mit Hilfe der Daten Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit.

<sup>213</sup> Die Darstellungen aller Vorbelastungsbereiche findet sich im Anhang unter A.1.2.

<sup>214</sup> Untersuchungen finden sich hierzu beispielsweise in Ehrismann, O. ; Hasse, A.: Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in: International Archives of Occupational and Environmental Health, Jg.8, Nr. 5 (1938), S. 611–638, Kampmann, B.: Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima, Habilitationsschrift Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal 2000, Gebhardt, H; Kampmann, B. ; Müller, B. H.: Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen: Forschung Projekt F 1860, BAUA, Dortmund [u.a.] 2007, Kjellstrom, T; Holmer, I. ; Lemke, B.: Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change, in: Global Health Action, Jg.2, (2009), Vernon, H. ; Warner C.G.: The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures, in: J Hyg (Lond), Jg.32, Nr. 3 (1932), S. 431–463, Brotherhood, J. R.: Heat stress and strain in exercise and sport, in: Journal of Science and Medicine in Sport, Jg.11, Nr. 1 (2008), S. 6–19.

<sup>215</sup> Das Grubenklima wird beschrieben durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegungsgeschwindigkeit.

<sup>216</sup> Temperaturen über 28°C und Luftfeuchtigkeit im Bereich von 95 %.

<sup>217</sup> Eine fundierte und für das Bauwesen generelle Aussage über den Einfluss des Arbeitsklimas kann an dieser Stelle nicht getroffen werden. Um dies realisieren zu können, wären weitere spezielle Baustellenuntersuchungen notwendig. An dieser Stelle können nur die vorliegenden Daten, wie beschrieben, interpretiert werden.

## 5.8 Ergebnisse der Spiroergometrien

Die Ergebnisse der Spiroergometrien bilden die Grundlage, um die einzelnen Bauarbeiter untereinander zu vergleichen.

Die Ergebnisse der Spiroergometrien bilden die Grundlage für einen Vergleich der einzelnen Bauarbeiter untereinander. Dies ermöglicht, die zuvor dargestellten Herzfrequenz-Absolutwerte mit Hilfe der Herzfrequenz am  $LTP_1$  ( $HF_{LTP_1}$ ) in Relativwerte umzurechnen.

- Maximale Herzfrequenz ( $HF_{max}$ )

Zusätzlich werden die Maximale Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ) und die maximale Leistung ( $P_{max}$ ) in Tabelle 5-24 dargestellt.

Tabelle 5-24 Ergebnisse der Spiroergometrie für alle untersuchten Bauarbeiter

Proband Nr.	$HF_{max}$ [S/min]	$HF_{LTP_1}$ [S/min]	$P_{max}$ [Watt]
TU 1	198	136	252
TU 2	164	122	215
TU 3	180	119	300
TU 4	177	155	260
TU 5	205	110	245
TU 6	190	116	230
TU 7	198	124	275
TU 8	212	125	245
TU 9	169	117	275
TU 10	153	124	230
TU 11	149	89	200
TU 12	178	110	170
TU 13	192	103	245
TU 14	190	107	215
TU 15	182	114	200
TU 16	187	116	230
TU 17	188	124	275
TU 18	191	118	215
TU 19	195	144	275
TU 20	182	123	275
TU 21	191	119	245
$\bar{x}$	184,33	119,76	242
SD	15,30	13,53	31,32

## 5.9 Relativer Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die erhobenen Daten immer personenbezogen betrachtet. Die Ergebnisse der Spiroergometrie ermöglichen eine personenübergreifende Betrachtung des Herzfrequenzverlaufes.

Für die weitere Anwendung ist vorgesehen, die Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten auch ohne eine Spiroergometrie zu bestimmen. Hierfür können die nachfolgend dargestellten Ergebnisse herangezogen werden, um aus der Tätigkeit und den persönlichen Einflussfaktoren (Alter, Größe, Gewicht) die Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeiten zu ermitteln.<sup>218</sup>

Die relativen Herzfrequenzwerte bilden die Datengrundlage für die Berechnung von Herzfrequenzwerten aus personenabhängigen Parametern.

### 5.9.1 Relative Herzfrequenzwerte auf Basis eines Parameters

Als einzelne Vergleichsparameter können hierbei die maximale Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ) und die Herzfrequenz der aeroben Schwelle ( $HF_{LTP1}$ ), die mittels der Spiroergometrien im Labor bestimmt wurden, dienen.

Auf Basis der durchgeführten Korrelations- und Regressionsanalysen wurden die Datenreihen der einzelnen Tätigkeitskategoriegruppen für die Anwendung vorbereitet. Beim Vergleich der Rechen- und Messwerte zeigte sich jedoch, dass die Anwendung mit nur einem Parameter zu große Abweichungen hervorruft.

Der im Rahmen der Dissertation ausgeführte Vergleich für die einzelnen Bauarbeiter zeigt folgende Abweichungen der Mittelwerte für die Mess- und Berechnungsergebnisse an den einzelnen Arbeitstagen.<sup>219</sup>

<sup>218</sup> Ein Vergleich der erhobenen Daten mit der Anwendung der nachstehend ermittelten Zusammenhänge erfolgt im Rahmen der Datenauswertung der Dissertation und zeigte, dass die rechnerisch Ermittelten Werte als Grundlage für die Anwendung herangezogen werden können.

<sup>219</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012 S. 190ff.

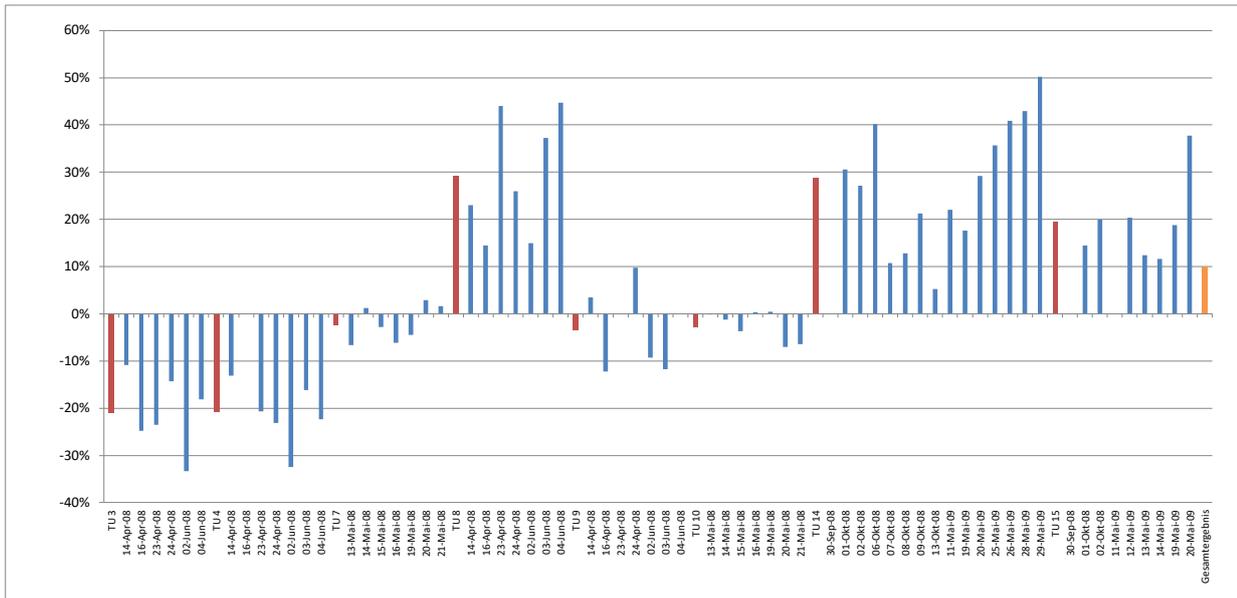


Bild 5-16 Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte aus der einfachen Regression

In Bild 5-16 ist die Abweichung der Mess- und Berechnungswerte der einfachen Regression dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei fünf der acht Bauarbeiter eine große Abweichung vorliegt.

Betrachtet man die Gesamtabweichung aller Beobachtungstage, so zeigt sich, dass insgesamt eine Abweichung von 9,98 % zwischen den Mess- und Rechenwerten vorliegt.

Neben der Überprüfung der einzelnen Arbeitstage erfolgt auch die Prüfung der Ergebnisse der einzelnen Tätigkeitsgruppen:

Tabelle 5-25 Mittelwerte( $HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$ ) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenzmittelwerte der Tätigkeitsgruppen der einfachen Regression

Tätigkeitsgruppe	Messwerte $HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$	SD	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$	SD	Prozentuelle Abweichung
111 Mauern	98,39	11,13	123,20	20,46	25,21%
112 Schalen	100,83	10,96	106,36	5,35	5,48%
114 Betonieren	108,59	16,26	119,25	21,34	9,82%
121 Vorbereiten Mauern	102,47	12,86	106,24	11,56	3,68%
122 Vorbereiten Schalen	98,80	8,33	108,53	4,54	9,85%
126 Vorbereiten allgemein	97,04	11,73	97,80	21,50	0,79%
127 Herrichten	92,90	9,53	99,79	4,28	7,42%
128 Aufräumen	102,07	9,79	105,05	11,95	2,93%
129 Besprechung	99,53	10,65	105,97	15,08	6,48%
131 Zusätzliche Tätigkeiten	96,11	11,17	96,07	22,05	- 0,04%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	98,87	7,44	99,78	3,32	0,92%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	90,23	11,55	101,92	1,43	12,96%
231 Pause	94,74	11,96	101,67	13,82	7,32%
232 Eigene Pause	96,57	9,58	114,78	8,03	18,86%
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	96,54	12,90	96,84	19,39	0,31%
311 Nicht erkennbar	97,23	12,41	97,14	26,22	- 0,09%
Gesamtergebnis	98,33	11,85	108,14	20,43	9,98%

Beim Vergleich der Herzfrequenzwerte der Mess- und Berechnungswerte für jede Tätigkeitsgruppe zeigt sich, dass die größten Abweichungen bei den Tätigkeitsgruppen „Mauern“ und „Eigene Pause“ gefunden wurden. Bei den weiteren Tätigkeitsgruppen liegen die Abweichungen im Bereich von bis zu 12,96 %.

Dieses Ergebnis ist jedoch aufgrund des speziellen Interesses an der Tätigkeitsgruppe „Mauerwerksarbeiten“ nicht befriedigend, weshalb ein Regressionsmodell mit mehreren Einflussfaktoren für die weitere Anwendung geprüft wurde.

### 5.9.2 Regressionsanalysen mit mehreren unabhängigen Eingangsparametern

Nach der Korrelation von  $\%HF_{\text{max}}$  mit der Vorbelastungsherzfrequenz werden im Weiteren die Zusammenhänge der Werte von  $\%HF_{\text{max}}$  mit

mehreren unabhängigen Eingangsparametern<sup>220</sup> untersucht. Diese Eingangsparameter sind:

- Alter bzw.  $HF_{\max}$  f(Alter)
- Größe und Gewicht bzw. BMI

Durch die Anwendung dieser Parameter sind die in Tabelle 5-26 dargestellten Kombinationen möglich:

Tabelle 5-26 Kombinationen der multiplen Regressionsanalyse

Parameter	Alter	$HF_{\max}$	Größe	Gewicht	BMI
Kombination 1	X		X	X	
Kombination 2	X				X
Kombination 3		X	X	X	
Kombination 4		X			X

Für diese Kombinationen wurde mit Hilfe des Programms „WinStat“ das Signifikanzniveau bestimmt. In Tabelle 5-27 sind diese Werte und der Korrelationskoeffizient für die einzelnen Tätigkeitsgruppen dargestellt.

---

<sup>220</sup> Da diese Zusammenhänge auch für die weitere Praxisnutzung auf der Baustelle ohne die Durchführung der Sauerstoffmessung geeignet sein sollen, wird der Messwert der maximalen Sauerstoffaufnahme nicht in die Betrachtung mit aufgenommen.

Tabelle 5-27 Anzahl (N), Korrelationsgrad (r) und Signifikanzniveau (p-Wert) für die Datenreihe %HF<sub>max</sub> in Verbindung mit der jeweiligen Eingangsparameterkombination

Tätigkeitsgruppe	N	1		2		3		4	
		r	p-Wert	r	p-Wert	r	p-Wert	r	p-Wert
111 Mauern	893	0,759	0,000 ***	0,745	0,000 ***	0,792	0,000 ***	0,792	0,000 ***
112 Schalen	165	0,344	0,000 ***	0,182	0,142 ns	0,334	0,001 ***	0,306	0,001 ***
113 Bewehren	5 +	-	-	-	-	-	-	-	-
114 Betonieren	43	0,785	0,000 ***	0,785	0,000 ***	0,785	0,000 ***	0,785	0,000 ***
115 Sonstiges	3 +	-	-	-	-	-	-	-	-
121 Vorbereiten Mauern	435	0,698	0,000 ***	0,687	0,000 ***	0,728	0,000 ***	0,723	0,000 ***
122 Vorbereiten Schalen	64	0,442	0,011 *	0,437	0,005 **	0,442	0,011 *	0,439	0,005 **
124 Vorbereiten Betonieren	8 +	-	-	-	-	-	-	-	-
125 Vorbereiten Sonstiges	2 +	-	-	-	-	-	-	-	-
126 Vorbereiten allgemein	108	0,771	0,000 ***	0,714	0,000 ***	0,875	0,000 ***	0,873	0,000 ***
127 Herrichten	33	0,369	0,373 ns	0,365	0,238 ns	0,463	0,136 ns	0,464	0,067 ns
128 Aufräumen	105	0,528	0,000 ***	0,521	0,000 ***	0,749	0,000 ***	0,713	0,000 ***
129 Besprechung	109	0,551	0,000 ***	0,550	0,000 ***	0,623	0,000 ***	0,613	0,000 ***
131 Zusätzliche Tätigkeiten	168	0,695	0,000 ***	0,662	0,000 ***	0,754	0,000 ***	0,752	0,000 ***
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	57	0,573	0,000 ***	0,535	0,0004 ***	0,786	0,000 ***	0,785	0,000 ***
221 Störungsbedingte Unterbrechung	23++	0,834	0,000 ***	0,832	0,000 ***	0,834	0,000 ***	0,811	0,000 ***
231 Pause	394	0,580	0,000 ***	0,542	0,000 ***	0,670	0,000 ***	0,668	0,000 ***
232 Eigene Pause	141	0,513	0,000 ***	0,499	0,000 ***	0,590	0,000 ***	0,571	0,000 ***
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	82	0,759	0,000 ***	0,690	0,000 ***	0,788	0,000 ***	0,782	0,000 ***
311 Nicht erkennbar	382	0,719	0,000 ***	0,691	0,000 ***	0,783	0,000 ***	0,780	0,000 ***

+ ... Anzahl der Datenreihen zu gering für statistische Analyse

++ ... Anzahl der Datenreihen unter 30

ns ... Datenreihe nicht signifikant,  $p > 0,05$

\* ... Datenreihe signifikant,  $p \leq 0,05$

\*\* ... Datenreihe hoch signifikant,  $p \leq 0,01$

\*\*\* ... Datenreihe höchst signifikant,  $p \leq 0,001$

Aus der Tabelle ist erkennbar, dass die Datenreihe der Variante 4 die besten Signifikanzwerte für alle Tätigkeitsgruppen aufweist. Sie zeigt lediglich einmal keinen signifikanten Zusammenhang bei der Tätigkeits-

gruppe „Herrichten“ auf, allerdings wird auch hier der geringste Signifikanzwert aller überprüften Kombinationen ausgewiesen.

Daher werden neben den Ergebnissen der einfachen Regression die Zusammenhänge mit Hilfe der Eingangsparameter  $HF_{max}$  sowie BMI verwendet.

Für die Tätigkeiten mit nachgewiesenen Zusammenhängen wurde mit Hilfe der Statistiksoftware die folgende Gleichung ermittelt:

$$\%HF_{max} = k + a * HF_{Vorbereitung} + b * HF_{max} + c * BMI \quad (5.2)$$

Dabei sind

$k$  ... Konstante

$a, b, c, d$  ... Faktoren für die einzelnen Eingangsparameter

$HF_{max}$  ... maximale Herzfrequenz

$HF_{Vorbereitung}$  ... Vorbereitungs Herzfrequenz

$BMI$  ... Body-Mass-Index

Tabelle 5-28 Konstanten und Faktoren zur Berechnung der relativen Herzfrequenz der Tätigkeiten mit Hilfe von Gleichung (6.32)

Tätigkeitsgruppe	Konstante	Faktor a für $HF_{Vorbereitung}$	Faktor b für $HF_{max}$	Faktor c für BMI
111 Mauern	0,49708	0,00550	-0,00298	0,00262
112 Schalen	0,61860	0,00259	-0,00173	0,00025
114 Betonieren	0,47299	0,00698	-0,00474	0,01255
121 Vorbereiten Mauern	0,49020	0,00497	-0,00265	0,00227
122 Vorbereiten Schalen	0,35049	0,00154	-0,00042	0,00435
126 Vorbereiten allgemein	0,64449	0,00625	-0,00379	-0,00033
127 Herrichten	0,74381	0,00132	-0,00228	0,00212
128 Aufräumen	0,85033	0,00371	-0,00345	-0,00077
129 Besprechung	0,66124	0,00389	-0,00265	-0,00006
131 Zusätzliches	0,63860	0,00452	-0,00288	-0,00033
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	0,91457	0,00303	-0,00362	0,00024
221 Störungsbedingt Unterbrechung	2,66932	-0,00179	-0,00869	-0,01368
231 Pause	0,69872	0,00399	-0,00321	0,00122
232 Eigene Pause	1,16360	0,00368	-0,00494	-0,00270
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,43524	0,00573	-0,00295	0,00321
311 Nicht erkennbar	0,54551	0,00518	-0,00302	0,00197

Für die weiteren Tätigkeitsgruppen werden aufgrund der zu geringen Messdaten keine Werte ermittelt, um das Endergebnis nicht durch falsche Werte zu beeinflussen.

### 5.10 Beanspruchung der Tätigkeiten

Neben dem Verlauf der relativen Herzfrequenz können mit Hilfe der Ergebnisse der Spiroergometrie die relativen Beanspruchungskenngrößen für die einzelnen Tätigkeiten ermittelt werden.

Diese ergeben sich durch die Berechnung des Quotienten der gemessenen oder rechnerisch ermittelten Absolutwerte mit den maximalen Beanspruchungsgrenzwerten.

Die Auswertung der Beanspruchungsanalysen zeigt, dass nahezu alle Messwerte der Beobachtungstage unter bei den individuellen Beanspruchungsgrenzwerten ( $HF_{LTP1}$  und  $AEU(t)$  nach Bink) liegen. Ebenso findet sich keine Grenzwertüberschreitung beim  $AEU(t)$  nach Lehmann.

Somit können aus den vorliegenden Daten keine Abminderungsfaktoren für die Leistung bei Überschreiten der Grenzwerte abgeleitet werden.

Im Folgenden wird lediglich die Ermittlung des Netto-Leistungswertes des Arbeitstages ohne eine weitere Berücksichtigung<sup>221</sup> des Einflusses der Arbeitsbeanspruchung vorgenommen.

### 5.11 Leistungsverlauf während des Arbeitstages

Zur Ermittlung des Leistungsverlaufs werden die erhobenen Leistungsfortschritte ausgewertet.

Im Zuge der Datenanalyse zeigte sich, dass bei einzelnen Datenaufzeichnungen größere Betrachtungszeiträume als eine halbe Stunde notwendig wurden. Aufbauend auf den vorherigen Erkenntnissen der Beanspruchungsanalyse konnten für die vorliegenden Untersuchungsdaten diese größeren Betrachtungszeiträume verwendet werden.

Ergänzend wird gezeigt, welche notwendigen Korrekturen an den Brutto-Leistungswerten vorgenommen werden müssen, um diese für die tätigkeitsabhängige Leistungsverlustermittlung entsprechend der vorgestellten Systematik anwenden zu können.

<sup>221</sup> Bei der Verwendung dieser Überlegungen für weitere Arbeitsbereiche ist es unbedingt erforderlich, die Beanspruchungssituation erneut zu prüfen und gegebenenfalls Abminderungsfaktoren für die Überschreitung der Grenzwerte der Herzfrequenz und des Energieumsatzes zu bestimmen.

### 5.11.1 Leistungswerte aus den Baustellenbeobachtungen

Für die Ermittlung der Leistungs- bzw. Aufwandswerte stehen aus dem gesamten Beobachtungsumfang für den Bereich Mauerwerksarbeiten 136 Einzelaufzeichnungen an 27 Beobachtungstagen zur Verfügung. Diesen Datenerhebungen wurde in vier Beobachtungszeiträumen in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführt.

Die Datenauswertung<sup>222</sup> ergibt einen Brutto-Aufwandswert von 3,57 Std/m<sup>3</sup> (=Median).

Brutto-Aufwandswert = 3,57  
Std/m<sup>3</sup>

Ebenso zeigt sich bei der Analyse der Verteilung im Verlauf des Arbeitstages keine auffallende Veränderung des Leistungswertes:

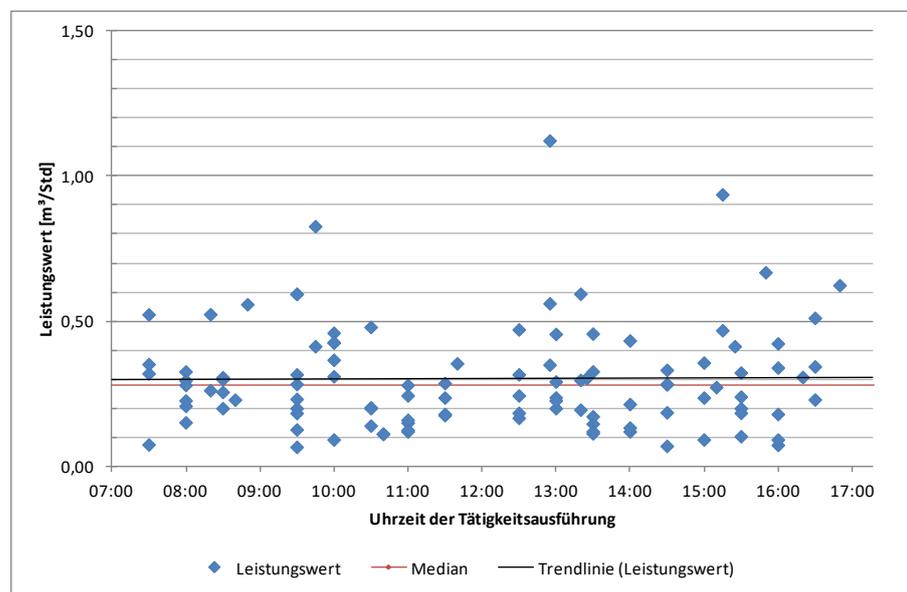


Bild 5-17 Verlauf des Leistungswertes im Verlauf des Arbeitstages

<sup>222</sup> Schlagbauer, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung, Dissertation TU Graz, Graz 2012, S.178ff.

### 5.11.2 Vergleich der erhobenen Leistungswerten mit Aufwandswerten aus der Literatur

Um die ermittelten Aufwands- und Leistungswerte zu plausibilisieren, wird ein Vergleich mit der einschlägigen Literatur vorgenommen.

Tabelle 5-29 Literaturquellen und Angaben zu Aufwandswerte für volles Mauerwerk und Mauerwerk mit Öffnungen bei Kraneinsatz

Literaturquelle	Volles Mauerwerk (24cm)	Mauerwerk mit Öffnungen (24cm)
	Aufwandswert	Aufwandswert
	[Std/m³]	[Std/m³]
ARH <sup>223</sup>	3,30 – 3,45 <sup>224</sup>	3,70 – 3,90
Plümecke <sup>225</sup>	3,33 – 4,00	*
AUER <sup>226</sup>	3,50	*
Levesen / Zahn <sup>227</sup>	6,20 – 7,00 <sup>228</sup>	*
Lugner / Stimpfl <sup>229</sup>	8,30 – 8,80	*
Olesen <sup>230</sup>	3,60 – 4,15 <sup>231</sup>	*
ZTV <sup>232</sup>	3,25 - 3,45 (3,45 - 4,05 <sup>o.K.</sup> ) <sup>233</sup>	3,50 - 3,65 (3,70 - 4,25 <sup>o.K.</sup> )

Zeichenerklärung:

\* ... keine direkten Werte für die gesamte Wand, sondern ein eigener Wert für die Öffnung

o.K. ... ohne Kraneinsatz

Der Vergleich des aus der Erhebung berechneten Aufwandswertes mit den in Tabelle 5-29 dargestellten Werten erfolgt im nachstehenden Bild.

<sup>223</sup> Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984, Tafel M6.227.

<sup>224</sup> In der ARH wird entsprechend des Steintyps und dessen Abmessungen unterschieden, ebenso finden sich unterschiedliche Tafeln für die Verarbeitung der Ziegel mit oder ohne Kran. Zusätzlich finden sich weitere Zulagen, um die Arbeitsaufgabe bestmöglich abzubilden.

<sup>225</sup> Plümecke, K. ; Kuhne, V.: Preisermittlung für Bauarbeiten, 26. Auflage, Müller, Köln 2008, S. 256.

<sup>226</sup> Auer, H.: Kalkulation Hochbau: Baumeisterarbeiten, Österreichischer Wirtschaftsverband, Wien 2004, S. 349.

<sup>227</sup> Levesen, P. ; Zahn, E.: Hochbau, 7. Auflage, Schiele & Schön, Berlin 1973, S. 59.

<sup>228</sup> Bei Levesen/Zahn wird nach dem Herstellungsgeschoß unterschieden, weitere Anmerkungen, welche Zeiten in diesem Aufwandswert beinhaltet sind wurden nicht vorgefunden.

<sup>229</sup> Lugner, R; Stimpfl, H. ; Lenz, G.: Richtlinien, Zeitaufwand, Materialbedarf für die Kalkulation im Hochbau, 13. Auflage, Lugner, Wien 1983, S. 202-203.

<sup>230</sup> Olesen, G.: Kalkulationstabellen Hochbau: Hochbau, Erdarbeiten, Rohrleitungen, Aussenanlagen, 11. Auflage, Schiele und Schön, Berlin 1994, S. 291.

<sup>231</sup> Olesen gibt je nach Geschoß und Grundrissgestaltung sowie auch für die Ausführung mit/ohne Kran eigene Zuschlagswerte an. Siehe Olesen, G.: a.a.O., S. 283f.

<sup>232</sup> Autorenngemeinschaft Hochbau: Handbuch Arbeitsorganisation Bau, Heft 1.06 Mauerarbeiten Richtzeiten, ztv-Verlag 1981, S 59f.

<sup>233</sup> Im Handbuch Arbeitsorganisation Bau wird nach dem Ausführungsgeschoß unterschieden. Zusätzlich finden sich weitere Zulagen, um die Arbeitsaufgabe bestmöglich abzubilden.

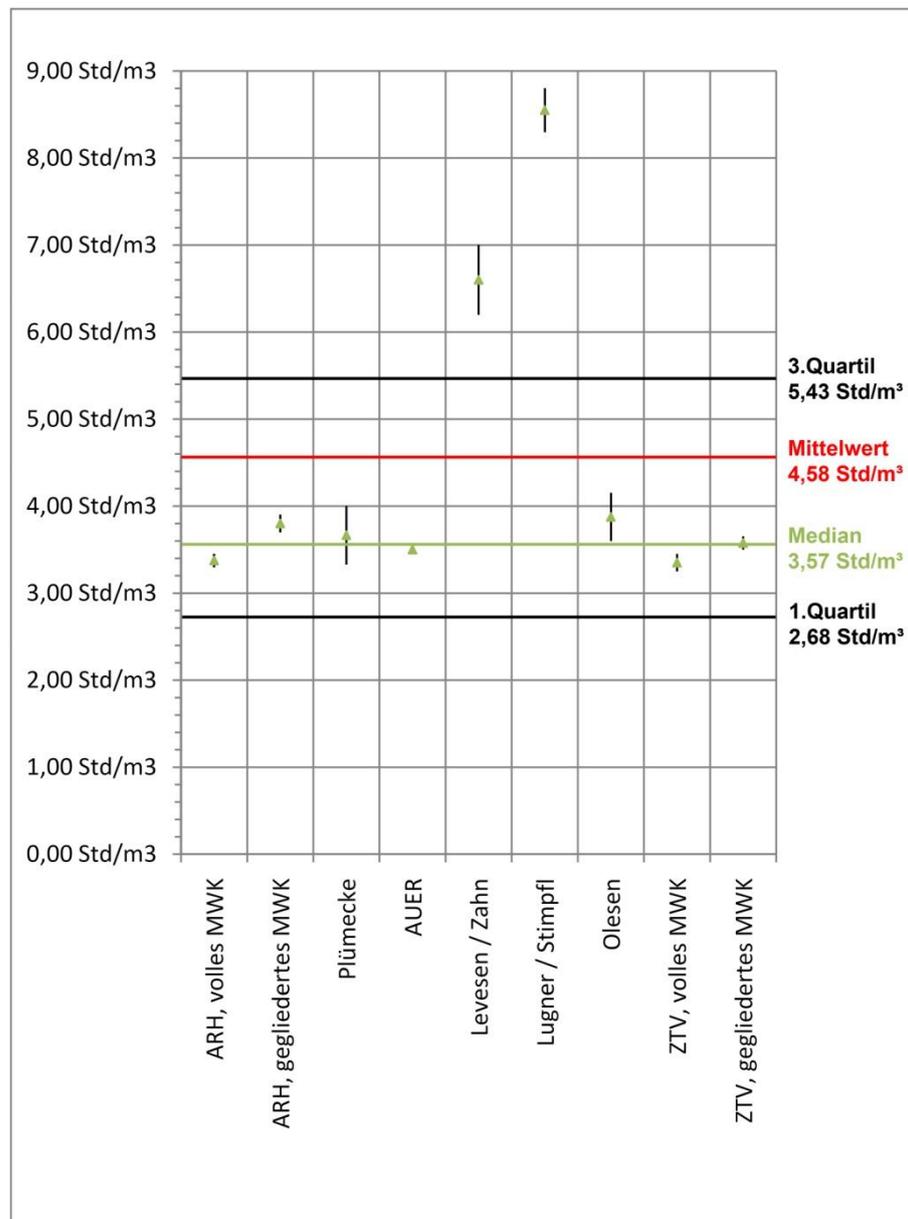


Bild 5-18 Vergleich der Literatur-Aufwandswerte mit den Brutto-Aufwandswerten der Datenauswertung

Der in Bild 5-18 dargestellte Vergleich zeigt, dass die Beobachtungsergebnisse im Bereich der meisten Literaturangaben liegen. Lediglich Zahn/Levesen (1973) und Lugner/Stimpfl (1983) gaben deutlich höhere Aufwandswerte an. Dies kann als Bestätigung der Messwerte angesehen werden, da auch die aktuelleren Literaturangaben von Plümecke (2008) und Auer (2004) Aufwandswerte im Bereich des berechneten Medianwerts angeben.

## 6 Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit

Die Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit erfolgt mit Hilfe von fünf Schritten und den zuvor gewonnenen Daten.

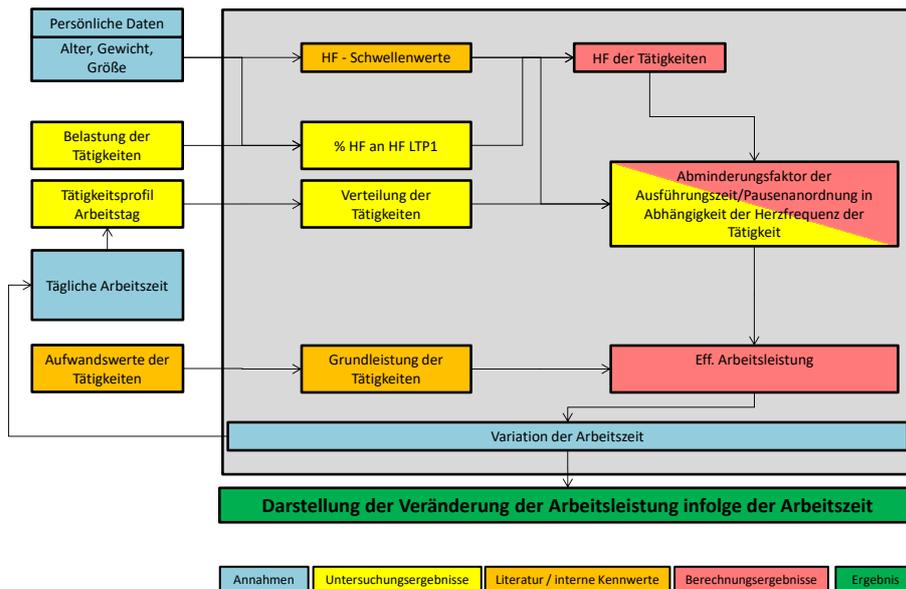


Bild 6-1 Systematik der Leistungsverlustermittlung

Diese fünf Schritte sind:

- Ermittlung der personenbezogenen Parameter
- Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag
- Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien
- Bestimmung des Leistungsfortschrittes
- Veränderung der Arbeitszeit

Die vom Bauarbeiter erreichbare Leistung wird dabei von zwei Schwellenwerten begrenzt. Diese sind die Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze, welche hier mit dem Wert der Herzfrequenz an der aeroben Schwelle ( $HF_{LTP1}$ ) bestimmt wird und der maximale Energieumsatz des Arbeitstages in Abhängigkeit der Arbeitsdauer ( $AEU(t)$ ).

Wird bei der Zusammenstellung der Tätigkeiten der Wert von  $HF_{LTP1}$  überschritten, so werden statt Tätigkeiten Pausenzeiten vorgesehen, um den Herzfrequenzmittelwert zu senken. Ergibt sich trotz der Anordnung

von Pausen eine weitere Überschreitung der Herzfrequenzschwelle, so ist dies mit Hilfe eines Abminderungsfaktors zu berücksichtigen.<sup>234</sup> Gleiches gilt bei Überschreitung des Arbeitsenergieumsatzes.<sup>235</sup>

Da die Anwendbarkeit der Arbeitsleistungskurve sehr stark davon abhängt, dass mit nur wenigen und leicht feststellbaren Eingangsparametern eine hohe Ergebnisgenauigkeit erreicht wird, erfolgt nach der Darstellung aller erforderlichen Kennwerte der Vergleich der Messwerte mit den berechneten Werten. Dabei wird überprüft, ob eine Anwendung der einfachen Regression zur Bestimmung der relativen Herzfrequenzwerte ausreicht.

## **6.1 Zusammenstellung der erforderlichen Daten**

Aus den zuvor dargestellten ausgewerteten Daten werden für die drei verschiedenen Ermittlungsebenen ausgewählte Ergebnisse benötigt.

### **6.1.1 Bestimmung der personenbezogenen Parameter**

Die zu bestimmenden personenbezogenen Parameter sind:

- Maximale Herzfrequenz
- Maximale Leistung
- Herzfrequenz am  $LTP_1$
- Verlauf und Maximalwert der Sauerstoffaufnahme

#### **6.1.1.1 Maximale Herzfrequenz ( $HF_{max}$ )**

Wird die maximale Herzfrequenz nicht mittels Laboruntersuchungen bestimmt, sind als Eingangskenngrößen die folgenden Werte erforderlich:

- Geschlecht
- Alter

---

<sup>234</sup> Der angesprochene Abminderungsfaktor für Arbeiten, die die Dauerleistungsherzfrequenz überschreiten, konnte für die Mauerwerksarbeiten nicht bestimmt werden, da die überwiegende Anzahl der aufzeichneten Herzfrequenz der Tätigkeit „Mauern“ unter dem Wert  $HF_{LTP_1}$  lagen (siehe Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.).

<sup>235</sup> Auch der zweite hier angesprochene Abminderungsfaktor konnte für den Bereich der Mauerwerksarbeiten nicht bestimmt werden, da entsprechend der Beanspruchungsauswertung in 5.10 der maximale Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit von der Arbeitszeit bei den vorliegenden Daten nicht überschritten wurde.

Die maximale Herzfrequenz kann basierend auf dem Eingangsparameter Alter mit Hilfe der Gleichungen (7.1) werden.

$$HF_{max} = 211,30 - 0,922 * Alter \quad (6.1)$$

#### 6.1.1.2 Maximale Leistung ( $P_{max,calc}$ )

Wird keine Laboruntersuchung zur Bestimmung der maximalen Leistung durchgeführt, kann diese mit den Eingangsparametern, Alter, Größe und Gewicht mit Hilfe der Gleichungen (7.2) und (7.3) bestimmt werden.

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A \quad (6.2)$$

$$KO = 0,00714 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (6.3)$$

Hierbei sind

KO ... Körperoberfläche [m<sup>2</sup>]

W ... Gewicht [kg]

H ... Größe [cm]

A ... Alter [Jahren]

#### 6.1.1.3 Herzfrequenz am LTP<sub>1</sub> ( $HF_{LTP1}$ )

Die Bestimmung der  $HF_{LTP1}$  hat im Rahmen einer Laboruntersuchung zu erfolgen. Kann eine solche nicht ausgeführt werden, ermöglicht die nachstehende Gleichung, eine näherungsweise Abschätzung der  $HF_{LTP1}$ .

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max} * 0,635 + P_{max} * 0,018 \quad (6.4)$$

#### 6.1.1.4 Bestimmung des Verlaufs der Sauerstoffaufnahme

Zur Bestimmung des Verlaufs der Sauerstoffaufnahme bei steigender Beanspruchung ist es erforderlich, eine Spiroergometrie durchzuführen.

Für die Umsetzung in einer Baufirma könnte für die praktische Anwendung nach Ansicht des Verfassers und auf Grund der Ergebnisse dieser Arbeit auf die Laboruntersuchung zur Bestimmung der personenbezogenen Parameter verzichtet werden, wenn eine reine Abschätzung der Auswirkungen erfolgen soll. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage über den Leistungsverlust treffen zu können, sind die Laboruntersuchungen aber unbedingt notwendig.

Eingangskenngrößen:  
Gewicht, Körpergröße und  
BMI

Laboruntersuchung für  
 $HF_{LTP1}$  und den Verlauf der  
Sauerstoffaufnahme

### 6.1.2 Bestimmung der Herzfrequenzwerte für die Tätigkeitskategorien

Für die Bestimmung der relativen Herzfrequenzwerte der Tätigkeiten werden folgende persönliche Kenngrößen benötigt: Gewicht, Körpergröße und BMI.

#### 6.1.2.1 Herzfrequenzwertberechnung mit Hilfe der Ergebnisse der multiplen Regression

Die Ermittlung der Herzfrequenzwerte für die einzelnen Tätigkeitskategorien wird mit Hilfe der folgenden Gleichung aus  $HF_{max}$  (infolge des Alters), Körpergröße und Gewicht ermittelt:

$$\%HF_{max} = k + a * HF_{Vorbelastung} + b * HF_{max} + c * BMI \quad (6.5)$$

Dabei sind

- $k$  ... Konstante
- $a, b, c, d$  ... Faktoren für die einzelnen Eingangsparameter
- $HF_{max}$  ... maximale Herzfrequenz berechnet aus dem Alter mit Hilfe von Gleichung (7.1)
- $HF_{Vorbelastung}$  ... Vorbelastungsherzfrequenz
- $BMI$  ... Body-Mass-Index

In diese Gleichungen werden die Werte aus Tabelle 6-1 eingesetzt, somit kann unter Berücksichtigung der verschiedenen Eingangsparameter die jeweilige Herzfrequenz der Tätigkeit in Abhängigkeit der Vorbelastung bestimmt werden.

Tabelle 6-1 Faktoren und Konstante für Gleichung (7.6)

Tätigkeitsgruppe	Konstante	Faktor a für HF <sub>Vorbelastung</sub>	Faktor b für HF <sub>max</sub>	Faktor c für BMI
111 Mauern	0,49708	0,00550	-0,00298	0,00262
112 Schalen	0,61860	0,00259	-0,00173	0,00025
114 Betonieren	0,47299	0,00698	-0,00474	0,01255
121 Vorbereiten Mauern	0,49020	0,00497	-0,00265	0,00227
122 Vorbereiten Schalen	0,35049	0,00154	-0,00042	0,00435
126 Vorbereiten allgemein	0,64449	0,00625	-0,00379	-0,00033
127 Herrichten	0,74381	0,00132	-0,00228	0,00212
128 Aufräumen	0,85033	0,00371	-0,00345	-0,00077
129 Besprechung	0,66124	0,00389	-0,00265	-0,00006
131 Zusätzliches	0,63860	0,00452	-0,00288	-0,00033
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	0,91457	0,00303	-0,00362	0,00024
221 Störungsbedingte Unterbrechung	2,66932	-0,00179	-0,00869	-0,01368
231 Pause	0,69872	0,00399	-0,00321	0,00122
232 Eigene Pause	1,16360	0,00368	-0,00494	-0,00270
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,43524	0,00573	-0,00295	0,00321
311 Nicht erkennbar	0,54551	0,00518	-0,00302	0,00197

### 6.1.3 Bestimmung der Leistungswerte

Nach der Bestimmung der Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeitsabschnitte werden die Netto-Leistungswerte der jeweiligen Haupttätigkeiten mit den dazugehörigen Haupttätigkeitszeiten multipliziert, um die Tagesleistung zu berechnen.

## 6.2 Anwendungsbeispiel der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve

Als Abschluss der Darstellung der Verwendung der Systematik zur Bestimmung des Leistungsverlustes wird anhand eines Beispiels im Mauerwerksbau gezeigt, wie die vorhandenen Daten aus Kapitel 6.1 zur Anwendung kommen. Zudem erfolgt ein Vergleich der Berechnungsergebnisse, wenn statt der Mauerwerksarbeiten Betonierarbeiten mit den dort höher vorgefundenen Beanspruchungen verwendet werden.

Für die exemplarische Bestimmung des Leistungsverlustes infolge längerer Arbeitszeit müssen die nachfolgend dargestellten Arbeitsschritte abgearbeitet werden:

- Ermittlung der personenbezogenen Parameter
- Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag
- Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien
- Bestimmung des Leistungsfortschrittes
- Veränderung der Arbeitszeit

### 6.2.1 Ermittlung der personenbezogenen Parameter

Als Eingangsdaten für die Anwendung der Arbeitsleistungskurve müssen das Alter, die Größe und das Gewicht des betrachteten Maurers erhoben werden.

Im Beispiel sind dies folgende Werte:

Alter (A): 28 Jahre

Größe (H): 185 cm

Gewicht (W): 85 kg

Mit Hilfe dieser Eingangswerte kann der für die weitere Berechnung erforderliche Herzfrequenzwert  $HF_{max,calc}$  und die Leistung  $P_{max,calc}$  bestimmt werden:

$$HF_{max,calc} = 211,30 - 0,922 * Alter = 211,30 - 0,922 * 28 = 185,48 [S/min] \quad (6.6)$$

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A = 236,5 [W] \quad (6.7)$$

$$KO = 0,007148x W^{0,425} * H^{0,725} = 0,007148x 185^{0,425} * 185^{0,725} = 2,08 [m^2] \quad (6.8)$$

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max,calc} * 0,635 + P_{max,calc} * 0,018 = 124 [S/min] \quad (6.9)$$

Damit sind alle erforderlichen personenbezogenen Eingangsparameter für die Berechnung ermittelt.

### 6.2.2 Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag

Die Festlegung der täglichen Arbeitszeit und der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag stellt die zweite vom Bearbeiter festzulegende Annahme dar. Für die beispielhafte Anwendung wird ein Arbeitstag mit einer Brutto-Arbeitszeit von zehn Stunden angenommen.

Für die Festlegung der Tätigkeitsverteilung können dabei die in Tabelle 5-16 dargestellten Prozentwerte der Verteilung der Tätigkeitsgruppen und die Verteilung am gesamten Arbeitstag, dargestellt in Tabelle 5-13, als Anhaltspunkt dienen.

Für das Beispiel wird angenommen, dass die Vormittagspause 20 Minuten und die Mittagspause 40 Minuten dauert.

Weitere Orientierungspunkte für die Anordnung der Tätigkeiten sind die Vorbereitungstätigkeiten zu Beginn und die Aufräumarbeiten am Ende des Arbeitstages.

Für das Beispiel werden hierfür folgende Zeiten angenommen:

Vorbereiten zu Arbeitsbeginn:	15 Minuten
Vorbereiten nach jeder der beiden vorgegebenen Pausen:	5 Minuten
Aufräumarbeiten vor der Mittagspause:	5 Minuten
Aufräumarbeiten vor Arbeitsende:	15 Minuten

Damit sind die wesentlichen Grundannahmen getroffen und es müssen im nächsten Schritt die Haupt- und Nebentätigkeiten angeordnet werden. Auch hier dient Tabelle 5-16 als Anhaltspunkt.

Entsprechend dieser Überlegungen und der Werte aus der Tabelle werden ca. 30 % für die erste Arbeitsstunde und 42 % für die weiteren Arbeitsstunden als Tätigkeitsanteil für „Mauern“ angenommen.<sup>236</sup>

Korrespondierend zur Tätigkeit „Mauern“ ist die Nebentätigkeit „Vorbereiten Mauern“ anzuordnen.

Entsprechend Tabelle 5-16 wird für dieses Beispiel ein Verhältnis von 5:1 bzw. 3:2 in den Randstunden angesetzt.

Die weiteren Tätigkeitsgruppen werden gleichmäßig über den gesamten Arbeitstag verteilt. Lediglich in den Stunden mit Pausen sind die Unterbrechungen nahezu Null und der Anteil der allgemeinen Vorbereitungsarbeiten nimmt einen etwas höheren Wert an.

Für das Beispiel werden in Anlehnung an die Tabelle 5-13 folgende Werte angenommen:

„Vorbereiten Allgemein“	2 % der Tagesarbeitszeit
„Besprechung“	3,5 % der Tagesarbeitszeit
„Ablaufbedingte Unterbrechung“	3 % der Tagesarbeitszeit
„Störungsbedingte Unterbrechung“	1,5 % der Tagesarbeitszeit

Für die Stunden mit Pause werden die Unterbrechungen auf Null gesetzt und die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten Allgemein“ auf 3 % erhöht.

Die Tätigkeitsgruppen „Persönlich bedingte Unterbrechung“ und „Eigene Pausen“ werden entsprechend den aus der Tätigkeitserbringung entste-

<sup>236</sup> Die Reduzierung in den letzten Stunden wird erst im nächsten Schritt nach der Anordnung von erforderlichen Pausen bei Überschreitung der Herzfrequenzschwelle  $HF_{LTP1}$  vorgenommen.

henden Erfordernissen angeordnet, um die Herzfrequenz unter dem Level des  $HF_{LTP1}$  zu halten. Zusammenfassend werden die getroffenen Annahmen in Tabelle 6-2 zusammengestellt.

Tabelle 6-2 Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme (grau hinterlegte Zellen sind jene Zellen, in denen Annahmen getroffen wurden)

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
Pause			20		40						60,0
Herrichten	15		5		5						25,0
Aufräumen				5						15	20,0
Mauern	18	25,2	12	25,2	12	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	218,4
Vorbereiten Mauern	12,00	5,60	2,40	5,60	2,67	5,60	5,60	5,60	5,60	5,60	56,3
Vorbereiten Allgemein	1,2	1,2	1,8	1,2	0,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	11,7
Besprechung	2,34	2,34	2,34	2,34	0	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	21,1
Ablaufbedingte Unterbrechung	2,25	2,25	0	2,25	0	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	18,0
Störungsbedingte Unterbrechung	1,02	1,02	1,02	1,02	0	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	9,1
Persönlich bedingte Unterbrechung											
Eigene Pausen											

Tabelle 6-3 Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme (grau hinterlegte Zellen sind jene Zellen, in denen Annahmen getroffen wurden)

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
Pause	0%	0%	33%	0%	67%	0%	0%	0%	0%	0%	10,00%
Herrichten	25%	0%	8%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	4,17%
Aufräumen	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	3,33%
Mauern	30%	42%	20%	42%	20%	42%	42%	42%	42%	42%	36,40%
Vorbereiten Mauern	20%	9%	4%	9%	4%	9%	9%	9%	9%	9%	9,38%
Vorbereiten Allgemein	2,0%	2,0%	3,0%	2,0%	0,5%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	1,95%
Besprechung	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	0,0%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,51%
Ablaufbedingte Unterbrechung	3,75%	3,75%	0,00%	3,75%	0,00%	3,75%	3,75%	3,75%	3,75%	3,75%	3,00%
Störungsbedingte Unterbrechung	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	0,00%	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	1,53%
Persönlich bedingte Unterbrechung											
Eigene Pausen											
Summe Minuten	51,81	37,61	44,56	42,61	59,97	37,61	37,61	37,61	37,61	52,61	439,61
% von 60 Minuten	86,4%	62,7%	74,3%	71,0%	99,9%	62,7%	62,7%	62,7%	62,7%	87,7%	73,27%

Aus Tabelle 6-2 und Tabelle 6-4 ist erkennbar, dass durch die Annahme der zuvor erklärten Zeiten und ohne die „Persönlich bedingten Unterbrechungen“ und den „Eigene Pausen“ mehr als 25 % des Arbeitstages nicht zugeordnet sind. Dies begründet sich vor allem mit den zu gering angesetzten Anteilen der Tätigkeitszeit „Mauern“.

Wurden bei den durchgeführten Untersuchungen neben der Haupttätigkeit „Mauern“ immer noch geringfügige andere Haupttätigkeiten (z.B. Schalen oder Betonieren ca. 5-10 %) ausgeführt, so erscheint im Rahmen dieses Beispiel eine ausschließliche Betrachtung der Haupttätigkeit „Mauern“ sinnvoll.

Daher werden die Anteile für das Mauern erhöht.

Dadurch verändern sich ebenso die damit zusammenhängenden Anteile der Nebentätigkeit „Vorbereiten Mauern“.

Das Verhältnis zwischen HT und NT wird von 5:1 auf 4:1 in allen Arbeitsstunden ohne Pause verringert.

Zusätzlich zu diesen Veränderungen wurden nun auch die Zeiten für „Persönlich bedingte Unterbrechungen“ und „Eigene Pausen“ so angeordnet, dass die Zeit jeder Stunde vollständig auf die einzelnen Tätigkeitskategorien verteilt wurde.

Tabelle 6-4 Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen (orange markiert)

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
Pause			20,00		40,00						60,00
Herrichten	15,00		5,00		5,00						25,00
Aufräumen				5,00						15,00	20,00
Mauern	22,20	36,00	21,00	30,00	10,80	36,00	36,00	36,00	36,00	28,20	292,20
Vorbereiten Mauern	14,80	9,00	5,25	7,50	2,40	9,00	9,00	9,00	9,00	7,05	82,00
Vorbereiten Allgemein	1,20	1,20	1,80	1,20	0,30	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	11,70
Besprechung	2,34	3,54	2,34	2,34	0,00	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	22,26
Ablaufbedingte Unterbrechung	2,25	2,25	0,00	2,25	0,00	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	18,00
Störungsbedingte Unterbrechung	1,02	1,02	1,02	1,02	0,00	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	9,18
Persönlich bedingte Unterbrechung	0,60	0,60	1,80	0,60	1,50	0,60	0,60	0,60	0,60	1,20	8,70
Eigene Pausen	0,59	6,39	1,79	10,09	0,00	7,59	7,59	7,59	7,59	1,74	50,96

Tabelle 6-5 Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen (orange markiert)

Stunde	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW
Pause	0,00%	0,00%	33,33%	0,00%	66,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,00%
Herrichten	25,00%	0,00%	8,33%	0,00%	8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	4,17%
Aufräumen	0,00%	0,00%	0,00%	8,33%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	25,00%	3,33%
Mauern	37,00%	60,00%	35,00%	50,00%	18,00%	60,00%	60,00%	60,00%	60,00%	47,00%	48,70%
Vorbereiten Mauern	24,67%	15,00%	8,75%	12,50%	4,00%	15,00%	15,00%	15,00%	15,00%	11,75%	13,67%
Vorbereiten Allgemein	2,00%	2,00%	3,00%	2,00%	0,50%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	1,95%
Besprechung	3,90%	5,90%	3,90%	3,90%	0,00%	3,90%	3,90%	3,90%	3,90%	3,90%	3,71%
Ablaufbedingte Unterbrechung	3,75%	3,75%	0,00%	3,75%	0,00%	3,75%	3,75%	3,75%	3,75%	3,75%	3,00%
Störungsbedingte Unterbrechung	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	0,00%	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	1,70%	1,53%
Persönlich bedingte Unterbrechung	1,00%	1,00%	3,00%	1,00%	2,50%	1,00%	1,00%	1,00%	1,00%	2,00%	1,45%
Eigene Pausen	0,98%	10,65%	2,99%	16,81%	0,00%	12,65%	12,65%	12,65%	12,65%	2,90%	8,49%
Summe Minuten	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	

### 6.2.3 Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien

Um nun mit den zuvor erhobenen relativen Beanspruchungen in Abhängigkeit von maximaler Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ), Gewicht ( $W$ ) und Körpergröße ( $H$ ) sowie der Vorbelastung die Herzfrequenz zu ermitteln, reicht jedoch diese angenommene Tätigkeitsverteilung nicht aus.

Um diese Werte mit höherer Genauigkeit anzuwenden, wird die Verteilung der Tätigkeitsgruppen, in Analogie zu den durchgeführten Aufnahmen, für einen Zeitraum von fünf Minuten festgelegt.<sup>237</sup>

<sup>237</sup> Der Vergleich des Herzfrequenzverlaufs auf Basis der groben (stündlichen) und detaillierten (fünfminütigen) Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag ist im Anhang in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. dargestellt und zeigt die deutlichen Abweichungen.

Tätigkeit	Arbeitsstunde Arbeitsminuten	1											2												
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
111 Mauern																									
121 Vorbereiten Mauern					5	5	4,5	5	3	5	4,5	0	1,5	3	5	5	3	4	4	3	4	3	4	3	4
126 Vorbereiten allgemein												1	2	2,5								1			
127 Herrichten		5	5	5																					
128 Aufräumen																									
129 Besprechung									2								2			2					
211 Ablaufbedingte Unterbrechung						0,5					0,5	1									2				
221 Störungsbedingte Unterbrechung													1										1		
231 Pause													0												
232 Eigene Pause														2				1	1		1				1
241 Persönlich bedingte Unterbrechung												1											1		
<b>111 Mauern</b>							23,5																		36
<b>121 Vorbereiten Mauern</b>							14,5																		9
<b>126 Vorbereiten allgemein</b>							1																		1
<b>127 Herrichten</b>							15																		0
<b>128 Aufräumen</b>							0																		0
<b>129 Besprechung</b>							2																		4
<b>211 Ablaufbedingte Unterbrechung</b>							2																		2
<b>221 Störungsbedingte Unterbrechung</b>							1																		1
<b>231 Pause</b>							0																		0
<b>232 Eigene Pause</b>							0																		6
<b>241 Persönlich bedingte Unterbrechung</b>							1																		1

Bild 6-2 Ausschnitt Tätigkeitsverteilung in den einzelnen Arbeitsstunden im Intervall von fünf Minuten<sup>238</sup>

Durch diese detailliertere Verteilung der Tätigkeitsanteile ergeben sich nur noch geringfügige Verschiebungen der Anteile der jeweiligen Tätigkeitsgruppen. Die endgültige Verteilung ist in der Tabelle 6-6 dargestellt.

Tabelle 6-6 Endgültige Verteilung der Tätigkeitsgruppen

Tätigkeit (Nr. und Bezeichnung)	Arbeitszeit	Anteil am Arbeitstag
111 Mauern	295,50 min	49,25%
121 Vorbereiten Mauern	79,50 min	13,25%
126 Vorbereiten allgemein	11,00 min	1,83%
127 Herrichten	25,00 min	4,17%
128 Aufräumen	20,00 min	3,33%
129 Besprechung	24,00 min	4,00%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	16,00 min	2,67%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	9,00 min	1,50%
231 Pause	62,00 min	10,33%
232 Eigene Pause	51,00 min	8,50%
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	7,00 min	1,17%

Mit Hilfe dieser Annahmen ist es nun möglich, die Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeitsgruppe zu bestimmen und aus den so ermittelten Herzfrequenzwerten in weiterer Folge die Vorbelastungs-Herzfrequenz für die weiteren Tätigkeiten zu ermitteln.

<sup>238</sup> Die Verteilung der Tätigkeiten in allen Stunden ist in Anhang der Dissertation im Detail ersichtlich.

#### 6.2.4 Bestimmung des Leistungsfortschritts

Die Tagesleistung eines Bauarbeiters bei neun Stunden Nettoarbeitszeit ( $L_{AT,9Std}$ ) wird durch Multiplikation des Netto-Leistungswertes ( $LW_{N,Mauern}$ ) mit der Arbeitszeit für Mauerwerksarbeiten ( $T_{Mauern}$ ) berechnet:

$$L_{AT,9Std} = T_{Mauern} [Std] * LW_{N,Mauern} \left[ \frac{m^3}{Std} \right] = \frac{295,5}{60} * 0,72 = 3,546 m^3 \quad (6.10)$$

Dies entspricht einer Wandfläche von 14,18 m<sup>2</sup> bei einer 25 cm starken Hochlochziegelwand.

#### 6.2.5 Veränderung der Arbeitszeit

Um nun den Leistungsverlust einer verlängerten Arbeitszeit darzustellen, ist es erforderlich, die Arbeitszeit auf die geplanten Arbeitszeiten zu verändern.

##### 6.2.5.1 Verlängerung der Arbeitszeit um eine Stunde

Es erfolgt dabei analog zum Vorgehen in Kapitel 6.2.2 die Aufteilung der Tätigkeitszeiten gemäß der bereits erarbeiteten Verteilung.

Es erscheint hierbei aus baubetrieblicher Sicht sinnvoll, nicht die letzte, sondern die vorletzte Stunde zu duplizieren, um ein wirklichkeitsgetreues Abbild der Tätigkeitsverteilung zu erzielen:

Tabelle 6-7 Zeiten [min] und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages

	Stunde											Summe	Anteil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
111 Mauern	23,5	36,0	21,0	30,0	11,0	36,0	36,0	37,0	37,0	37,0	28,0	332,5	50,38%
121 Vorbereiten Mauern	14,5	9,0	5,0	8,0	2,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	7,0	87,5	13,26%
126 Vorbereiten allgemein	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	12,0	1,82%
127 Herrichten	15,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	3,79%
128 Aufräumen	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	20,0	3,03%
129 Besprechung	2,0	4,0	2,0	2,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	27,0	4,09%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	2,0	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	18,0	2,73%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	10,0	1,52%
231 Pause	0,0	0,0	22,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	9,39%
232 Eigene Pause	0,0	6,0	0,0	10,0	0,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	3,0	59,0	8,94%
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,0	1,06%
Summe	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	660,0	100,00%

Die daraus entstehende Leistung ( $L_{AT,10}$ ) des Arbeitstages für das Mauern ermittelt sich wie folgt:

$$L_{AT,10 \text{ Std}} = T_{\text{Mauern}} [\text{Std}] * LW_{N,\text{Mauern}} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{Std}} \right] = \frac{332,5}{60} * 0,72 = 3,99 \text{ m}^3 \quad (6.11)$$

Dies entspricht einer Wandfläche von 15,96 m<sup>2</sup> an einem Arbeitstag mit 11 Stunden Brutto-Arbeitszeit.

### 6.2.5.2 Verlängerung der Arbeitszeit um zwei Stunden<sup>239</sup>

Wird die Tagesarbeitszeit um eine weitere Stunde verlängert, so ergibt sich in Analogie die nachfolgende Tabelle:

<sup>239</sup> Anzumerken ist, dass durch diese Verlängerung der Arbeitszeit die im Normalfall erlaubte tägliche Arbeitszeit von maximal zehn Stunden überschritten wird. Die hier dargestellte Arbeitszeit ist nur in Sonderfällen erlaubt, wird jedoch hier für den weiteren Vergleich mit den bestehenden Bewertungssystemen dargestellt.

Tabelle 6-8 Zeiten und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages

	Stunde												Summe	Anteil
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
111 Mauern	23,5	36,0	21,0	30,0	11,0	36,0	36,0	37,0	37,0	37,0	37,0	28,0	369,5	51,32%
121 Vorbereiten Mauern	14,5	9,0	5,0	8,0	2,0	9,0	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	95,5	13,26%
126 Vorbereiten allgemein	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	13,0	1,81%
127 Herrichten	15,0	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,0	3,47%
128 Aufräumen	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	20,0	2,78%
129 Besprechung	2,0	4,0	2,0	2,0	0,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	30,0	4,17%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	2,0	2,0	0,0	2,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	20,0	2,78%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	11,0	1,53%
231 Pause	0,0	0,0	22,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	8,61%
232 Eigene Pause	0,0	6,0	0,0	10,0	0,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	3,0	67,0	9,31%
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,0	0,97%
Summe	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	720,0	100,00%

Erneut wird die Tagesarbeitsleistung ( $L_{AT,11Std}$ ) ermittelt:

$$L_{AT,11Std} = T_{Mauern} [Std] * LW_{N,Mauern} \left[ \frac{m^3}{Std} \right] = \frac{369,5}{60} * 0,72 = 4,434 m^3 \quad (6.12)$$

Diese entspricht einer Wandfläche von 17,74 m<sup>2</sup> an einem Arbeitstag mit 12 Stunden Brutto-Arbeitszeit.

### 6.2.5.3 Vergleich der Tagesarbeitsleistung bei verschiedenen Tagesarbeitszeiten

Der Vergleich der ermittelten Leistungswerte mit dem extrapolierten Wert der Leistung der Ausgangssituation zeigt den Leistungsrückgang bei der jeweiligen Arbeitsdauer:

Tabelle 6-9 Vergleich der Tagesarbeitsleistung

Brutto-Arbeitszeit [h]	Zeit für Mauern [min]	Leistung [m <sup>3</sup> ]	Extrapolierte Leistung [m <sup>3</sup> ]	Differenz [m <sup>3</sup> ]	Leistungsänderung [%]
10	295,5	3,546			
11	332,5	3,960	3,940 <sup>240</sup>	+ 0,02 <sup>241</sup>	+ 0,56 % <sup>242</sup>
12	354,5	4,434	4,334 <sup>243</sup>	+ 0,10 <sup>244</sup>	+ 2,82% <sup>245</sup>

### 6.2.5.4 Vergleich der unterschiedlichen Bewertungssysteme

Abschließend erfolgt ein direkter Vergleich der Ergebnisse mit Arbeitsleistungskurven nach Lehmann und Winter.

Als Ausgangspunkt dient eine Brutto-Arbeitszeit von zehn Stunden. Dies entspricht einer Netto-Arbeitszeit von neun Stunden, welche in die Überlegungen von Lehmann und Winter einzusetzen ist.

Ebenso muß, um die tatsächliche Leistung ermitteln zu können, der Brutto-Leistungswert aus dem Nettoleistungswert bestimmt werden. Dies erfolgt durch Einsetzen in die folgende Gleichung:

$$LW_{Brutto,Mauern} = LW_{Netto,Mauern} * Anteil_{Mauern} * \frac{T_{Brutto}}{T_{Netto}} \quad (6.13)$$

Durch Verwendung der oben genannten Arbeitszeiten, dem Anteil der Mauerwerksarbeiten von 49,25 % und einem Netto-Leistungswert von 0,72 m<sup>3</sup>/Std. ergibt sich ein Brutto-Leistungswert von 0,394 m<sup>3</sup>/Std.

Die Leistung eines Arbeitstages mit 10 Stunden auf der Baustelle ergibt:

$$L_{AT,10h} = L_{AT,9Std} = LW_{Brutto,Mauern,9} * AZ_{Netto} = 0,394 * 9 = 3,546 \text{ m}^3 \quad (6.14)$$

<sup>240</sup> Die extrapolierte Leistung ergibt sich aus  $3,546 / 9 * 10 = 3,94 \text{ m}^3/\text{AT}$ .

<sup>241</sup> Die Differenz der beiden Leistungswerte ergibt  $3,94 - 3,96 = - 0,02 \text{ m}^3$ .

<sup>242</sup> 3,940 entspricht 111,11 % der Leistung von 10 Stunden,  
3,960 entspricht 111,67 % der Leistung von 10 Stunden,  
Die Differenz diese Leistungswerte ergibt  $111,11 - 111,67 = - 0,56 \%$ .

<sup>243</sup> Die extrapolierte Leistung ergibt sich aus  $3,546 / 9 * 11 = 4,334 \text{ m}^3/\text{AT}$ .

<sup>244</sup> Die Differenz der beiden Leistungswerte ergibt  $4,334 - 4,434 = - 0,10 \text{ m}^3$ .

<sup>245</sup> 4,344 entspricht 122,22 % der Leistung von 10 Stunden,  
4,434 entspricht 125,04 % der Leistung von 10 Stunden,  
Die Differenz diese Leistungswerte ergibt  $122,22 - 125,04 = - 2,82 \%$ .

Dieser Wert stellt den Ausgangspunkt für den Vergleich mit den Leistungsverlustermittlungen von Lehmann und Winter dar.

Bei Lehmann wird die jeweilige Leistung aus dem Diagramm abgelesen und bei Winter die Netto-Arbeitszeit in Glg. (4.1) eingesetzt:

Tabelle 6-10 Leistungsverlustermittlung nach Lehmann

Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Proportionale Leistung	Leistungswerte aus Diagramm	Vergleich zu Ausgangswert	Leistungsverlust
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]	[%]
10	9	100,00	107	100,00	0,00
11	10	111,11	111	103,74	- 7,37
12	11	122,22	114	106,54	- 15,68

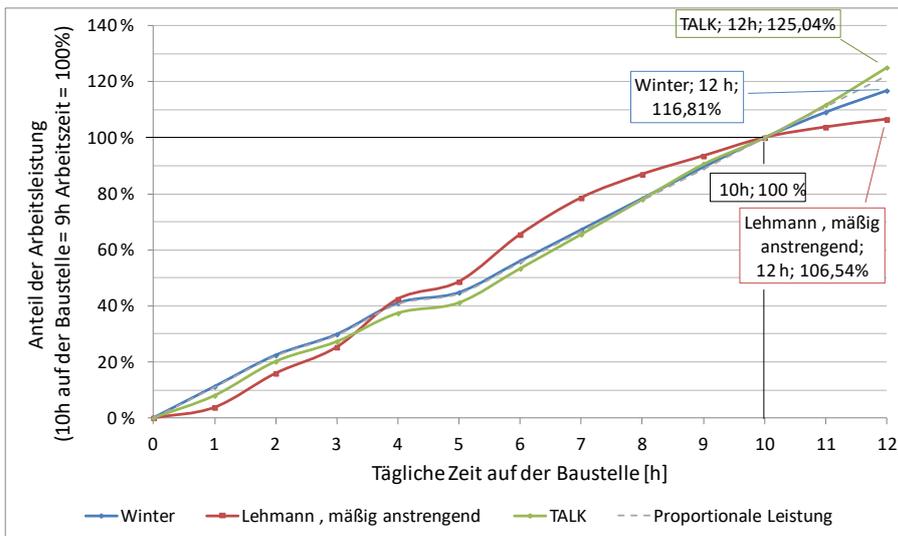
Tabelle 6-11 Leistungsverlustermittlung nach Winter

Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Proportionale Leistung	Leistungswerte aus Glg. (4.1)	Vergleich zu Ausgangswert	Leistungsverlust
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]	[%]
10	9	100,00	112	100,00	0,00
11	10	111,11	122	109,09	- 2,02
12	11	122,22	130	116,78	- 5,44

Tabelle 6-12 Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung

Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Leistungsverlust nach Lehmann	Leistungsverlust nach Winter	Leistungsänderung nach TALK
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]
10	9	0,00	0,00	0,00
11	10	- 7,37	- 2,66	+ 0,56
12	11	- 15,68	- 6,73	+ 2,82

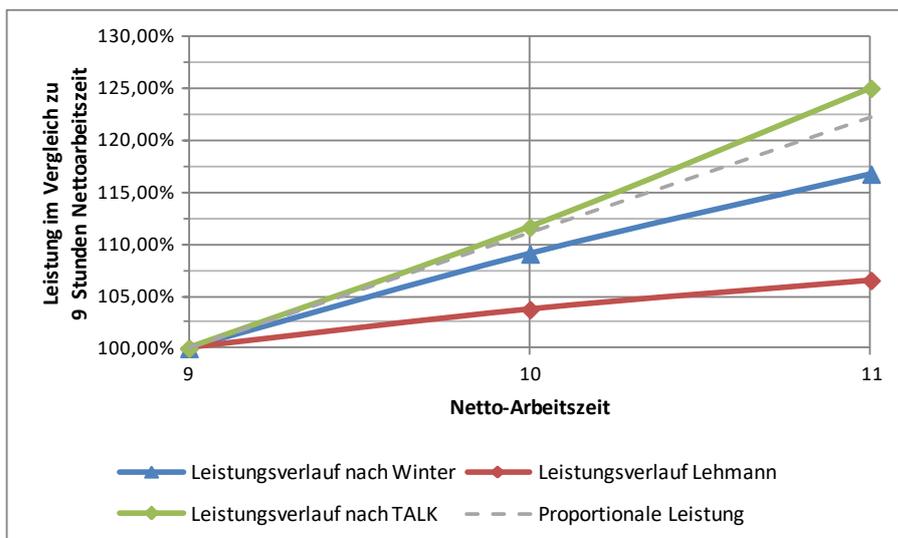
Der Vergleich in Tabelle 6-12 zeigt, dass im Gegensatz zu den Berechnungen von Lehmann und Winter kein Leistungsverlust bei den betrachteten Mauerwerksarbeiten bei Anwendung der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve (TALK) entsteht. Zur Veranschaulichung werden die Ergebnisse in der Darstellungsform von Lehmann aufbereitet:



Die in Bild 6-3 dargestellten Ergebnisse der TALK sind nur unter den zuvor beschriebenen Randbedingungen (Tätigkeitsverteilung und Personendaten) gültig.

Jede Änderung dieser Randbedingungen kann zu einem veränderten Ergebnis führen.

Bild 6-3 Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung – Darstellungsweise nach Lehmann



Die in Bild 6-4 dargestellten Ergebnisse der TALK sind nur unter den zuvor beschriebenen Randbedingungen (Tätigkeitsverteilung und Personendaten) gültig.

Jede Änderung dieser Randbedingungen kann zu einem veränderten Ergebnis führen.

Bild 6-4 Detailausschnitt aus Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung

Die hier dargestellten Ergebnisse in Tabelle 6-12, Bild 6-3 und Bild 6-4 sind jedoch nur für die zuvor dargestellten Randbedingungen der Arbeiter und der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag gültig und müssen für jede Betrachtung von neuem angestellt werden.

Dieses Ergebnis erscheint vor der Kenntnis der bisherigen Arbeitsleistungskurven überraschend zu sein, allerdings gilt es zu bedenken, dass es sich bei den hier betrachteten Mauererarbeiten gerade um solche körperlichen Tätigkeiten handelt, die auf Grund der Untersuchung nicht im anaeroben Bereich durchgeführt werden. Dies lässt die Vermutung

aufstellen, dass aus physiologischer Sicht ein Maurer mit einem Dauerläufer verglichen werden kann.

Konkret bedeutet dies, dass bei einem verlängerten Arbeitstag der Anteil der Tätigkeitszeit gegenüber der Pausenzeit zunimmt. Somit ist der relative Leistungszuwachs je Stunde zu erklären. Dementsprechend erhöht sich die erzielbare Leistung über den aus der ursprünglichen Arbeitszeit extrapolierten Wert.

Es gilt jedoch zu bedenken, dass insbesondere bei azyklischen Tätigkeiten und solchen im anaeroben Bereich (z.B. Betonieren) signifikant andere Leistungsänderungen auftreten können.

### **6.3 Anwendung der relativen Beanspruchungsparameter bei Betonierarbeiten**

Ergänzend zur Darstellung der Mauerwerksarbeiten aus der Dissertation erfolgt die Darstellung der Bewertung für Schalungs- und Betonierarbeiten, um die Auswirkung einer Tätigkeit mit höherer Belastung darzustellen.<sup>246</sup>

Zur Bewertung der Leistungsänderung werden die gleichen Tätigkeitsverteilungen zu Grunde gelegt, jedoch werden für das Beispiel die Anteile der Vorgänge „Mauern“ und „Vorbereiten Mauern“ direkt in die Vorgänge „Betonieren“ und „Vorbereiten Betonieren“ umgewandelt.

#### **6.3.1 Ermittlung des Herzfrequenzverlaufs infolge der Tätigkeitsausführung**

Wie zuvor wird die relative Beanspruchungen, in Abhängigkeit von maximaler Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ), Gewicht ( $W$ ) und Körpergröße ( $H$ ) sowie der Vorbelastung, und die Herzfrequenz zu ermittelt

Mit Hilfe dieser detaillierten Aufstellung kann nun der Verlauf der Herzfrequenz im Verlauf des Arbeitstages berechnet werden und es ergibt für den Mauerwerksbau das in Bild 6-5 dargestellte Ergebnis.

---

<sup>246</sup> Die nachstehenden Ergebnisse wurden im BauAktuell 2012 veröffentlicht: Schlagbauer, D.; Heck, D.: Arbeitsleistungskurven - Neues Bewertungsmodell und Anwendungsbeispiel. - in: Bau aktuell (2012) 4, S. 136 – 147

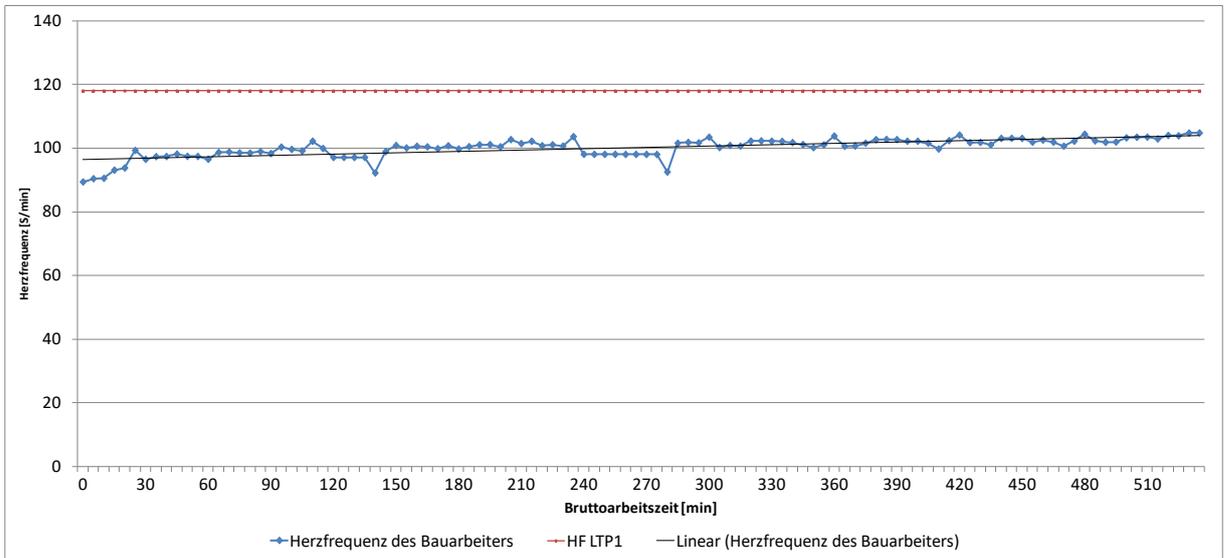


Bild 6-5 Herzfrequenzverlauf für Mauerwerksarbeiten

Setzt man nun zur Berechnung der Herzfrequenz anstatt der Faktoren für Mauerwerksarbeiten die Werte für Betonierarbeiten ein, ergibt sich daraus eine veränderte Herzfrequenzverlaufskurve, die in Bild 6-6 dargestellt ist.

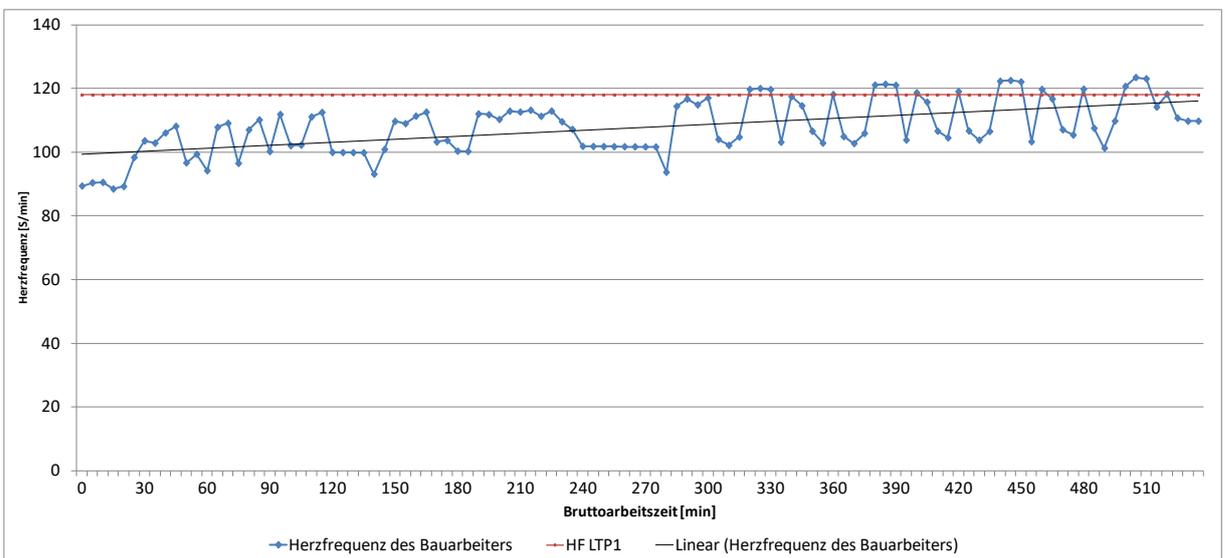


Bild 6-6 Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten

Bereits unter diesen Umständen ist ersichtlich, dass ab ca. 300 Minuten Bruttoarbeitszeit die Dauerleistungsherzfrequenz ( $HF_{LTP1}$ ) überschritten wird.

### 6.3.2 Anpassung der Tätigkeiten infolge des Herzfrequenzverlaufs

Entsprechend der Überlegungen, die dem Modell zugrunde liegen, ist es erforderlich die Beanspruchung zu reduzieren indem bei Überschreitung der Dauerleistungsgrenze

Daher wird der Anteil des Vorgangs „Betonieren“ zu den betreffenden Zeitpunkten durch Pausen ersetzt, um die Herzfrequenz am gesamten Tag unter  $HF_{LTP1}$  zu halten.

Durch diese Verschiebung reduziert sich der Anteil für die Anteile der Tätigkeiten für den Vorgang „Betonieren“ von 36,63 % auf 33,32 % (oder 179,9 min) und der Anteil des Vorgangs „Eigene Pausen“ erhöht sich von 7,20 % auf 10,52 %.

### 6.3.3 Bestimmung des Leistungsfortschritts

Der Netto-Leistungswertes ( $LW_{N,Betonieren}$ ) kann dabei mit Hilfe der nachstehenden Gleichung berechnet werden, wobei ein Brutto-Leistungswert von 1,1 Std/m<sup>3</sup>, bei 8 Arbeitsstunden von 7,28 m<sup>3</sup> durch einsetzen in die nachstehenden Gleichungen.

$$L_{AT,8Std} = T_{Betonieren} [Std] * LW_{N,Betonieren} \left[ \frac{m^3}{Std_N} \right] = \frac{179,9}{60} * 2,43 = 7,28 m^3 \quad (6.15)$$

$$LW_{Netto,Betonieren} = \frac{LW_{Brutto,Betonieren}}{Anteil_{Betonieren}} * \frac{T_{Netto}}{T_{Brutto}} = \frac{0,91}{33,32\%} * \frac{8}{9} = 2,43 m^3/Std_N \quad (6.16)$$

### 6.3.4 Verlängerung der Arbeitszeit

Es erfolgt bei einer Verlängerung der Arbeitszeit in Analogie zum Vorgehen in Kapitel 6.2.2 die Aufteilung der Tätigkeitszeiten gemäß der bereits erarbeiteten Verteilung auf die neu festgelegte Arbeitszeit.

Erneut erfolgt keine reine Extrapolation der Anteile aller Vorgänge, sondern die erneute Anwendung der Verteilung der vorletzten Stunde.

Bei den Betonierarbeiten zeigt sich, dass durch die Verlängerung der Arbeitszeit jeweils Anteile des Vorgangs „Betonieren“ in den Vorgang „Eigene Pause“ umgewandelt werden müssen, um die Herzfrequenz unter dem Level der Dauerleistungsgrenze zu halten.

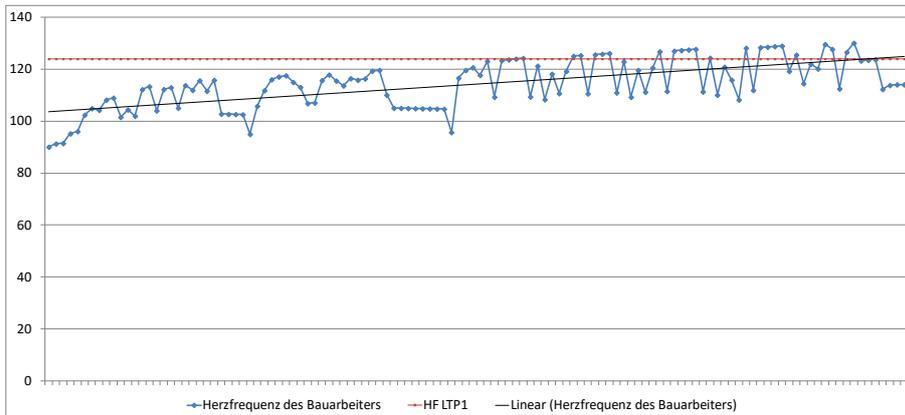


Bild 6-7 Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten entsprechend der Tätigkeitsverteilung Mauerwerksarbeiten

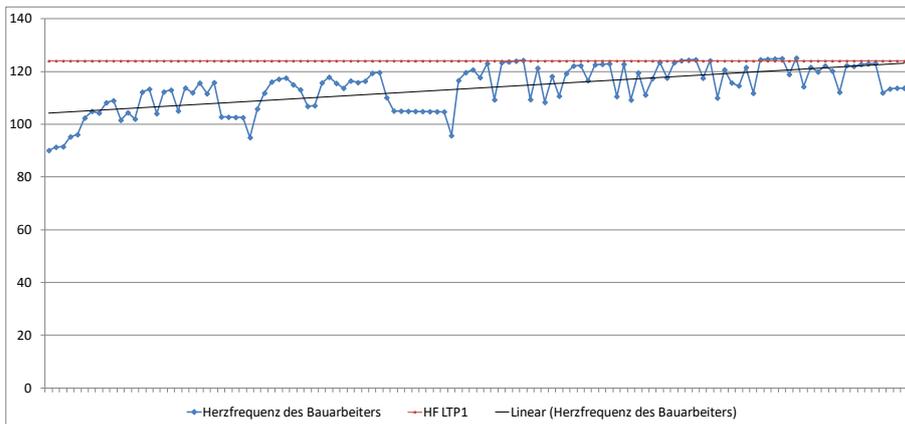


Bild 6-8 angepasster Herzfrequenzverlauf für Betonierarbeiten durch Anpassung der Tätigkeitsverteilung mit zusätzlichen Pausen

Durch diese Veränderungen ergeben sich für die Betonierarbeiten folgende Tagesleistungen bei den veränderten Arbeitszeiten:

- 9 Stunden Nettoarbeitszeit: Anteil<sub>Betonieren</sub>: 32,84 % oder 197,0 min  
 $L_{AT,9Std} = 7,98 \text{ m}^3$
- 10 Stunden Nettoarbeitszeit: Anteil<sub>Betonieren</sub>: 32,53 % oder 215,0 min  
 $L_{AT,10Std} = 8,71 \text{ m}^3$

Tabelle 6-13 Vergleich der Tagesarbeitsleistung

Brutto-Arbeitszeit [h]	Zeit für Mauern [min]	Leistung [m <sup>3</sup> ]	Extrapolierte Leistung [m <sup>3</sup> ]	Differenz [m <sup>3</sup> ]	Leistungsänderung [%]
9	179,9	7,28			
10	197,0	7,98	8,19	- 0,21	- 2,56
11	215,0	8,71	9,10	- 0,39	- 4,28

## 6.4 Erneuter Vergleich mit den bestehenden Bewertungssystemen

Abschließend soll durch den erneuten Vergleich der Ergebnisse mit Arbeitsleistungskurven nach Lehmann und Winter wie auch mit den Ergebnissen für Mauerwerksarbeiten die Auswirkung der unterschiedlichen Arbeitsbelastung dargestellt werden.

Tabelle 6-14 Leistungsverlustermittlung nach Lehmann

Arbeitszeit		mäßig anstrengende Arbeit			hohe körperliche Belastung	
Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Proportionale Leistung	Leistungswerte aus Diagramm,	Leistungsverlust	Leistungswerte aus Diagramm,	Leistungsverlust
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
9	8	100,00	100	0,00	100	0,00
10	9	111,11	107	- 4,89	102	- 9,33
11	10	122,22	111	- 11,20	103	- 17,60

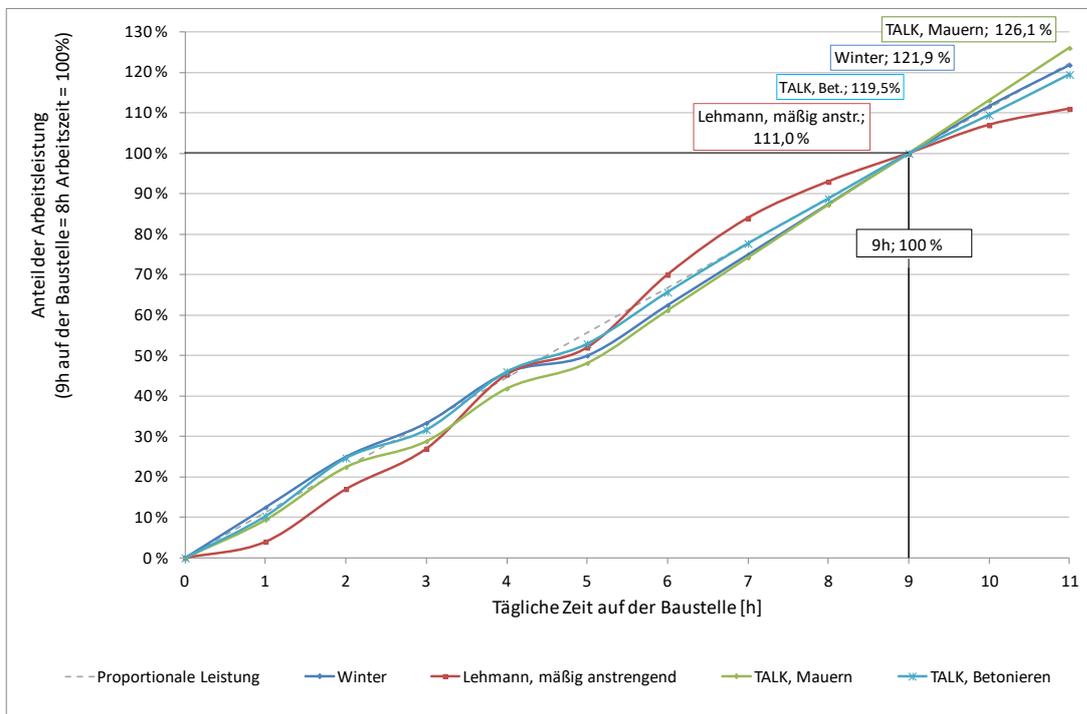
Tabelle 6-15 Leistungsverlustermittlung nach Winter

Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Proportionale Leistung	Leistungswerte aus Glg. (4.1)	Leistungsverlust
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]
9	8	100,00	100	0,00
10	9	111,11	112	- 0,69
11	10	122,22	122	- 2,50

Tabelle 6-16 Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung

Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Leistungsverlust nach Lehmann		Leistungsverlust nach Winter	Leistungsänderung nach TALK bei Mauern	Leistungsänderung nach TALK bei Betonieren
		mäßig anstrengend[%]	hohe körperliche Belastung [%]			
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
9	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	9	- 4,89	- 9,33	- 0,69	+ 0,38	- 2,56
11	10	- 11,20	- 17,60	- 2,50	+ 0,69	- 4,28

Der Vergleich in Tabelle 6-16 zeigt, dass im Gegensatz zu den Berechnungen von Lehmann und Winter bei Mauerwerksarbeiten kein Leistungsverlust ermittelt werden kann. Bei den Betonierarbeiten hingegen ist ein Leistungsverlust festzustellen, der zwischen den Werten von Lehmann und Winter liegt. Zur Veranschaulichung werden die Ergebnisse in der Darstellungsform von Lehmann aufbereitet:



Auch in der graphischen Darstellung zeigt sich, dass auf Grund der unterschiedlichen Belastungen der Arbeitsaufgaben „Mauern“ und „Betonieren“ unterschiedliche Auswirkungen auf die Arbeitsleistung bei einer Verlängerung der Arbeitszeit entstehen.

Während bei Mauerwerksarbeiten durch eine Verringerung der Rand- und Pausenanteile eine Erhöhung des produktiven Anteils resultiert, ist es bei den Betonierarbeiten notwendig, zusätzliche Pausenzeiten einzuführen, um die Dauerleistungsherzfrequenz ( $HF_{LTP1}$ ) nicht zu überschreiten. Demzufolge ergibt sich auch eine Verringerung des produktiven Anteils, so dass ein Leistungsverlust entsteht.

Bei Mauerwerksarbeiten ergibt sich durch eine Verringerung der Rand- und Pausenanteile eine Erhöhung des produktiven Anteils

Bei den Betonierarbeiten sind zusätzliche Pausenzeiten notwendig, dies führt zu einer Verringerung des produktiven Anteils.



## 7.1 Externe erhobene Einflussfaktoren

Die in Bild 7-1 markierten und im Rahmen der Baustellenanalyse erhobenen externen Einflussfaktoren sind:

- Tägliche Arbeitszeit
  - ♦ Bauweise: Für die Untersuchung wurden nur Bauvorhaben mit Ziegelmauern als Außen- und tragenden Zwischenwänden untersucht. Aus diesem Grund ist es möglich, eine flexible Arbeitsabfolge zu erreichen und die Pausenzeiten nahezu zur gleichen Uhrzeit abzuhalten. Im Gegensatz dazu ist z.B. bei Betonierarbeiten mit Lieferbeton die Arbeitsorganisation und Arbeitszeiteinteilung sehr stark von den Betonlieferungen abhängig.
  - ♦ Art des Bauvorhabens: Alle für die Auswertung herangezogenen Bauvorhaben sind mehrgeschossige Wohnbauten mit ähnlicher Gebäudeabmessung und Grundrissgestaltung. Auch hier kann auf Grund der Art des Bauvorhabens davon ausgegangen werden, dass es nicht erforderlich war, die Arbeitszeit speziell zu verlängern oder zu verlegen, wie dies z.B. bei Arbeiten an einem Gleiskörper unter Betrieb der Fall ist.
  - ♦ Ort des Bauvorhabens: Alle untersuchten Bauvorhaben wurden in den Bezirken Graz oder Graz-Umgebung errichtet. Bei allen Bauvorhaben waren ausreichende Lagerflächen und Manipulationsflächen für Material vorhanden. Ebenso lag die Zufahrt bei keinem der Bauvorhaben an einer Hauptverkehrsstraße, wodurch es auch im Bereich der Materialanlieferungen nur zu geringfügigen Verzögerungen durch den Straßenverkehr gekommen ist.
- Einübung
  - ♦ Einflüsse des Bauverfahrens: Wie bereits zuvor bei der Art der Bauvorhaben beschrieben, handelt es sich bei allen ausgewerteten Bauvorhaben um Gebäude mit ähnlichen Bauverfahren.
  - ♦ Mitarbeiterqualifikation: Die Gespräche mit den untersuchten Probanden ergaben, dass diese bereits mehrere Jahre in der jeweiligen Firma beschäftigt sind und in der jeweiligen Arbeitspartie bereits auf vorherigen Baustellen in der gleichen Besetzung zusammengearbeitet haben.
- Einarbeitung:
  - ♦ Generelle Baustellenbedingungen: Durch die Auswahl der Bauvorhaben konnten auch die generellen Baustellenbedingungen bei allen untersuchten Baustellen als gleichartig angesehen werden. Auf allen Baustellen war für die Ausführung der Rohbauarbeiten nur eine Firma zuständig, lediglich die Bewehrungsarbeiten, die nicht

im Untersuchungsumfang enthalten sind, wurden durch Subunternehmen durchgeführt. Zudem haben die Parteien in dieser Zusammenstellung bereits auf anderen Baustellen zusammengearbeitet. Daher kann davon ausgegangen werden, dass während der beobachteten Tätigkeitsausführung nur ein geringer Einfluss des Einarbeitungseffektes aufgetreten ist.

- ◆ Spezifische Bauwerksbedingungen: Auch die spezifischen Bauwerksbedingungen unterstützen die zuvor getätigte Aussage, dass der Einarbeitungseffekt nur einen geringen Einfluss auf die beobachtete Leistung hatte. Die Beobachtungen erfolgten nie in den ersten Wochen nach Baustellenstart, sondern meist erst nach vier bis sechs Wochen ab Baubeginn.
- Anzahl der Arbeitskräfte
  - ◆ Bauweise: Die Anzahl der Arbeitskräfte und deren Aufteilung in Fach- und Hilfsarbeiter sowie deren Zuteilung zu den verschiedenen Arbeitsaufgaben waren auf allen Baustellen sehr ähnlich, wodurch dieser Einfluss als gleichartig angesehen wird.
  - ◆ Verfügbarkeit in der Ausführung: Für die Baustellenabwicklung standen auf jeder Baustelle ausreichende und gut qualifizierte Arbeitskräfte zur Verfügung. Ebenso wechselten im Verlauf der Untersuchung die Bauarbeiter nur in geringem Ausmaß ihren Arbeitsplatz. Lediglich zwei unfallbedingte Ausfälle veränderten die Partiezusammenstellung.
- Aufwandswert:
  - ◆ Spezifische Bauwerksbedingungen (Qualität): Da sich qualitativ hochwertige Arbeiten durch einen etwas langsameren Arbeitsablauf ergeben, hat gerade die Qualität der Arbeitsausführung einen nicht unwesentlichen Einfluss auf den Aufwandswert. Bei den vorliegenden Projekten konnten auf Grund der Beobachtungen der Bauabläufe, welche nur wenige Nachbesserungsarbeiten zeigten, und der Besichtigung der fertiggestellten Leistungen ein hohes und im Vergleich der Baustellen gleichartiges Qualitätsniveau festgestellt werden.<sup>248</sup>
  - ◆ Spezifische Bauwerksbedingungen (Bauvertrag/Termin): Aus den Gesprächen mit Bauleitern und Polieren ergab sich, dass zum Zeitpunkt der Untersuchung kein erhöhter Termindruck vorhanden

---

<sup>248</sup> Um diesen Umstand in weiteren Untersuchungen zu überprüfen, wäre es möglich die Ergebnisse der Einzelzeitaufnahmen mit den Auswertungen der Verteilung der einzelnen Tätigkeiten der Multimomentaufnahmen zu vergleichen. Dies wurde zum Beispiel in der Diplomarbeit von Herzeg bei Beobachtungen von Schalungsarbeiten angewandt. Herzeg, T.: Analyse von Arbeitsunfällen im Bauwesen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

war und daher von den beobachteten Unternehmen keine besonderen Beschleunigungsmaßnahmen vorzusehen waren.

- ♦ Einflüsse des Bauverfahrens: Durch die relative „Einfachheit“ des Bauverfahrens, welches im Beobachtungszeitraum aus Mauerversetzarbeiten inklusive der Herstellung von Öffnungen für Fenster und Türen bestand, ergibt sich auch hier ein gleichartiger Einfluss auf den Aufwandswert.
- ♦ Generelle Betriebsbedingungen und generelle Baustellenbedingungen: Aus den Betriebsbedingungen und den speziellen Bedingungen auf der Baustelle konnte kein wesentlicher unterschiedlicher Einfluss auf den Aufwandswert der Mauerwerksarbeiten festgestellt werden. Dies zeigt sich auch an den geringen Unterbrechungszeiten infolge des Bauablaufs oder von Wartezeiten. Bei weiterführenden Untersuchungen sollte die Anordnung und Dauer der jeweiligen Pausen sowie die Auswirkung daraus jedoch betrachtet werden, da diese Umstände eine Auswirkung auf die persönliche Leistungsfähigkeit und somit auf den Aufwandswert haben können.

Anhand dieser Beschreibungen der erhobenen externen Einflüsse ist ersichtlich, dass diese im Beobachtungszeitraum und auf den verschiedenen Bauvorhaben gleichartig waren.

Da jedoch diese Einflussfaktoren wesentlichen Einfluss auf die Leistung besitzen, ist die Transformation der ausgewerteten Daten nur unter Berücksichtigung dieser Einflüsse auf ähnliche Arbeitstätigkeiten möglich.

## 7.2 Externe nicht erhobene Einflussfaktoren

Der wesentlichste, nicht erhobene externe Faktor ist der große Bereich der psychologischen Einflüsse, welche sich aus der persönlichen Situation des Bauarbeiters und seines Umfeldes sowie aus allen Interaktionen der auf der Baustelle beschäftigten Bauarbeiter ergeben.

Dies umfasst die Motivation der Bauarbeiter, die Zusammenarbeit und die Gruppendynamik der eingesetzten Arbeitspartien, aber auch viele Einflüsse aus dem Privatleben der Bauarbeiter, die sich auf die Arbeitstätigkeit auswirken können.<sup>249</sup>

<sup>249</sup> Weiterführendes zu diesem Einflussbereich findet sich beispielsweise bei Frieling, E.; Sonntag, K.: Lehrbuch Arbeitspsychologie, 2. Auflage, Huber, Bern [u.a.] 1999 oder Wirtz, A.: Gesundheitliche und soziale Auswirkungen langer Arbeitszeiten, BAuA, Dortmund [u.a.] 2010.

### **7.3 Einsatzbereiche**

Wie schon einleitend dargestellt und auch durch die Art und den Umfang der Datenerhebung ersichtlich, beschränkt sich die Vorhersagemöglichkeit mit Hilfe des dargestellten Modells auf körperliche Tätigkeiten. Diese zeichnen sich dabei durch den Einsatz von größeren Muskelgruppen bei der Tätigkeitsausführung aus.<sup>250</sup> Der abgebildete Leistungsrückgang entsteht durch die Ermüdung der Bauarbeiter infolge der Ausführung der manuellen körperlich belastenden Tätigkeiten. Dementsprechend ist dieses Modell nicht geeignet für Geräteführertätigkeiten, da aus dieser Arbeitstätigkeit vor allem nicht körperliche Ermüdung infolge Über- oder Unterbelastung des Geräteführers entsteht.

Weiters ist es auf Grund der Datenbasis der beobachteten Baustellen und den dabei durchgeführten Tätigkeiten nicht möglich, Aussagen zur Bestimmung der Herzfrequenz von anderen Tätigkeitsgruppen als den zuvor dargestellten zu machen.

### **7.4 Auswirkung der Anwendung bei unterschiedlich belastenden Tätigkeiten**

Die Anwendung der neu entwickelten Systematik zeigt in einem Vergleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen der Arbeitsleistungskurven von Lehmann bzw. Winter, dass für Mauerwerksarbeiten unter den gewählten Umständen der Arbeitsausführung, im Gegensatz zu den bestehenden Erkenntnissen, kein Leistungsverlust entsteht, sondern vielmehr ein minimaler Leistungsanstieg ermittelt wird.

Im Gegensatz dazu konnte aber auch gezeigt werden, dass bei höher beanspruchenden Tätigkeiten, wie beispielsweise den Betonierarbeiten von Decken im mehrgeschossigen Wohnbau ein Leistungsverlust nachgewiesen wird.

Wie zuvor dargelegt, ist es erforderlich, sich im konkreten Fall dezidiert mit den tatsächlichen Tätigkeiten im Bereich der Überstunden auseinander zu setzen. Diese baubetriebliche Aufgabe ist eine Grundvoraussetzung, um qualifiziert über Leistungsminderungen aus verlängerter Arbeitszeit zu diskutieren. Die bestehenden Arbeitsleistungskurven berücksichtigen diese Einflussfaktoren entweder gar nicht, oder unzureichend.

Diese dargestellten Überlegungen gehen allerdings auch davon aus, dass die verlängerte Arbeitszeit den Bauarbeitern bekannt ist. Wird der Bauarbeiter im Laufe des Arbeitstages mit einer kurzfristigen Arbeitszeitveränderung konfrontiert können zusätzliche Leistungseinbußen nicht ausgeschlossen werden.

<sup>250</sup> Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998.

## 7.5 Weiterführende Anwendung der Ergebnisse der Tätigkeitsverteilung

Neben der Berechnung des Leistungsrückgangs auf Basis physiologischer Betrachtungen ermöglichen die hier vorliegenden Ergebnisse auch die zusätzliche Bewertung von Unterbrechungen, wenn im Zuge der Leistungserbringung Störungen des Bauablaufs eintreten.<sup>251</sup>

Auch hierbei erfolgt die Anpassung der Tätigkeitsverteilung durch hinzufügen von Unterbrechung- oder Wartezeiten bzw. Bewegungszeiten, wodurch eine Reduktion der Ausführungszeiten für Tätigkeiten erfolgt.

---

<sup>251</sup> Schlagbauer D.; Bauer B.; Heck, D.: Baubetriebliche Prozessanalyse – Einsatz und Umsetzung in der Forschung

## **8 Zusammenfassung und Ausblick**

### **8.1 Zusammenfassung**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde einführend dargestellt, welche Veränderungen in den über 50 Jahren seit der erstmaligen Darstellung der Arbeitsleistungskurven von Lehmann 1962 und Winter 1966 auf den Baustellen stattgefunden haben.

Aufbauend auf diesen Darstellungen wurde gezeigt, warum diese Arbeitsleistungskurven für das Bauwesen mit Hilfe neuer Untersuchungsmethoden und einem veränderten Denkansatz betrachtet werden sollten. Im Zuge der Literaturanalyse zeigte sich, dass neben den beiden bekannten Quellen zur Bewertung des Leistungsverlustes infolge verlängerter Arbeitszeit auch weniger bekannte Bewertungsmethoden vorhanden sind. Aber auch diese Systeme vertiefen zumeist nur die bereits bekannten Überlegungen von Lehmann oder Burkhardt durch neue Untersuchungen, wobei diese sich zum Teil mit der Tatsache auseinandersetzen, dass es nicht mehr zweckmäßig ist, nur eine Kurve für das gesamte Bauwesen zu verwenden.

Diesem Gedankengang folgend wurde die Systematik der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlusterermittlung erstellt, bei der erstmalig neben der Zeit auch weitere Einflussfaktoren auf die Arbeitsleistung berücksichtigt werden können. Diese umfassen die Art und Verteilung der Tätigkeiten am Arbeitsplatz und die individuelle Belastung der einzelnen auszuführenden Tätigkeiten sowie die individuelle Leistungsfähigkeit des Bauarbeiters.

Es ist festzustellen, dass diese Systematik speziell für körperlich belastende Tätigkeiten ausgelegt ist. Stress aus geistiger Belastung und psychologische Aspekte wurden in der Betrachtung explizit ausgeklammert.

Nach der Vorstellung der Systematik erfolgte die Erklärung, mit welchen Methoden die erforderlichen Daten erhoben werden können. Diese umfasst neben den traditionellen Tätigkeits- und Arbeitsablaufanalysen auch Herzfrequenzmessungen und Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Belastung und Beanspruchung der auszuführenden Tätigkeiten.

Im praktischen Teil der Arbeit wurden diese Datenerhebungen auf die Arbeitsaufgabe der Mauerwerksarbeiten angewandt und die Datengrundlagen für die tätigkeitsabhängige Leistungsverlusterermittlung geschaffen.

Anschließend wird die Anwendung der neu entwickelten Systematik gezeigt und ein Vergleich dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen der Arbeitsleistungskurven von Lehmann bzw. Winter erstellt. Es zeigt sich für den Bereich der Mauerwerksarbeiten, dass unter den speziellen gewählten Umständen der Arbeitsausführung, im Gegensatz zu den bestehen-

den Erkenntnissen, kein Leistungsverlust, sondern eher ein minimaler Leistungsanstieg ermittelt wurde.<sup>252</sup>

Demgegenüber zeigte sich, dass bei höher beanspruchenden Tätigkeiten, wie beispielsweise den Betonierarbeiten ein Leistungsverlust entsteht, der sich aus den zusätzlich erforderlichen Pausen- bzw. Erholungszeiten ergibt.

In der abschließenden Diskussion der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve zeigt sich, dass bei einer entsprechenden Auswahl der zu untersuchenden Bauvorhaben und deren Randbedingungen gleichartige Datengrundlagen für einen kleinen Teil der gesamten Aufgabenbereiche eines Bauarbeiters geschaffen werden können. Dementsprechend ergibt sich daraus auch die Aufgabe für die zukünftige Forschung, nämlich einerseits die weitere Datenerhebung bei unterschiedlichen Arbeitsaufgaben und andererseits die Schaffung einer Möglichkeit unterschiedliche Arbeitsaufgaben und Randbedingungen gewerkeübergreifend zu bewerten und so den erforderlichen Untersuchungsumfang einzuschränken.

## 8.2 Ausblick

Im Zuge der Bearbeitung des Forschungsprojektes ergaben sich weitere mögliche Untersuchungsbereiche, die auf den Erkenntnissen der Untersuchungsdurchführung bzw. den Ergebnissen der Datenauswertung aufbauen.

### 8.2.1 Maschinenführertätigkeiten

Mit dem hier dargestellten Modell ist es nicht möglich, die Belastung und Beanspruchung von Maschinenführertätigkeiten zu messen. Da diese allerdings einen wesentlichen Anteil an den Arbeitsabläufen des Bauwesens darstellen, ist gerade in diesem Bereich ein großer Forschungsbedarf zu erkennen. Um diese Belastungs- und Beanspruchungssituation bewerten zu können, müssten wahrscheinlich neben Sportwissenschaftlern und Physiologen auch Psychologen an der Forschungstätigkeit beteiligt sein.

### 8.2.2 Betrachtung der Arbeitsgruppen

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Leistungsbetrachtungen wurden immer mit dem Fokus auf den die Haupttätigkeit erbringenden Bau-

<sup>252</sup> Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass bei einem verlängerten Arbeitstag der Anteil der Tätigkeitszeit gegenüber der Pausenzeit zunimmt. Somit ist der relative Leistungszuwachs je Stunde zu erklären. Dementsprechend erhöht sich die erzielbare Leistung über den aus der ursprünglichen Arbeitszeit extrapolierten Wert.

arbeiter ausgeführt. Das Zusammenspiel zwischen den Baufach- und Bauhilfsarbeitern wurde dabei zwar ebenfalls aufgenommen und analysiert, für eine genauere Untersuchung über die Auswirkungen dieser Zusammenhänge fehlten jedoch eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen, welche genau diesen Zusammenhang betrachten.<sup>253</sup>

### **8.2.3 Betrachtung von Arbeitswochen oder längeren Zeiträumen**

Neben der Darstellung der Auswirkungen der längeren täglichen Arbeitszeit sollten auch die Auswirkungen einer verlängerten Arbeitstätigkeit über eine Woche oder einen noch größeren Zeitraum untersucht werden. Für die Beurteilung dieses Umstandes stehen mit den durchgeführten Beobachtungen jedoch keine ausreichenden Datensätze zur Verfügung, da zur Beurteilung dieser Umstände Beobachtungen über einen längeren Zeitraum als fünfzehn zusammenhängende Arbeitstage notwendig wären. Dies konnte im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nur einmal erreicht werden.

### **8.2.4 Arbeits- und Pausengestaltung**

Neben diesen Betrachtungen im direkten Zusammenhang mit der Arbeitsleistung durch eine längere tägliche Arbeitszeit sollten auch Untersuchungen vorgenommen werden, ob eine Veränderung der Arbeitsgestaltung zu einer Verringerung der Beanspruchungen eines Bauarbeiters bei gleichem Leistungoutput möglich wäre. Dies vor allem unter dem Aspekt, dass die Verteilung der Pausen derzeit, wie in Bild 8-1 abgebildete vorgefunden wurde.<sup>254</sup>

---

<sup>253</sup> Eine beispielhafte Darstellung der Auswirkungen von unterschiedlichen Partiezusammensetzungen ist in Schlagbauer, D.; Heck, D.: Forschungsprojekt Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Die Arbeitsaufgaben von Bauarbeitern bei Mauerwerks- und Schalungsarbeiten. - in: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach. (2011), S 152 dargestellt.

<sup>254</sup> Schlagbauer, D.; Heck, D.: Pausengestaltung im Bauwesen. - in: VerANTWORTung für die Arbeit der Zukunft (2014), 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft oder

Schlagbauer, D.; Heck, D.: Einfluss von Anordnungen und der Gestaltung von Pausen unter besonderer Berücksichtigung der Belastung und Beanspruchung der Bauarbeiter. - in: Innovation im Baubetrieb - Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag. (2011), S. 253 - 268

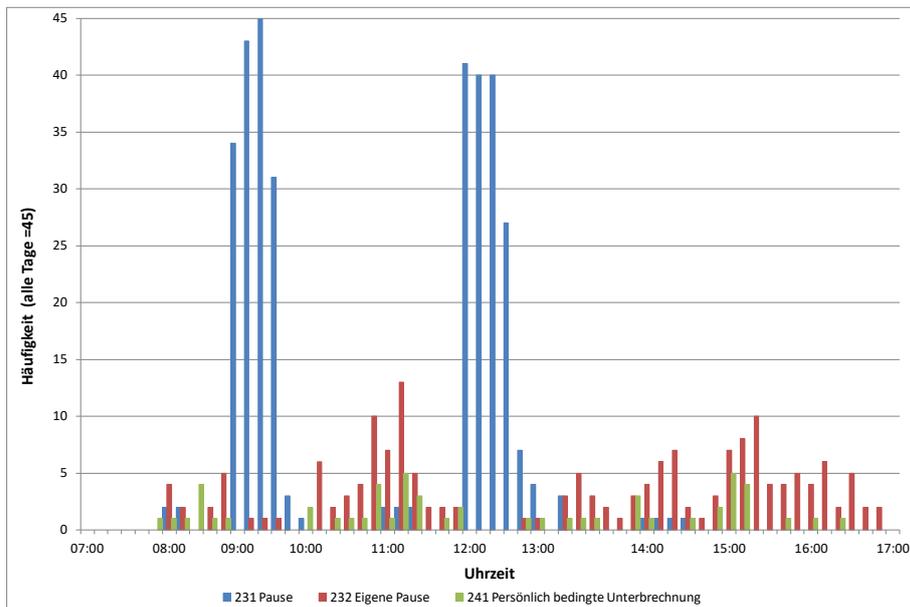


Bild 8-1 Verteilung der Erholungszeiten im Mauerwerksbau (N=45)<sup>252</sup>

Die Darstellung zeigt, dass die ausgewerteten Bauarbeiter, entsprechend der Vorgaben der Bauunternehmung, die vorgegebenen Pausen im Zeitraum von 9:00 bis 9:30 Uhr und von 12:00 bis 12:40 Uhr machen. Weitere Häufungspunkte für Pausen liegen im Bereich von 11 Uhr und jeweils kurz nach der vollen Stunde nach der Mittagspause. Diese Anordnung der vorgegebenen Pausen sollte auch auf Grund von verschiedenen Erkenntnissen dieser Arbeit überdacht werden. Die wesentlichen Überlegungen hierbei sind:

- Durch die Vorbereitungsmaßnahmen zu Arbeitsbeginn stehen dem Bauarbeiter bis zur Vormittagspause nur ca. 1,5 Stunden zur Verfügung bis sein Arbeitsablauf von der Pause unterbrochen wird.
- Ebenso verhält es sich mit dem zweiten Arbeitsabschnitt des Arbeitstages zwischen der Vormittags- und der Mittagspause. Dies auch unter dem Aspekt, dass vor der Mittagspause meist größere Aufräumarbeiten stattfinden, um auch das Erscheinungsbild der Baustelle zu verbessern, wenn keine Arbeitstätigkeit stattfindet.
- Im abschließenden dritten Abschnitt des Arbeitstages ab der Mittagspause bis zum Arbeitsende muss der Bauarbeiter ca. vier Stunden ohne Pause seine Arbeitsleistung erbringen. In diesem Arbeitsabschnitt erfährt der Bauarbeiter die höchste Beanspruchung, obwohl aus der Arbeitsablaufgestaltung keine weiteren Pausenzeiten vorgesehen sind. Daher ist der Bauarbeiter zur Aufrechterhaltung seiner Leistungsfähigkeit gezwungen, eigene Erholungszeiten in Form von Pausen oder „Persönlich bedingten Unterbrechungen“ auszuführen.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob nicht eine auf die Arbeitsbeanspruchung besser abgestimmte Pausengestaltung in Form einer längeren Arbeitszeit in den ersten beiden Arbeitsabschnitten und einer Verkürzung des letzten Arbeitsabschnittes zu einem höheren durchschnittlichen Leistungsoutput oder zu einer geringeren Beanspruchung der Bauarbeiter führen könnte. Beide Auswirkungen würden sich, nach Ansicht des Verfassers, positiv auf die Arbeitsleistung auswirken.

Dem gegenüber stehen aber auch die Überlegungen von Arbeitspsychologen<sup>255</sup>, die eine weitere Verkürzung der Arbeitsabschnitte und die Einrichtung von Kurzpausen als sinnvoll ansehen. Diese Art der Pausenanordnung müsste jedoch auch aus der baubetrieblichen Sicht möglich sein und keine negativen wirtschaftlichen Auswirkungen für das Unternehmen hervorrufen, um in der Praxis angewandt zu werden.

### 8.2.5 Beanspruchungsgerechtes Arbeiten

Wie die Darstellung der Literaturgrenzwerte für länger dauernde physische Arbeiten zeigt, gibt es neben den wenig hilfreichen absoluten Grenzwerten für Herzfrequenz, Sauerstoffverbrauch und Energieumsatz auch Grenzwerte, die sehr speziell auf das arbeitende Individuum eingehen. Auf Basis dieser Grenzwerte, im Speziellen der Grenzwert der Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2 < 40 \% \dot{V}O_{2,max}$ ), wäre es mit einer größer angelegten Untersuchung denkbar, die Sauerstoffaufnahme in Relation zum Alter der Bauarbeiter darzustellen, um zu sehen, bis zu welchem Alter verschiedene Tätigkeiten des Bauablaufs ohne Überbelastung und der daraus resultierenden körperlichen Abnützung oder einem Leistungsverlust durch zusätzliche Pausen ausgeführt werden können.<sup>256</sup>

Damit erscheint es möglich, hoch erfahrene Facharbeiter so einzusetzen, dass einerseits der Bauarbeiter trotz der geringeren körperlichen Leistungsfähigkeit, welche mit dem höheren Alter einhergeht, keine Überbelastung erfährt und andererseits der Rückgang des Leistungsoutput so minimal wie möglich gehalten werden kann. In diesem Zusammenhang wäre auch die Untersuchung der Arbeitspartien als eine Leistungseinheit sinnvoll, wenn hier unterschiedliche Partiezusammensetzungen im Hinblick auf das Alter untersucht werden.

Ebenso wird weiterer Forschungsbedarf darin gesehen, die Arbeitsabläufe und den Personaleinsatz besser an die Belegschaft anzupassen, um somit bereits bei jüngeren Arbeitskräften frühzeitige Verschleißerscheinungen zu vermeiden.

---

<sup>255</sup> Vgl. Kallus, W.: Einführung in die Fächer der Psychologie Anwendungsbereiche: Arbeitspsychologie, Organisationspsychologie, Umweltpsychologie, Wirtschaftspsychologie, 11.10.2008.

<sup>256</sup> Vgl. Wultsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.: Governmental regulations for early retirement by means of energy expenditure cut offs, in: Scandinavian Journal of Work, Environment & Health (2011).

## A.1 Anhang

### A.1.1 Datenerhebungsbogen (DEB)

Der Datenerhebungsbogen bildet das Grundgerüst der gesamten Untersuchung. In diesem werden Daten aus zwei Modulen direkt auf der Baustelle eingetragen und im Zuge der Auswertung mit den Daten der Herzfrequenzmessung verknüpft.

Der grundsätzliche Aufbau basiert auf den von REFA veröffentlichten MMA-Aufnahmebögen<sup>257</sup>, welche an die Erfordernisse für die Erstellung der tätigkeitsabhängigen Leistungskurve angepasst wurden.

In Bild ist eine leere Datenerhebungsbogen mit den einzelnen Eintragungsbereichen für die Grunddaten der Baustelle und des Bauarbeiters sowie der Module 1 und 3 dargestellt.

Das Diagramm zeigt einen Ausschnitt eines leeren Datenerhebungsbogens (DEB) mit drei markierten Modulen:

- Grunddaten:** Ein grünes Feld, das die oberen Zeilen des Bogens umschließt, die für Baustelle, Datum und AN-kürzel vorgesehen sind.
- Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme:** Ein blaues Feld mit der Nummer 1, das die Haupt- und Nebentätigkeiten sowie Unterbrechungen abdeckt. Die Haupt- und Nebentätigkeiten sind in einer Tabelle mit Spalten für Stunden (0 bis 55) und Minuten (0 bis 55) eingetragen. Die Unterbrechungen sind in Kategorien wie Ablaufbedingt, Störungsbedingt, Erholungsbedingt und Persönlich bedingt unterteilt.
- Modul 3: Wetterdaten:** Ein blaues Feld mit der Nummer 3, das die unteren Zeilen des Bogens umschließt, die für Wetterdaten (Wärmestr., Luftgeschw., rel. Luftf., Temp., Puls, Körpertemp) vorgesehen sind.

Bild A-1 Ausschnitt eines leeren Datenerhebungsbogens

Die Eintragungen in den DEB wurden folgendermaßen vorgesehen:

- Eintragung der Grunddaten:

\_\_\_\_\_

<sup>257</sup> REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 77.



Diese Daten werden in das Programm MS EXCEL<sup>258</sup> übertragen. Somit ergibt sich das Endergebnis eines DEB, welcher Daten für die weiteren Auswertungen zur Verfügung stellt (siehe Bild ).

Bild A-3 Ausschnitt eines EDV-bearbeiteten Datenerhebungsbogens

### A.1.2 Klimadatenanalyse

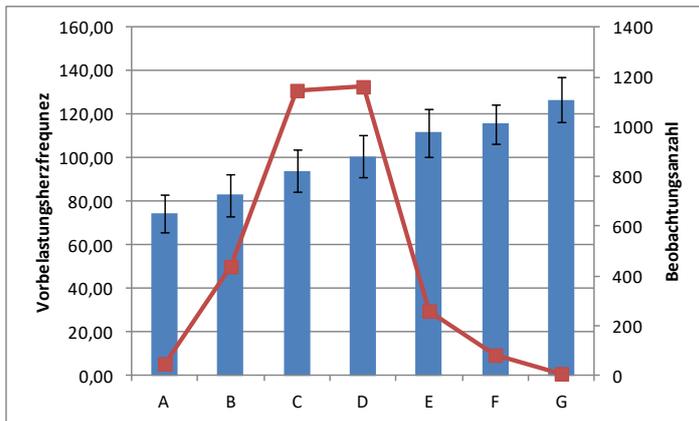


Bild A-4 Vorbelastungsbereiche und Datenumfang

<sup>258</sup> MS EXCEL (Microsoft Corp., USA).

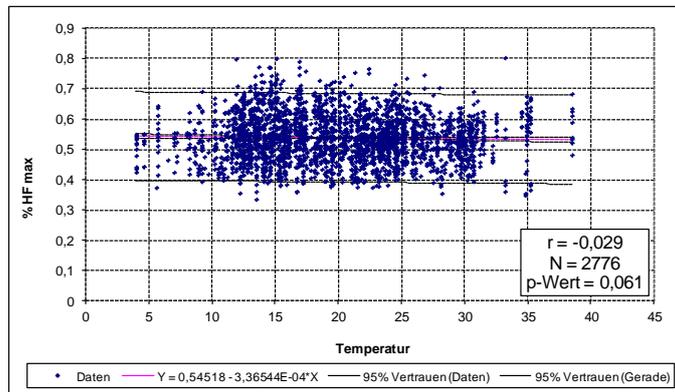


Bild A-5 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur

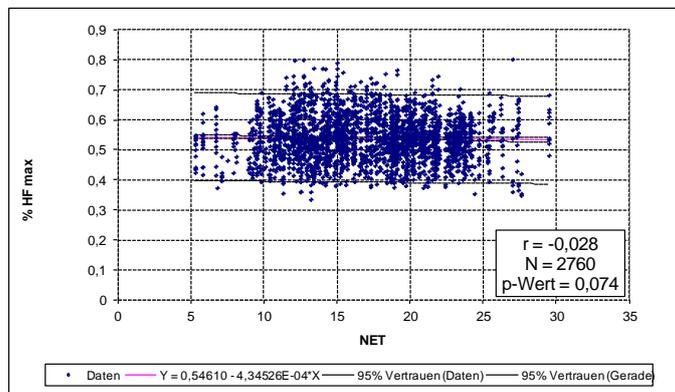


Bild A-6 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der NET

%HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur in den unterschiedlichen Vorbelastungsbereichen

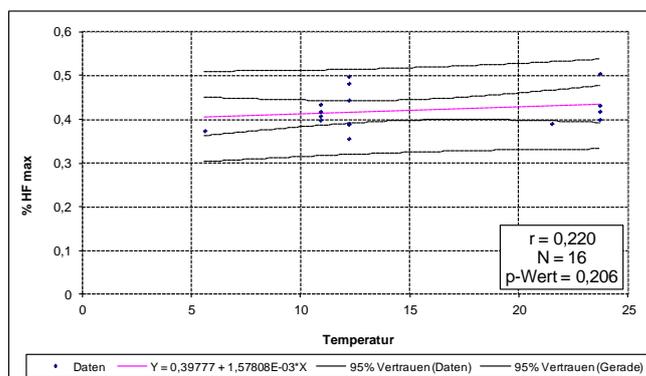


Bild A-7 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich A

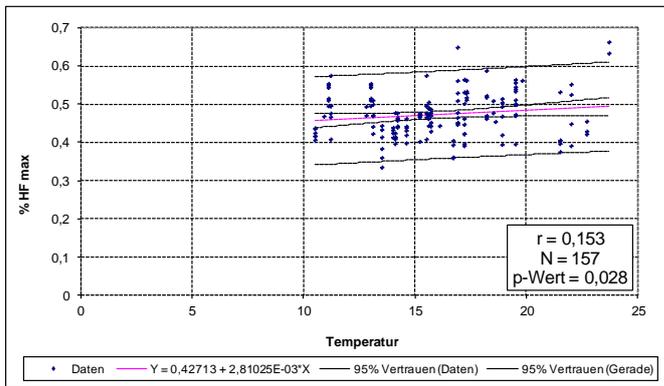


Bild A-8 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich B

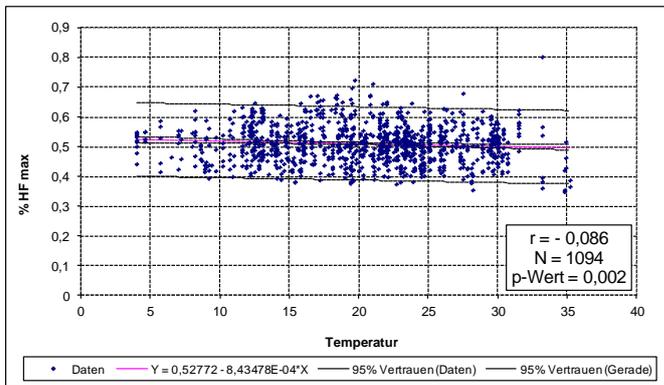


Bild A-9 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C

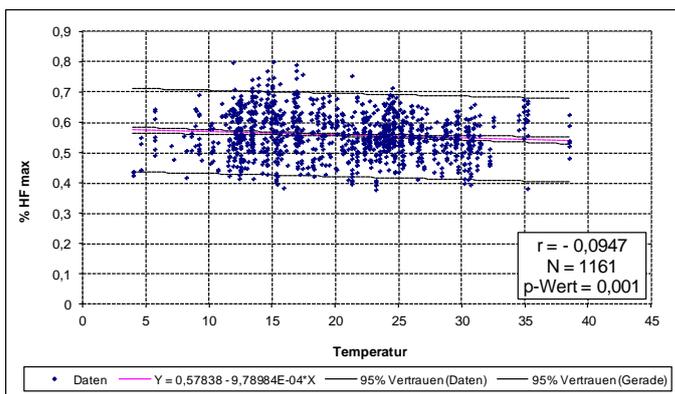


Bild A-10 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D

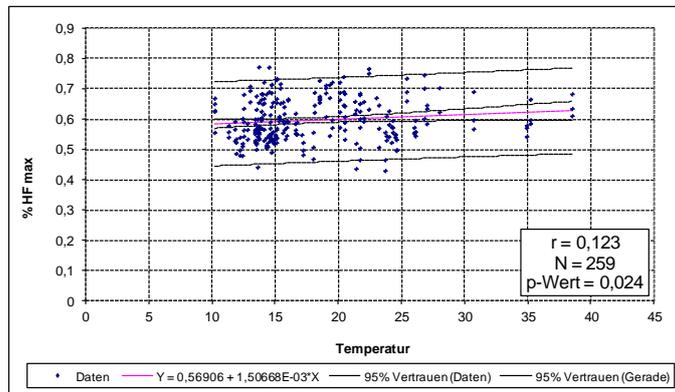


Bild A-11 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich E

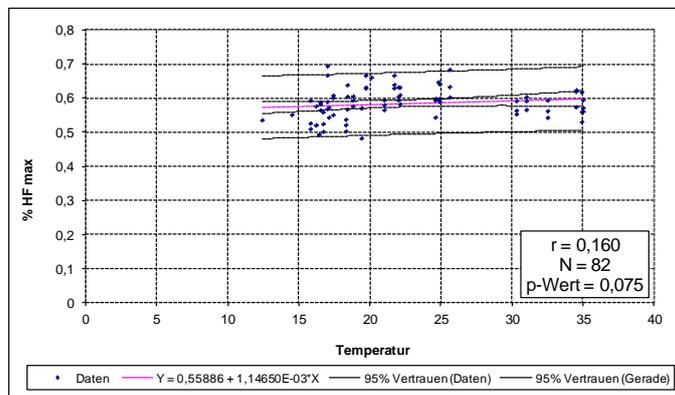


Bild A-12 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich F

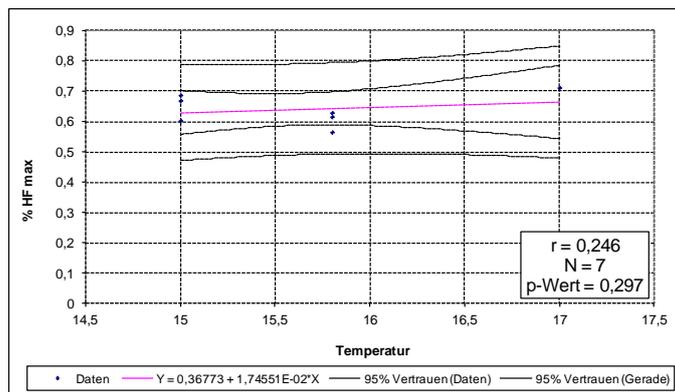


Bild A-13 %HF<sub>max</sub> in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich G

### A.1.3 Ergebnisse der Herzfrequenzanalyse für Tätigkeitsgruppen

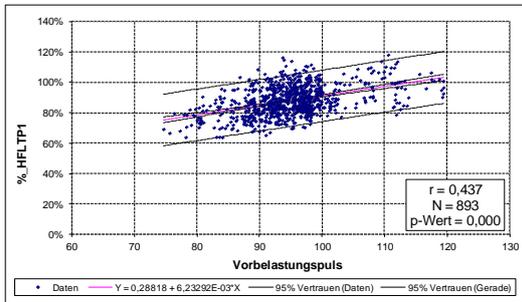


Bild A-14 Verlauf von %HF<sub>LTP1</sub> für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

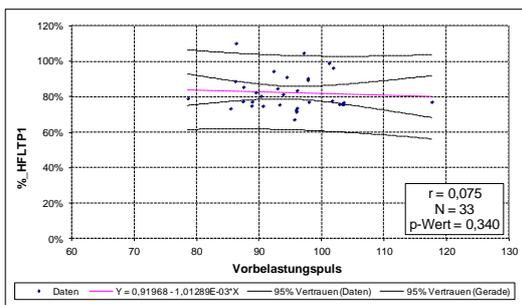


Bild A-15 Verlauf von %HF<sub>LTP1</sub> für die Tätigkeitsgruppe „Herrichten“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

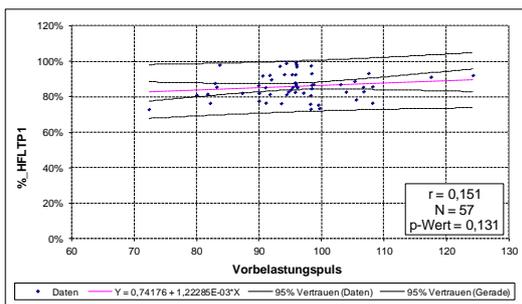


Bild A-16 Verlauf von %HF<sub>LTP1</sub> für die Tätigkeitsgruppe „Ablaufbedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

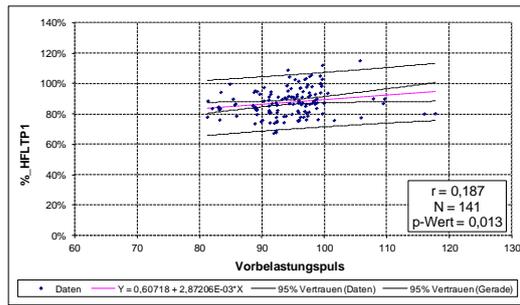


Bild A-17 Verlauf von %HF<sub>LTP1</sub> für die Tätigkeitsgruppe „Eigene Pause“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

#### A.1.4 Darstellung des Herzfrequenzverlaufs in den Berechnungsbeispielen für Mauerwerksbau

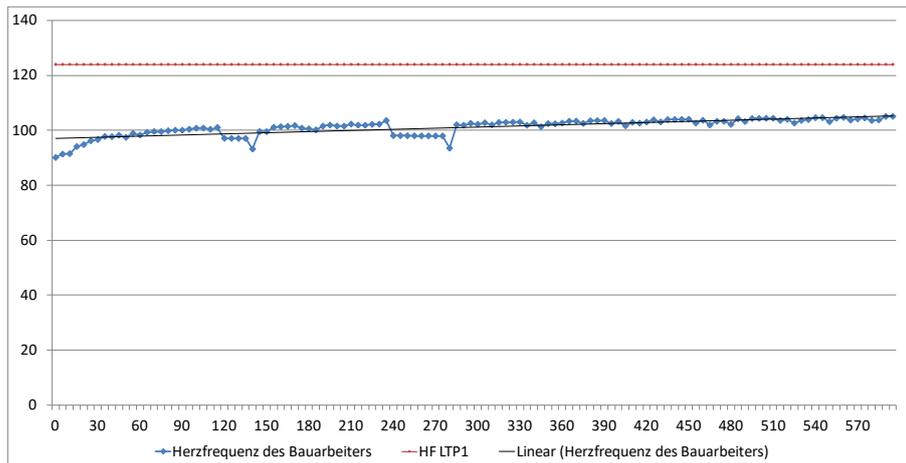


Bild A-18 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 10h auf der Baustelle

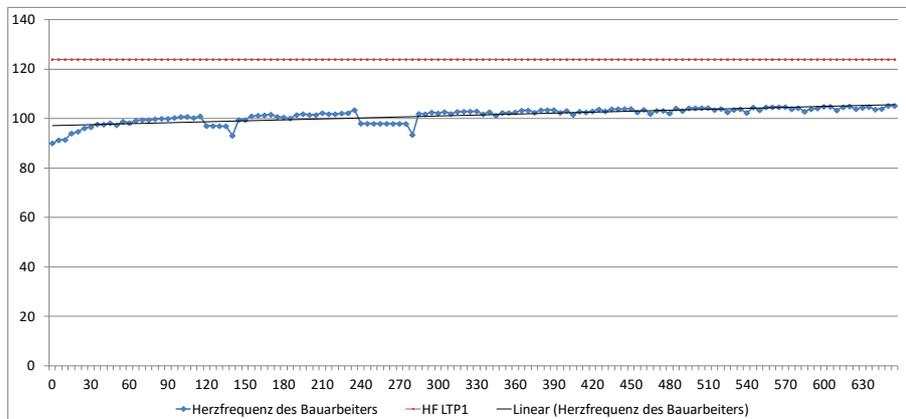


Bild A-19 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 11h auf der Baustelle

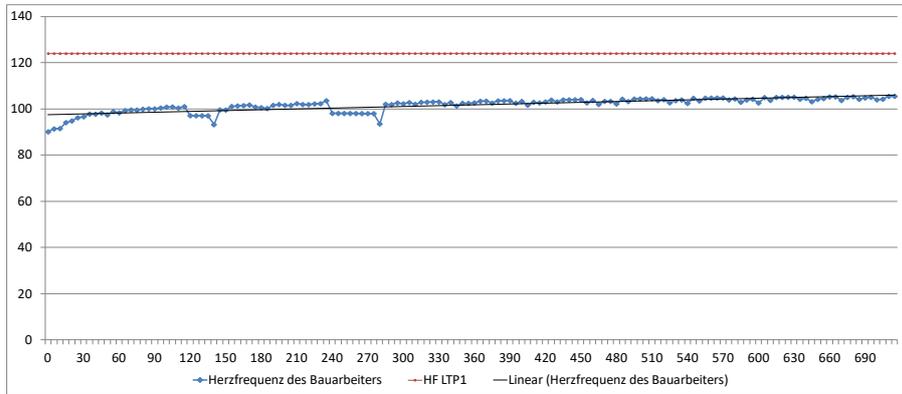


Bild A-20 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 12h auf der Baustelle

## Glossar

<b>Arbeitszeitrichtwert</b>	ein von den Tarifpartnern erarbeiteter Vorgabewert für den Akkordlohn. <sup>259</sup>
<b>Akklimatisation</b>	<i>„Die Gewöhnung des menschlichen Körpers an Hitze wird als Akklimatisation bezeichnet. Die Schweißproduktion steigt an, der Salzgehalt im Schweiß sinkt und die Herzschlagfrequenz pendelt sich auf einem niedrigeren Niveau ein. Die Akklimatisation beansprucht etwa 14 Tage. Die gleiche Arbeit wird danach unter geringerer Beanspruchung ausgeführt. Die Akklimatisation geht innerhalb weniger Tage verloren und erfordert eine erneute Anpassung.“<sup>260</sup></i>
<b>Allgemeine</b>	
<b>Belastungsindikatoren</b>	Durch die Zusammenführung aller relativen Beanspruchungen der untersuchten Bauarbeiter entsteht ein allgemeiner relativer Belastungsindikator für die jeweilige Tätigkeit.
<b>Aufwandswert</b>	<i>„Der auf die Produktionsmengeneinheit bezogene Einsatz von Produktionsmitteln in Zeiteinheiten. Der Aufwandswert wird auch als Stundenansatz bezeichnet“<sup>261</sup> (z.B. Std/m<sup>3</sup> oder Std/m<sup>2</sup>).</i>  <i>„Er ist der reziproke Wert des Leistungswertes und ist der Quotient von Produktionszeit zu Produktionsmenge.“<sup>262</sup></i>
<b>Brutto-Aufwandswert</b>	Der Brutto-Aufwandswert stellt entsprechend der vorhergehenden Definition von Jodl/Oberndorfer den Aufwandswert unter Berücksichtigung von aller Arbeitsaufgaben (Haupt-, Neben-, und Zusatz Tätigkeiten sowie Unterbrechungen) dar.
<b>Netto-Aufwandswert</b>	Der Netto-Aufwandswert stellt den Aufwandswert nur für eine betrachtete Tätigkeitsgruppe oder Tätigkeitskategorie dar. In diesem sind weder Nebentätigkeiten noch Pausen oder Unterbrechungen enthalten.

<sup>259</sup> Wormuth/Schneider, <http://www.bauwerk-verlag.de/baulexikon/index.shtml?ARBEITSZEITRICHTWERT.HTM>, am 22.11.2016 um 09:05 Uhr

<sup>260</sup> Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S.8.

<sup>261</sup> Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.30.

<sup>262</sup> Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.30.

## Arbeitsenergieumsatz oder

- Leistungsumsatz** „Der Leistungsumsatz ist die Energiemenge, die unser Körper innerhalb eines Tages benötigt, um Arbeit zu verrichten. Als Leistungsumsatz wird dabei die Energie bezeichnet, die über den Grundumsatz (Energiebedarf für Organtätigkeiten bei völliger Ruhe) hinausgeht. Der Leistungsumsatz ist abhängig von körperlicher Aktivität, Wärmeproduktion, Verdauungsarbeit und dem Bedarf für Wachstum, Schwangerschaft und Stillzeit.“<sup>263</sup>
- Arbeitszeit** „Die Arbeitszeit ist die Zeit, während der ein Arbeitnehmer seine Arbeitskraft dem Arbeitgeber zur Verfügung stellt. Nach §2 Abs. 1 AZG wird unter der Arbeitszeit die Zeit von Beginn bis zum Ende der Arbeit ohne Ruhepausen verstanden.“<sup>264</sup>
- Arbeitszeit, Netto** Die in der Auswertung angesprochenen Netto-Arbeitszeit entspricht der zuvor definierten Arbeitszeit nach Jodl/Oberndorfer.
- Arbeitszeit, Brutto** Zeit von Arbeitsbeginn bis Arbeitsende inkl. der aus dem Arbeitszeitgesetz vorzusehenden Pausenzeiten.
- Arbeitszeitmodell** Neben der kollektivvertraglich vorgesehenen Normalarbeitszeit stehen im Bauwesen auch andere Verteilungen der Arbeitszeit (z.B. kurze / lange Wochen, Dekadenarbeit) zur Verfügung. Diese unterschiedlichen Verteilungen werden als Arbeitszeitmodelle bezeichnet.
- Arbeitszeitrichtwert** „Ein von den Tarifpartnern erarbeiteter Vorgabewert für den Akkordlohn.“<sup>265</sup>
- Beanspruchung** Unter Beanspruchung versteht man die Reaktionen (körperlich-physiologisch, erlebensmäßig) des arbeitenden Menschen auf diese Bedingungen.<sup>266</sup>
- Beanspruchungsgrenzen, maximale individuelle** Die maximale individuelle Beanspruchungsgrenze stellt eine Vergleichsgröße für die gemessenen absoluten Beanspruchungskenngrößen dar. Als maximale Individuelle Beanspruchungsgrenzen kann der maximale bzw. Schwellenwert bei Bereichsübergängen herangezogen werden. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Herzfrequenz ( $HF_{max}$ ,  $HF_{LTP1}$  und  $HF_{LTP2}$ ) und der Energieumsatz als Beanspruchungsgrenzen herangezogen.

<sup>263</sup> Online Abfrage „Arbeitsenergieumsatz“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-26.htm>, Datum des Zugriffs 22.12.2010, 14.20.

<sup>264</sup> Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S. 23.

<sup>265</sup> Wormuth/Schneider: Arbeitszeitrichtwert, <http://www.bauwerk-verlag.de/baulexikon/index.shtml?ARBEITSZEITRICHTWERT.HTM>, Datum des Zugriffs:1.4.2010,16:58.

<sup>266</sup> Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998, S. 31.

## Beanspruchungskenngrößen

- , absolute Absolute Beanspruchungskenngrößen sind die tatsächlich bei der Datenerhebung gemessen bzw. aus der Datenermittlung berechneten Beanspruchungswerte (in dieser Arbeit: Herzfrequenz der Tätigkeiten bzw. Energieumsatz am Arbeitstag).

- ,relative Relative Beanspruchungskenngrößen bilden das Verhältnis zwischen einer absoluten Beanspruchungskenngröße und einer individuellen maximalen Beanspruchungsgrenze ab. Dies ist zum Beispiel die Herzfrequenz einer Tätigkeit in Bezug auf die maximale Herzfrequenz eines Probanden ( $\%HF_{max}$ ), durch die Ermittlung der relativen Beanspruchung.

**Belastung** Unter Belastung werden in der Arbeitswissenschaft die äußeren Merkmale der Arbeitssituation (z.B. Arbeitsaufgabe, physikalische-chemische und soziale Umgebungsbedingungen) verstanden.<sup>267</sup>

**BMI** „Der Body-Mass-Index (BMI) ist definiert als das Körpergewicht (in Kilogramm) dividiert durch das Quadrat der Körpergröße (in Meter) und gilt als das beste indirekte Maß für die Körperfettmasse. Zur Bestimmung des Ausmaßes des Übergewichts bzw. der Adipositas gibt es eine auf dem BMI beruhende Klassifizierungstabelle der WHO. Diese Grenzen gelten seit 1998 und definieren einen BMI zwischen 18,5 und 24,9 als Normalgewicht, zwischen 25,0 und 29,9 als Übergewicht und einen BMI von 30,0 und mehr als Adipositas.“<sup>268</sup>

**Dauerleistungsgrenze** „Die Dauerleistungsgrenze ist in der Arbeitswissenschaft und den Sportwissenschaften diejenige Grenze, bis zu der statische oder dynamische Arbeit ohne zunehmende muskuläre Ermüdung erbracht werden kann.“<sup>269</sup>  
Die Dauerleistungsgrenze ist die höchste Belastung, die unabhängig von der Beanspruchungsdauer ohne eine Vergrößerung der Erholungspulssumme möglich ist.<sup>270</sup>

**Einarbeitung** nach Oberndorfer: „Tritt bei wiederholtem Bearbeiten gleicher oder ähnlicher Fertigungsabschnitte und konstanter Arbeitsbedingungen auf. (...) Durch den Einarbeitungseffekt sinkt der Zeitaufwand je Produktionseinheit mit der Anzahl der produzierten Einheiten und es steigt die Qualität“<sup>271</sup>

<sup>267</sup> Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998, S.31.

<sup>268</sup> Statistik Austria: BMI, [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/bmi\\_body\\_mass\\_index/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/bmi_body_mass_index/index.html), Datum des Zugriffs: 1.4.2010, 17:02.

<sup>269</sup> REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Lexikon der Betriebsorganisation, Carl-Hanser, München 1993, S. 59

<sup>270</sup> Vgl. Hollmann, W.; Hettinger, Th: Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen, 3.Auflage, Schattauer, Stuttgart 1990, S. 130-131 bzw. Müller, E.A.: Die physische Ermüdung. Handbuch der ges. Arbeitsmedizin. Band I: Arbeitsphysiologie, Urban und Schwarzenberg, Berlin [u.a.], 1961.

<sup>271</sup> Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.90

nach Lang: *"Bei mehrfacher Wiederholung eines gleichen oder ähnlichen Fertigungsabschnittes werden die Ausführungszeiten je Abschnitt kürzer. Diese Besonderheit nennt man Einarbeitungs- oder Serieneffekt. Die Einarbeitung ist das Überwinden des Anlaufwiderstandes auf der Baustelle. Dieser Widerstand kommt durch technische oder organisatorische Randbedingungen wie z. B. Grundrißgestaltung und Höhenentwicklung zustande."*<sup>272</sup>

### Einübung

Unter Einübung wird die Reaktion des Körpers auf eine äußere Belastung verstanden. Dabei handelt es sich im eigentlichen Sinne um einen Trainingseffekt, d.h. um eine Anpassung des Muskelapparates aufgrund äußerlicher Reize und um die Erlernung der Bewegungsabläufe. Dadurch können die Arbeitsabläufe mit schnellerer Geschwindigkeit und geringerem prozentuellem Energieaufwand im Vergleich zur max. Leistungsfähigkeit ausgeführt werden. Diese körperliche Anpassung an eine Arbeitsbelastung erfolgt jedoch nicht innerhalb eines Arbeitstages, daher hat auch dieser Effekt keinen kurzfristigen Einfluss auf das Verhältnis zwischen Arbeitsleistung und Arbeitszeit.<sup>273</sup>

### Einflussfaktoren, harte

Einflussfaktoren, die objektiv bestimmt werden können und durch Messung oder Berechnung aus Messergebnissen bzw. aus Literaturangaben und Kennwerten bestimmt werden können.

### Einflussfaktoren, weiche

Einflussfaktoren, die nur qualitativ beschrieben werden können, aber nicht durch eine Messung eindeutig bestimmt wurden. Die „weichen“ Einflussfaktoren werden durch das subjektive Empfinden des Beobachters beeinflusst.

### Grundumsatz

*„Der Grundumsatz ist die Energiemenge, die ein Mensch bei Ruhe für die Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Körperfunktionen (Atmung, Herzschlag, Drüsenfunktion) pro Tag benötigt. Der Grundumsatz ist vor allem abhängig von Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Muskelmasse sowie bestimmten Hormonen. Für einen Erwachsenen beträgt der Grundumsatz im Durchschnitt 1 kcal (Kilokalorie) pro kg Körpergewicht und Stunde.“*<sup>274</sup>

### Individuelle Beanspruchungsindikatoren

Die individuelle Beanspruchung wird als Indikator für die Beanspruchung der Tätigkeit herangezogen, wobei festzuhalten ist, dass dieser Indikator nur für die jeweilige Person Gültigkeit hat.

<sup>272</sup> Lang, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung, Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt 1984.

<sup>273</sup> Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

<sup>274</sup> Online Abfrage „Grundumsatz“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-26.htm>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:35.

**Kalorimetrie, indirekte** „Indirekte Messung des Energieumsatzes durch Messung der Atemgase.“<sup>275</sup>

„Für die Verbrennung von Kohlenhydraten, Fett und Eiweiß werden jeweils charakteristische Mengen Sauerstoff benötigt, und es entstehen charakteristische Mengen an Kohlendioxid, d.h. für jede Stoffgruppe ergibt sich ein bestimmtes Verhältnis von entstandenem Kohlendioxid zu verbrauchtem Sauerstoff.“

Insgesamt kann aus dem Verhältnis entstandenes Kohlendioxid / verbrauchter Sauerstoff - liegt zwischen 0,7 und 1,0 - errechnet werden, wie viel Fett und Kohlenhydrat verbrannt wurde. Da der Energiegehalt von Fett und Kohlenhydraten bekannt ist, lässt sich einem gemessenen respiratorischen Quotienten ein Energiebetrag zuordnen (kalorisches Wärmäquivalent).“<sup>276</sup>

**Kalorimetrie, direkte** „Direkte Messung des Energieumsatzes durch Messung der Wärmeabgabe des Körpers.“<sup>277</sup>

**Laktat Turnpoint  
First Lactate Turnpoint  
(LTP1)**

Der Punkt des ersten Anstieges der Blutlaktatkonzentration über den Ruhewert als erster Laktat Turnpoint beschrieben.<sup>278</sup>

**Second Lactate Turnpoint  
(LTP2)**

Der zweite Laktat Turn Point kennzeichnet den zweiten abrupten Anstieg der Blutlaktatkonzentration. Dieser liegt ungefähr bei einem Wert von  $4^{\text{mmol/L}}$ .<sup>279</sup>

**Leistungswert** siehe Aufwandswert

**Maschinisierung**

„Die Maschinisierung bedeutet (...), dass die handwerkliche Leistung der Arbeiter durch den Einsatz von Maschinen, die hier eigentlich als größeres Werkzeug angesehen werden können, in seiner Wirksamkeit vervielfacht wird.“<sup>280</sup>

---

<sup>275</sup> Online Abfrage „Indirekte Kalorimetrie“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/glos12D.htm#dK>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:25.

<sup>276</sup> Online Abfrage „Indirekte Kalorimetrie“, <http://physik05.hs-niederrhein.de/Projekte/webprojektII/WS0405/Marek2/kmdikalo.htm>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:30.

<sup>277</sup> Online Abfrage „Direkte Kalorimetrie“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/glos12D.htm#dK>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:21.

<sup>278</sup> Vgl. Hofmann, P.et al.: Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (1997), S. 763.

<sup>279</sup> Vgl. Hofmann, P.et al.: Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (1997), S. 763.

<sup>280</sup> Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S. 2-21.

### Normal-Effektivtemperatur (NET)

„Sie berücksichtigt die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit und darf nur angewendet werden, wenn der Einfluss von Wärmestrahlung vernachlässigt werden kann.“<sup>281</sup>

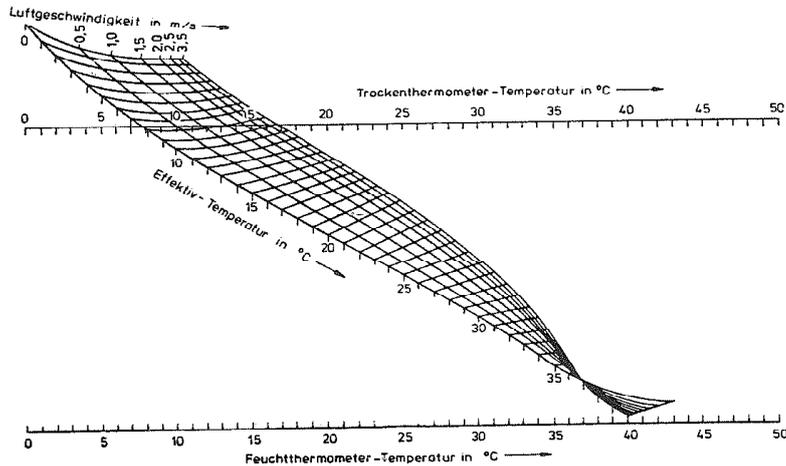


Bild A-20 Nomogramm zur Ermittlung der Normal-Effektiv-Temperatur NET in [°C]<sup>282</sup>

### Signifikanzniveau:

„Vom Versuchsleiter festgelegter Wert für  $\alpha$ . Im Allgemeinen spricht man von einem signifikanten Ergebnis, wenn der ermittelte  $p$ -Wert höchstens  $\alpha = 0,05$ , von einem sehr signifikanten Ergebnis, wenn er höchstens  $\alpha = 0,01$  beträgt.“<sup>283</sup>

### Terminsituation

Unter dem Begriff „Terminsituation“ werden Ereignisse und Ein- bzw. Auswirkungen auf den Terminplan bzw. dessen Einhaltung beschrieben, z.B. bedeutet eine enge Terminsituation, dass nur wenig bis kein Puffer zur Verfügung steht und daher jede Verzögerung eine Überschreitung des Terminziels hervorrufen kann.

<sup>281</sup> Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S.12.

<sup>282</sup> Yaglou, C. P.: Temperature, humidity, and air movement in industries: the effective temperature index, in: J. Industr. Hyg. 9, (1927) S. 297-309

<sup>283</sup> Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S585.

## Literaturverzeichnis

Das nachstehende Literaturverzeichnis beinhaltet alle in der Dissertation und dieser Veröffentlichung verwendeten Literaturquellen. Da in der Dissertation zum Teil vertiefende Erläuterungen geführt wurden, welche in dieser Veröffentlichung nicht dargestellt wurden, können einzelne angegebene Quellen in dieser Veröffentlichung nicht verwendet worden sein.

### Monographien

**Aigner, A.:** *Sportmedizin in der Praxis*, Hollinek, Wien 1985.

**Åstrand, P.-O.; Rodahl K.:** *Textbook of work physiology*, McGraw Hill, New York 1986.

**Auer, H.:** *Kalkulation Hochbau: Baumeisterarbeiten*, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 2004.

**Autorengemeinschaft Hochbau:** *Handbuch Arbeitsorganisation Bau, Heft 1.06 Mauerarbeiten Richtzeiten*, ztv-Verlag 1981.

**Bamberg, G. et al.:** *Statistik*, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009.

**Bauer, H.:** *Baubetrieb*, 3. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg 2007.

**Behrens, F.:** *Zur Definiton der Arbeitsproduktivität*, Akademie Verlag, Berlin 1962.

**Berner, F.; Kochendörfer, B.; Schach, R.:** *Grundlagen der Baubetriebslehre*, Teubner, Wiesbaden 2007.

**Bortz, J.; Schuster, C.:** *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010.

**Brouha, L.:** *Physiology in industry*, Pergamon Press, New York 1967.

**Bühl, A.:** *SPSS 16, Einführung in die moderne Datenanalyse*, 11. Auflage, Pearson Studium, München [u.a.] 2008.

**Burkhardt, G.:** *Kostenprobleme der Bauproduktion*, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

**Drees, G.; Eckert, G.:** *Unterkunft und Verpflegung auf Baustellen: Einrichtungen, Wirtschaftlichkeit, Vorschriften*, Wiesbaden, Berlin 1983.

**Fitch, R.:** *WinSTAT: Das Statistikprogramm für Windows; Benutzerhandbuch 2009.1*, 2009.

**Frieling, E.; Sonntag, K.:** *Lehrbuch Arbeitspsychologie*, 2. Auflage, Huber, Bern [ua.] 1999.

**Frisancho, R.:** *Human Adaptation: A Functional Interpretation*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI 1991.

- Gebhardt, H; Kampmann, B.; Müller, B. H.:** Arbeits- und Entwärmungsphasen in wärmebelasteten Arbeitsbereichen: Forschung Projekt F 1860, BAUA, Dortmund [u.a.] 2007.
- Girmscheid, G.:** Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften, 2. Auflage, Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, Zürich 2007.
- Girmscheid, G.:** Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau, 2. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin 2008.
- Graf, O.:** Arbeitszeit und Produktivität; Untersuchungsergebnisse wissenschaftlicher Forschungsinstitute ; Ganztägige Arbeitsablaufuntersuchungen an 200 Arbeitsplätzen, Duncker-&Humblot, Berlin 1959.
- Hofstadler, C.:** Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, 1. Auflage, Springer, Berlin 2007.
- Hofstadler, C.:** Schararbeiten: Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik Und Kalkulation, Springer, Berlin 2008.
- Hofstadler, C.; Franzl, G.:** Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011.
- Hollmann, W.; Hettinger, Th.:** Sportmedizin. Arbeits- und Trainingsgrundlagen, 3.Auflage, Schattauer, Stuttgart 1990.
- Hollmann, W.; Strüder, H. K.:** Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5.Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009.
- Jäger, W. (Hrsg.):** Mauerwerkskalender; Ausführung, Instandsetzung, Lehmmauerwerks, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 2009.
- Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.):** Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, 3. Auflage, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010.
- Kogler A.:** Die Kunst der Höchstleistung; Sportpsychologie, Coaching, Selbstmanagement, Springer, Wien 2006.
- Krenn, M. et al.:** Schwerarbeit - Schwerpunkt Bau, Zusammenfassung, 2004.
- Kropik, A.; Krammer, P.:** Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag; Ansprüche aus Leistungsänderungen, ihre Geltendmachung und Abwehr, 1. Auflage, Wien 1999.
- Kropik, A.; Ehgartner, J.; Prestros, L.:** Mittellohnpreiskalkulation: Übungs- und Schulungsheft ; Kalkulationsstichtag 1. Mai 2008, 17. Auflage, Geschäftsstelle Bau, Wien 2009.
- Kuhlmann, A.:** Introduction to safety science, Springer, New York 1986.

- Landau, K.; Rohmert, W.** (Hrsg.): Fallbeispiele zur Arbeitsanalyse: Ergebnisse zum AET-Einsatz, Huber, Bern 1981.
- Lehmann, G.:** Praktische Arbeitsphysiologie, 1. Auflage, Thieme, Stuttgart 1953.
- Lehmann, G.:** Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.
- Levsen, P.; Zahn, E.:** Hochbau, 7. Auflage, Schiele & Schön, Berlin 1973.
- Luczak, H. et al.:** Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998.
- Luczak, H. et al.:** Arbeitswissenschaft, 3. Auflage, Springer, Heidelberg [u.a.] 2010.
- Lugner, R; Stimpfl, H.; Lenz, G.:** Richtlinien, Zeitaufwand, Materialbedarf für die Kalkulation im Hochbau, 13. Auflage, Lugner, Wien 1983.
- Müller, E.A.:** Die physische Ermüdung. Handbuch der ges. Arbeitsmedizin. Band I: Arbeitsphysiologie, Urban und Schwarzenberg, Berlin [u.a.] 1961.
- Nachreiner, F.:** Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Dauer der Arbeitszeit und gesundheitlicher Beeinträchtigung: Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie, Oldenburg 2005.
- Oglesby, C. H. et al.** (Hrsg.): Productivity improvement in construction, McGraw Hill, New York 1989.
- Olesen, G.:** Kalkulationstabellen Hochbau: Hochbau, Erdarbeiten, Rohrleitungen, Aussenanlagen, 11. Auflage, Schiele und Schön, Berlin 1994.
- Pickenhain L., Neumann G., Scharschmidt F.:** Sportmedizin: Grundlagen, Methoden, Ziele, Huber, Bern [u.a.] 1993.
- Plümecke, K.; Kuhne, V.:** Preisermittlung für Bauarbeiten, 26. Auflage, Müller, Köln 2008.
- Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M.** (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004.
- REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.** (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Lexikon der Betriebsorganisation, Carl-Hanser, München 1993.
- REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.** (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 1 Grundlagen, Carl-Hanser, München 1984.
- REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.** (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984.

**REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.** (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 3 Arbeitsgestaltung, Carl-Hanser, München 1984.

**Rohmert, W.; Landau, K.:** Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET), Huber, Bern [u.a.] 1979.

**Rohmert W.:** Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983.

**Röthig, P.:** Sportwissenschaftliches Lexikon, Hofmann, Schorndorf bei Stuttgart 1972.

**Rönz, B.; Förster, E.:** Regressions- und Korrelationsanalyse: Grundlagen, Methoden, Beispiele, Wiesbaden 1992.

**Schirnhof, F.:** Der Bauhandwerker; Lehrbuch und Nachschlagewerk für Techniker, Poliere Vorarbeiter, Maurer und Maurerlehrlinge und solche, die es werden wollen, 10. Auflage, Eigenverlag, Pöllau 2010.

**Spitzer, H.; Hettinger, T.; Kaminsky, G.:** Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit, 6. Auflage, Berlin 1982.

**Stegemann, J.:** Leistungsphysiologie: Physiolog. Grundlagen d. Arbeit u. d. Sports ; 20 Tab., 3. Auflage, Thieme, Stuttgart 1984.

**Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft:** BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007.

**Vygen, K., Schubert, E., Lang, A.:** Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008.

**Wenzel, H. G.; Piekarski, C.:** Klima und Arbeit, 1985.

**Wirtz, A.:** Gesundheitliche und soziale Auswirkungen langer Arbeitszeiten, BAuA, Dortmund [u.a.] 2010.

**Zentralverband des Deutschen Baugewerbes:** ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984.

#### Beiträge in Sammelwerken

**Babayev, A. B.:** Some aspects of man's acclimatization to hot climates, in: World Meteorological Organization (Hrsg.), Proceedings of the Symposium on Climate and Human Health, Volume 2, Leningrad, Russia 1986, S. 125 ff.

**Heck, D.; Schlagbauer, D.:** Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven in Jehle, P.: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, Dresden 2011, S. 129-162.

**Heck, D.; Schlagbauer, D.:** Einfluss von Anordnungen und der Gestaltung von Pausen unter besonderer Berücksichtigung der Belastung und Beanspruchung der Bauarbeiter in Gralla, M.; Sundermeier; M. (Hrsg.): Innovation im Baubetrieb – Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag, Wernerverlag, Köln 2011, S. 253-268.

**Hofstadler, C.:** Beschaffungslogistik für die Phase Bauwerk-Rohbau - Vereinfachte stochastische Berechnung der Anzahl der Transporte in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: 40 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Graz 2009, S. 65 - 78.

**Hofstadler, C.:** Nachweis von Produktivitätsverlusten am Beispiel der Stahlbetonarbeiten – Literaturansätze im Vergleich zu aktuellen Untersuchungsergebnissen. - in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Bauablaufstörungen - Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, Graz 2011, S. 43-74.

**Pokan, R. et al.:** Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 39–82.

**Rubner, M.:** Denkschrift zur Errichtung eines Instituts für Arbeitsphysiologie in der damaligen Kaiser-Wilhelm (der heutigen Max-Planck-) Gesellschaft vom 16. 5. 1912 in Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983.

**Schlagbauer, D.:** Bauwirtschaftliche Überlegungen zur täglichen Arbeitszeit in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Festschrift 40 Jahre Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft, Graz 2009, S. 213 - 228.

**Schlagbauer, D.:** „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ - Auswertung empirischer Untersuchungen der Tätigkeiten im Baumeistergewerbe in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag, Wien 2010, S.207-237.

**Schlagbauer, D.:** Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Ansätze zur Arbeitszeitgestaltung auf Basis arbeitsphysiologischer Parameter. - in Heck, D.; Lechner H.; Hofstadler C.: Bauablaufstörungen - Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, Graz 2011, S. 75 - 108.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.; Hofmann, P.:** Interdisciplinary Research Project: Principles of Work Scheduling in Cheung; Yazdani; Ghafoorui; Singh (Editors): Modern Methods and Advances in Structural Engineering and Construction, Chennai 2011, S. 117-122.

**Wenzel, H.:** Die Beziehung zwischen Wärmebilanz und Dauerleistungsgrenze, in: Rohmert, W. (Hrsg.), Muskelarbeit und Muskeltraining, Inter-

nationales Kolloquium am 19. und 20. Februar 1968 in Darmstadt, Stuttgart 1968.

### Beiträge in Zeitschriften

**Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.:** Physiological Demands of Concrete Slab Placing and Finishing Work, in: *Journal of Engineering and Management* Jg.125 (1999) S. 47-52.

**Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.:** Physical Demands of Construction Work: A Source of workflow unreliability, in: *Occupational Ergonomics, Work Physiology, Construction Safety* (2002), S. 2-12.

**Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.:** Physiological Demands during Construction Work, in: *Journal of Engineering and Management* Jg.128 (2002) S. 427-437.

**Åstrand, I.:** Aerobic working capacity in men and women with special refercene to age, in: *Acta physiol. Scand.*, 49 (1960).

**Bergmann, M.; Motzko, C.:** Ergonomiegetützte Mulitiagentensimulation im Baubetrieb, in: *Bauportal*, Nr. 5 (2010), S. 280–283.

**Bink, B.:** The physical working capacity in relation to working time and age, in : *Ergonomics*, 5 (1962).

**Blaasch, G.:** 20. Kassel-Darmstädter Baubetriebsseminar Schalungstechnik, in: *Bauportal*, Nr. 03 (2011), S. 42–44.

**Bonjer, F. H.:** Relationship between working time, physical working capacity and allowable caloric expenditure, in: Rohmert, W. (Hrsg.), *Muskelarbeit und Muskeltraining*, Internationales Kolloquium am 19. und 20. Februar 1968 in Darmstadt, Stuttgart 1968, S. 86 ff.

**Bradshaw, D. I. et al.:** An Accurate VO<sub>2</sub>max Nonexercise Regression Model for 18-65-Year-Old Adults, in: *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 76 (2005), S. 426–432.

**Brotherhood, J. R.:** Heat stress and strain in exercise and sport, in: *Journal of Science and Medicine in Sport*, Jg.11, Nr. 1 (2008), S. 6–19.

**Ceesay, Sana M. et al.:** The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry, in: *British Journal of Nutrition* (1989), S. 175–186.

**Christensen, H.; Søgaard, K.; Pilegaard, M.:** The importance of the work/rest pattern as a risk factor, in: *International Journal of Industrial Ergonomics*, 25 (2000), S. 367–373.

**Conconi F. et al.:** Determination of the anaerobic threshold by noninvasive filedtest in runners, in: *J Appl Physl*, 52(4), S. 869-873.

**Davies, C. T. et al.:** Energy expenditure and physiological performance of Sudanese cane cutters, in: Occupational and Environmental Medicine Jg.33 (1976) S. 181–186.

**Ehrismann O.; Hasse A.:** Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in: Arch. Gewerbepath. und Gewerbehyg., 8, 611(1938).

**Ehrismann, O. ; Hasse, A.:** Über die zulässige Arbeitszeit bei hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in: International Archives of Occupational and Environmental Health, Jg.8, Nr. 5 (1938), S. 611–638.

**Hofmann, P.et al.:** Relationship Between Heart Rate Threshold Lactate Turn Point and Myocardial Function, in: Int. Journal Sports Medicin, Jg.15 (1994), S. 232–237.

**Hofmann, P.et al.:** Heart rate threshold related to lactate turn point and steady-state exercise on a cycle ergometer, in: European Journal of Applied Physiology, Jg.69 (1994), S. 132–139.

**Hofmann, P.; Wießpeiner, G.; Pokan, R.:** Puls Oxymetrie - Möglichkeit in der nichtinvasiven Leistungsdiagnostik, in: Österreichisches Journal für Sportmedizin, Jg.25, Nr. 3 (1995), S. 72–75.

**Hofmann, P. et al.:** Comparison between Heart Rate Threshold and Individual Physical Working Capacity, in: Acta Univ Carolinae Kinanthr, Jg.32, Nr. 1 (1996), S. 47–50.

**Hofmann, P. et al.:** Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (1997), S. 762–768.

**Hofmann, P. et al.:** %HRmax target heart rate is dependent on heart rate performance curve deflection, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (2001), S. 1726–1731.

**Hofmann, P. et al.:** Die Genauigkeit der %HFmax Trainingsherzfrequenz-Vorgabe ist abhängig vom Verlauf der HF-Leistungskurve (Abstact), in: Journal für Kardiologie, Jg.8, Nr. 12 (2001), S. 516.

**Hofmann, P. et al.:** beta1-Adrenoceptor Mediated Origin of the Heart rate Performance Curve Deflection, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (2005), S. 1707–1709.

**Hofmann, P.; Tschakert, G.:** Special Needs to Prescribe Exercise Intensity for Scientific Studies, in: Cardiology Research and Practice, Jg.2011 (2011).

**Hofstadler, C.:** Bauablaufplanung - Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten, in: Baumarkt und Bauwirtschaft Heft 01 (2005), S. 55.

**Hofstadler, C.:** Schwierigkeitsgrad von Schalarbeiten - Darstellung der Auswirkungen im IAD, in: Österreichische Bauzeitung, Heft 14 (2005), S. 33.

- Hsie, M. et al.:** A model used in creating a work-rest schedule for laborers, in: *Automation in Construction*, Jg.18 (2009), S. 762–769.
- Jackson, A.S.; Ross, R. M.:** Methods and limitations of assessing functional work capacity objectively, in: *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 6 (1996), S. 265–276.
- Jørgensen, K.:** Permissible loads based on energy expenditure measurements, in: *Ergonomics*, Jg.28, Nr. 1 (1985), S. 365–369.
- Jureka, W.:** Kosten von Bauzeitverlängerungen, in: *Bauzeitung* (1982), S. 1451–1456.
- Kjellstrom, T; Holmer, I. ; Lemke, B.:** Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change, in: *Global Health Action*, Jg.2, (2009).
- Koningsveld, E. A. P.:** Permissible loads for the Dutch construction industry, in: *Ergonomics*, Jg.28 (1985), S. 359–363.
- Konz S.:** Work/rest: Part I - Guidelines for the practitioner, in: *International Journal of Industrial Ergonomics*, Jg.22 (1998), S. 67–71.
- Konz, S.:** Work/rest: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide, in: *International Journal of Industrial Ergonomics*, Jg.22 (1998), S. 73–99.
- Legg, S. J.; Myles, W. S.:** Maximum acceptable repetitive lifting workloads for an 8-hour work-day using psychophysical and subjective rating methods, in: *Ergonomics*, Vol. 24 (1981), S. 907–916.
- Lehmann, G.; Szakall, A.:** Schweißverlust und Getränkeaufnahme bei Bergleuten und Hitzearbeitern, in: *Arbeitsphysiologie* 11,73 (1940).
- Mackworth, N.H.:** Researches on the measurement of human performance, in: *Med.Res.Council, Special Report Series No. 268*, H.M.S.O., London (1950).
- Malchaire, J. B.; Rezk-Kallah, B.:** Evaluation of the physical work load of bricklayers in steel industry, in: *Scand Journal Work Environment Health*, Nr. 17 (1991), S. 110–116.
- Mengelkoch, L.; Clark, K.:** Comparison of work rates, energy expenditure, and perceived exertion during a 1-h vacuuming task with a backpack vacuum cleaner and an upright vacuum cleaner, in: *Applied Ergonomics*, Jg.37, Nr. 2 (2006), S. 159–165.
- Müller, E.A.:** The physiological basis of rest pauses in heavy work, in: *Exp. Physiology* (1953), S. 205–215.
- Müller, E. A.,** Occupational work capacity, in: *Ergonomics*, 5, (1962), S. 445–452.

- Österreich, R.:** Das Belastungs-Beanspruchungskonzept im Vergleich mit arbeitspsychologischen Konzepten, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaften, Jg.55, Nr. 3 (2001), S. 162–178.
- Pokan, R. et al.:** Left ventricular function in response to transition from aerobic to anaerobic metabolism, in: Medicine & Science in Sports & Exercise, Jg.29, Nr. 8 (1997), S. 1040–1047.
- Pokan, R. et al.:** Heart Rate Behavior And Changes In Hemodynamic Variables During 24h Continuous Cycle Ergometer Exercise, (Abstract), in: Med. Sci. Sports Exerc., Jg.43, Nr. 5 (2011), S. 451.
- Rohmert, W.:** AET - a new job-analysis method, in: Ergonomics, Jg.28, Nr. 1 (1985), S. 245–254.
- Rohmert, W.:** Problems in determining rest allowances: Use of modern methods to evaluate stress and strain in static muscular work, in: Applied Ergonomics (1973), S. 91–95.
- Rohmert W.:** Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 38 (1984), S. 193-200
- Rutenfranz, J.:** Energy expenditure constrained by sex and age, in: Ergonomics, Jg.28, Nr. 1 (1985), S. 115–118.
- Saha, P. N. et al.:** An acceptable workload for Indian workers, in: Ergonomics, Jg.22, Nr. 9 (1979), S. 1059–1071.
- Spitzer, H.:** Physiologische Grundlagen für den Erholungszuschlag bei Schwerarbeit, in: REFA-Nachrichten, S. 37–42.
- Tiwari, P.; Gite, L.:** Evaluation of work-rest schedules during operation of a rotary power tiller, in: International Journal of Industrial Ergonomics, Jg.36, Nr. 3 (2006), S. 203–210.
- Vernon, H.; Warner C.G.:** The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures, in: J Hyg (Lond), Jg.32, Nr. 3 (1932), S. 431–463.
- Wonisch M. et al.:** Praxisleitlinien Ergometrie, in: Journal für Kardiologie, Nr. 15 (Suppl. A) (2008), S. 3–17.
- Wonisch, M. et al.:** Spiroergometrie in der Kardiologie - Grundlagen der Physiologie und Terminologie, in: Journal für Kardiologie, Nr. 10 (2003), S. 383–390.
- World Health Organization (WHO):** Health Factors involved in Working under Conditions of Heat Stress, Technical Report Series No. 412, Geneva 1969.
- Wu, H.-C.; Wang, M.-J.:** Relationship between maximum acceptable work time and physical workload, in: Ergonomics, Jg.45, Nr. 4 (2002), S. 280–289.

**Wultsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.:** Governmental regulations for early retirement by means of energy expenditure cut offs, in: *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* (2011), 14. pii: 3195. doi: 10.5271/sjweh.3195 Epub ahead of print..

**Yaglou, C. P.:** Temperature, humidity, and air movement in industries: the effective temperature index, in: *J. Industr. Hyg.* 9, (1927) S. 297-309

**Zimmermann, J.; Haas, B.:** Baulogistik: Motivation - Definiton - Konzeptentwicklung, in: *Tiefbau*, Nr. 01 (2009), S. 11–16.

### Hochschulschriften

**Kampmann, B.:** Zur Physiologie der Arbeit in warmem Klima, Habilitationsschrift Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal 2000.

**Fetzner, T.:** Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007.

**Hager, H.:** Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmassnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991.

**Hildebrandt, W.:** Untersuchung zur Berücksichtigung der menschlichen Tagesrhythmik durch eine variable Arbeitszeitregelung, Dissertation RWTH Aachen, Eigenverlag 1972.

**Lang, A.:** Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung, Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt 1984.

**Niederkofler, W.:** Das Konzept der individuellen Physical Working Capacity, Dissertation KFU Graz, Graz 1997.

**Stark, M.:** Hitzebelastung in der Papierindustrie, Dissertation KFU Graz, Graz 2008.

**Winter, H.-J.:** Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

**Aigner, M.:** Aufwandswerte für Stahlbetonarbeiten: Ein kritischer Vergleich von Literaturangaben, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2003.

**Berberat, A.:** Änderung von Arbeitsproduktivität und Lohnkosten bei mehr als 8-stündiger täglicher Arbeitszeit, Diplomarbeit TH Darmstadt, Darmstadt 1990.

**Bodensohn, K.:** Schwankende Arbeitsproduktivität im Verlauf der täglichen Arbeitszeit, Diplomarbeit, TH Darmstadt, Darmstadt 1989.

**Car, P.:** Messung und Analyse von Produktivität auf Baustellen, Diplomarbeit TU Wien, Wien 2000.

**Fehrer, M. P.:** Vergleich von Belastungsbewertungsmöglichkeiten im Bauwesen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

**Gappmeier, W.:** Aufwandswerte für Schalarbeiten - Baustellenanalyse für Deckenschalungen unter besonderer Betrachtung von Träger- und Rahmenschalungen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

**Grübler C.:** Analyse von Belastungsfaktoren und Gesundheitsrisiken im Bauwesen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

**Herzeg, T.:** Analyse von Arbeitsunfällen im Bauwesen, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2009.

**Lederer-Grabner, B.:** Störeinflüsse auf den Bauablauf aus Sicht der Bauausführenden, Masterarbeit TU Graz, Graz 2010.

**Möhler, J.:** Arbeitsproduktivität im Gleitbau, Diplomarbeit TH Darmstadt, Darmstadt 1989.

**Pretis, M.:** Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008.

**Reichl, R.:** Studie zum Einarbeitungseffekt im Bauwesen - Am Beispiel der Herstellung von Stahlbeton, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2003.

**Rumpold, A.:** Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007.

**Schlagbauer, D.:** Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

**Wagner, J.:** REFA-Untersuchungen zu Bewehrungsarbeiten bei Ortbetondecken, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2010.

**Nagel, H.:** Empirische Sozialforschung, Skriptum zum Wahlfach Kurs I - Methoden der empirischen Sozialforschung, WU Wien, Wien 2003

#### Internequellen

**Brockhaus** **Enzyklopädie** **Online:**  
<http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>

**Heinle, H.:** Praktikumsskriptum Nr. 8, S. 9 des Institute of Physiology Tübingen, <http://www.physiologie.uni-tuebingen.de/lehre/home>

**WHO:** [http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro\\_3.html](http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html)

**WKO:**

[http://portal.wko.at/wk/format\\_detail.wk?AngID=1&StID=449241&DstID=8560](http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&StID=449241&DstID=8560)

**o.V.:** [http://www.bic.at/bic\\_brinfo.php?bereich=bl&stage=1&brfid=297&reiter=1](http://www.bic.at/bic_brinfo.php?bereich=bl&stage=1&brfid=297&reiter=1)

**BUAK:**

[http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK\\_5.4](http://www.buak.at/servlet/ContentServer?pagename=BUAK/Page/Index&n=BUAK_5.4)

**o.V.:** [http://www.statistics4u.com/fundstat\\_germ/cc\\_level\\_signif.html](http://www.statistics4u.com/fundstat_germ/cc_level_signif.html)

**Informationen des Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV** zu „Mauern bei Frost und Hitze“, [http://www.kalksandstein.de/bv\\_ksi/fach/ausfuehrung/mauern/mauern.htm](http://www.kalksandstein.de/bv_ksi/fach/ausfuehrung/mauern/mauern.htm)

**Masser, K.:** Bestimmung Stichprobengröße für repräsentative Befragungen, <http://www.arnsberg.de/buergerpanel/bestimmung-stichprobengroesse.pdf>

**Mauerwerksbau-Lehre.de**, Kostruktion - 5.2 Ausführung von Mauerwerk, Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau, <http://www.mauerwerksbau-lehre.de/studierende>

**Österreichisches Wörterbuch:** <http://www.ostarrichi.org>

**Statistik Austria:** BMI, [http://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/bmi\\_body\\_mass\\_index/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/bmi_body_mass_index/index.html)

**Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau:** <http://www.mauerwerksbau-lehre.de/studierende>

**Winter, S.:** Quantitative vs. Qualitative Methoden, [http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nquantitative\\_vs\\_qualitative\\_methoden\\_b.html](http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/nquantitative_vs_qualitative_methoden_b.html)

**Wirtschaftslexikon Gabler:** Online-Abfrage <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>

<b>Vorträge</b>
-----------------

**Bruder, R.:** Vorlesung Arbeitswissenschaft, Kapitel 6.1: Umgebungsbedingungen, TU Darmstadt, Darmstadt 2009.

**Hettinger T.:** Muskuläre Arbeit und Klimabelastung, Klima am Arbeitsplatz, Vorträge im Rahmen der Informationstagung am 21. und 22. März 1990 in Dortmund 1990.

**Kallus, W.:** Einführung in die Fächer der Psychologie Anwendungsbereiche: Arbeitspsychologie, Organisationspsychologie, Umweltpsychologie, Wirtschaftspsychologie, 11.10.2008.

**Link, D.:** ClaimManagement, Wie setze ich meine Ansprüche gegenüber dem Vertragspartner erfolgreich durch?, Vortrag 2011.

**Nachreiner, F.et al.:** Arbeitszeit und Gesundheit: zu gesundheitlichen Effekten längerer Arbeitszeit, Vortrag, Oldenburg.

**Wichtl, M.:** Heben und Tragen von Lasten. in: AUVA (Hrsg.), Forum Prävention 2007, 2007.

**Wichtl, M.:** Physische Belastungen - Manuelle Lasthandhabung, in: AUVA (Hrsg.), Forum Prävention 2010, 2010.

## Gesetze

**ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (1994):** Republik Österreich, Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz, Bundesgesetz über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit (ArbeitnehmerInnenschutzgesetz - ASchG) und mit dem das Allgemeine Sozialversicherungsgesetz, das Arbeitsvertragsrechts-Anpassungsgesetz, das Arbeitsverfassungsgesetz, das Berggesetz 1975, das Bauern-Sozialversicherungsgesetz, das Arbeitsmarktförderungsgesetz, das Arbeitslosenversicherungsgesetz 1977 und das Ausländerbeschäftigungsgesetz geändert werden, BGBl. I Nr. 51/2011.

**BGBl. II Nr. 104/2006:** Berufsgruppen bei denen „körperliche Schwerarbeit“ iSd § 1 Abs. 1 Z 4 der Verordnung über besonders belastende Berufstätigkeiten, BGBl. II Nr. 104/2006 geleistet wird; Stand Mai 2010.

**Bundesministeriums für Arbeit, Gesundheit und Soziales:** Einführung von 25-kg Zementsäcken, GZ 61.209/12-4/99 v. 19.04.1999.

## Zusätzliche Quellen

**Schlagbauer, D.; Heck, D.:** Einfluss von Anordnungen und der Gestaltung von Pausen unter besonderer Berücksichtigung der Belastung und Beanspruchung der Bauarbeiter. - in: Innovation im Baubetrieb - Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag, S. 253 – 268, 2011.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.:** Forschungsprojekt Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Die Arbeitsaufgaben von Bauarbeitern bei Mauerwerks- und Schalungsarbeiten. - in: Festschrift anlässlich des 60. Geburtstags von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach, S. 129 – 162, 2011.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.:** Arbeitsleistungskurven - Entstehung und Grundlagen. - in: Bau aktuell 3, S. 93 – 101, 2012.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.:** Arbeitsleistungskurven - Neues Bewertungsmodell und Anwendungsbeispiel. - in: Bau aktuell 4, S. 136 – 147, 2012.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.; Hofmann, P.:** Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Analyse von Tätigkeiten und Beanspruchungen im Schalungsbau. - in: Konferenz 2012 - Infrastruktur, Hochbau und Umwelttechnik, S. 23 – 26, Betontag ; 2012

**Schlagbauer D.; Bauer B.; Heck, D.:** Baubetriebliche Prozessanalyse – Einsatz und Umsetzung in der Forschung in Lehrstuhl für Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung, Technische Universität München. Red.: Wolfgang Eber (Hrsg.): Bauprozessmanagement und Immobilienentwicklung : Kolloquium Investor Hochschule Bauwirtschaft ; 145 Jahre LBI ; 60 Jahre Prof. Dr. Ing. Josef Zimmermann, Eigenverlag, München, 2013.

**Schlagbauer, D.; Heck, D.:** Pausengestaltung im Bauwesen. - in: VERANTWORTUNG für die Arbeit der Zukunft, 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 2014.







ISBN 978-3-85125-189-0



9 783851 251890