

DISSERTATION



ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE ARBEITSZEITGESTALTUNG ENTWICKLUNG EINER SYSTEMATIK ZUR VORHERSAGE DES LEISTUNGSRÜCKGANGS AUF BASIS PHYSIOLOGISCHER GRUNDLAGEN UND DARSTELLUNG DER ANWENDUNG IM MAUERWERKSBAU

Bmstr. Dipl.-Ing. Dieter Schlagbauer

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dettlef Heck

Mitbetreuer
Univ.-Prof. Mag. phil. Dr. rer.nat. Peter Hofmann

Graz am 06. Dezember 2011

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUARY DECLARATION

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

Graz,

date

.....

(signature)

Danksagung

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

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck und Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Peter Hofmann.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Em.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Berggrat h.c. Gert Stadler und Herrn Dipl.-Ing. Andres Fürst bedanken, die mich bei meiner Diplomarbeit unterstützt haben, wodurch die Grundlage für diese Arbeit geschaffen wurde.

Weiters gilt mein Dank allen aktuellen und früheren Mitarbeitern am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft für die gute Zusammenarbeit und die Anregungen in unzähligen Gesprächen.

Ein großer Dank gebührt auch den Firmen, die es mir ermöglicht haben auf Ihren Baustellen die notwendigen Untersuchungen auszuführen sowie den Studenten die im Rahmen Ihrer wissenschaftlichen Arbeiten Datenerhebungen durchgeführt haben. Diese Erhebungen sind ohne finanzielle Unterstützung nicht möglich, daher gilt mein Dank auch der Gewerkschaft BauHolz, der ASFINAG, dem Land Steiermark und dem Verein WirtschaftsingenieurBau.

Auch meinen Freunden und Studienkollegen sei an dieser Stelle gedankt, da auch sie einen Anteil an der Erstellung dieser Arbeit hatten.

Ein besonderer Dank gebührt meiner Familie und meiner Freundin, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützt haben.

Graz, am _____

(Unterschrift)

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

1	Einleitung	1
1.1	Anlass und Aufgabenstellung.....	1
1.2	Zielsetzung und Abgrenzung	4
1.3	Vorgehensweise.....	5
2	Definitionen	8
2.1	Arbeit.....	8
2.2	Definition des Leistungsbegriffes	9
3	Grundlagen	12
3.1	Grundlagen der Mauerwerksarbeiten aus baubetrieblicher Sicht	12
3.1.1	Einflüsse auf die Arbeitsleistung aus baubetrieblicher Sicht.....	12
3.1.2	Arbeitsablauf im Mauerwerksbau.....	15
3.1.3	Spezielle Einflüsse auf die Leistung oder Leistungserbringung im Mauerwerksbau.....	16
3.2	Medizinische und physiologische und Grundlagen	18
3.2.1	Leistungsphysiologische Grundlagen	18
3.2.2	Bestimmung der maximalen Leistung	22
3.2.3	Beanspruchungskenngrößen	23
3.2.4	Beanspruchungsgrenzen	23
3.2.5	Grenzwerte der maximalen Beanspruchung zur Verhinderung des Auftretens von Ermüdungserscheinungen	29
3.2.6	Einstufung der Arbeitsschwere nach physiologischen Kenngrößen ...	34
3.2.7	Außentemperatur und körperliche Leistungsfähigkeit.....	36
3.3	Grundlagen und Begriffe der Arbeitsablaufbeobachtung	42
3.3.1	Gliederung des Arbeitsablaufes nach REFA.....	42
3.3.2	Beobachtungsmethoden nach REFA.....	46
3.3.3	Beobachtungskategorien	47
4	Arbeitsleistungskurven und Systematik	50
4.1	Arbeitsleistungskurven	50
4.1.1	Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann.....	50
4.1.2	Die Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt	52
4.1.3	Die Arbeitsleistungskurve nach Winter	53
4.1.4	Kritik und Anmerkungen zu den bestehenden Leistungskurven	55
4.1.5	Weitere Ansätze zur Bestimmung des Leistungsverlustes bei längerer Arbeitszeit	58
4.2	Systematik zur tätigkeits- und personenabhängigen Ermittlung des Leistungsverlustes	73
4.2.1	Systematik der Leistungsverlustermittlung.....	74
4.2.2	Zusammenhang der Eingangsparameter mit der Leistungserbringung.....	74
4.2.3	Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box	76
5	Datenerhebung und Untersuchungsablauf	79
5.1	Möglichkeiten der Datenerhebung auf der Baustelle und im Labor	79
5.1.1	Überblick über die Methoden zur Erhebung der persönlichen Daten .	79
5.1.2	Überblick über die Methoden zur Ermittlung der durchgeführten Tätigkeiten und der Arbeitsleistung	80
5.1.3	Erhebbare Daten bei Durchführung einer Baustellenbeobachtung.....	80
5.1.4	Erhebbare Daten einer Laboruntersuchung.....	83
5.2	Erhebungsdaten für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve ...	84

5.3	Untersuchungsdesign	85
5.3.1	Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme (MMA)	86
5.3.2	Modul 2: Einzelzeitaufnahmen (EZA).....	86
5.3.3	Modul 3: Erhebung der Wetterdaten	87
5.3.4	Modul 4: Herzfrequenzmessung	87
5.3.5	Modul 5: Spiroergometrie.....	87
5.3.6	Modul 6: Leistungserhebung.....	89
5.4	Werkzeuge der Datenerhebung	89
5.4.1	Datenerhebungsbogen (DEB).....	90
5.4.2	Digitale Bilderfassung (DBE).....	93
5.4.3	Pulsmessgurt und Pulsuhr	93
5.4.4	Spiroergometrie (SE)	93
5.5	Praktische Durchführung der Untersuchung	95
5.5.1	Praktische Durchführung auf der Baustelle.....	95
5.5.2	Praktische Durchführung im Labor.....	96
6	Datenauswertung	97
6.1	Grundlagen der Datenauswertung.....	97
6.1.1	Auswertung bei eindimensionalem Datenmaterial.....	97
6.1.2	Auswertung bei zweidimensionalem Datenmaterial.....	98
6.1.3	Korrelationsanalysen für ausgewählte Parameter	98
6.1.4	Bestimmung des Signifikanzniveaus.....	99
6.1.5	Regressionsrechnung der ausgewählten Parameter	100
6.1.6	Graphische Darstellungsmethoden.....	101
6.1.7	Beurteilungsmöglichkeiten für die statistische Aussagekraft eindimensionaler Daten	101
6.2	Auswertung der persönlichen Daten der untersuchten Bauarbeiter .	103
6.2.1	Übersicht über die physiologische Kenngrößen der Bauarbeiter	103
6.2.2	Alter	104
6.2.3	Gewicht	105
6.2.4	Body-Mass-Index (BMI)	106
6.3	Aussagekraft der erhobenen eindimensionalen Daten	108
6.3.1	Beobachtungsumfang der einzelnen Datenreihen	108
6.3.2	Große Stichproben ($N > 30$).....	110
6.3.3	Kleine Stichproben ($N < 30$).....	116
6.3.4	Ergebnisse der Spiroergometrie ($N=21$)	117
6.3.5	Aussagekraft der durchgeführten Datenerhebung	119
6.4	Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den persönlichen Parametern	119
6.4.1	Alter und Gewicht.....	120
6.4.2	Alter und BMI	120
6.4.3	Alter und HF_{max}	121
6.4.4	Alter und HF_{LTP1}	122
6.4.5	Alter und HF_{LTP2}	122
6.4.6	Alter und P_{max}	123
6.4.7	P_{max} und HF_{max}	123
6.4.8	P_{max} und HF_{LTP1}	124
6.4.9	VO_{2max} und HF_{max}	125
6.4.10	HF_{max} und HF_{LTP1}	126
6.4.11	% $HF_{LTP1/max}$ und HF_{max}	127
6.4.12	HF_{LTP1} und HF_{max} , P_{max}	127
6.4.13	% $HF_{LTP1/max}$ und HF_{max} , P_{max}	128
6.5	Tätigkeitsanalyse	128

6.5.1	Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der ersten Kategorieebene	128
6.5.2	Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der zweiten Kategorieebene.....	131
6.6	Tätigkeitsverteilung der Bauarbeiter im Mauerwerksbau	133
6.6.1	Verteilung der Vorgänge auf der Kategorieebene.....	133
6.6.2	Verteilung der Tätigkeiten auf der Unterkategorieebene	136
6.6.3	Verteilung der Tätigkeiten im Verlauf des Arbeitstages	138
6.7	Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages	141
6.7.1	Herzfrequenzverlauf eines Bauarbeiters	143
6.7.2	Herzfrequenzwerte aller beobachteten Bauarbeiter.....	145
6.7.3	Herzfrequenz am Arbeitstag und Leistung am Fahrradergometer....	147
6.8	Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten	147
6.8.1	Herzfrequenzwerte der einzelnen Kategorien.....	148
6.8.2	Darstellung des Verlaufs der Herzfrequenzwerte der Tätigkeitsgruppen.....	149
6.8.3	Klima und Herzfrequenz während des Arbeitstages	151
6.9	Ergebnisse der Spiroergometrien	154
6.9.1	Absolute Messwerte der Probanden	154
6.9.2	Verlauf der Sauerstoffaufnahme und des Energieumsatzes.....	155
6.10	Relativer Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages	159
6.10.1	Relative Herzfrequenzwerte auf Basis eines Parameters.....	160
6.10.2	Regressionsanalysen mit mehreren unabhängigen Eingangsparametern.....	164
6.11	Beanspruchung der Tätigkeiten	167
6.11.1	Beanspruchungsauswertung der Tätigkeitsgruppe „Mauern“	168
6.11.2	Beanspruchungsauswertung des gesamten Arbeitstages mit $\%AEU_{abs. Grenz, I} = \% maxAEU(t)$ nach Lehmann	173
6.12	Leistungsverlauf während des Arbeitstages	175
6.12.1	Leistungswerte aus den Baustellenbeobachtungen.....	176
6.12.2	Vergleich der erhobenen Leistungswerten mit Leistungswerten aus der Literatur	178
6.12.3	Bestimmung der Netto-Leistungswerte aus Brutto-Leistungswerten der Untersuchung bzw. der Literatur.....	180
7	Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit	184
7.1	Zusammenstellung der erforderlichen Daten	185
7.1.1	Bestimmung der personenbezogenen Parameter	185
7.1.2	Bestimmung der Herzfrequenzwerte für die Tätigkeitskategorien	186
7.1.3	Bestimmung der Leistungswerte.....	189
7.2	Vergleich der berechneten Werte mit den Messwerten	190
7.2.1	Vergleich der maximalen Herzfrequenzwerte	190
7.2.2	Vergleich der Herzfrequenz am LTP_1	192
7.2.3	Herzfrequenz der Tätigkeitskategoriegruppen	193
7.3	Anwendungsbeispiel der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve	197
7.3.1	Ermittlung der personenbezogenen Parameter	198
7.3.2	Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag.....	198
7.3.3	Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien	202
7.3.4	Bestimmung des Leistungsfortschritts	204
7.3.5	Veränderung der Arbeitszeit	204
8	Diskussion der Datenerhebung zur Anwendung der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung	210

8.1	Externe erhobene Einflussfaktoren	211
8.2	Externe nicht erhobene Einflussfaktoren	213
8.3	Einsatzbereiche.....	214
9	Zusammenfassung und Ausblick	215
9.1	Zusammenfassung.....	215
9.2	Ausblick	216
9.2.1	Maschinenführertätigkeiten	216
9.2.2	Betrachtung der Arbeitsgruppen	216
9.2.3	Betrachtung von Arbeitswochen oder längeren Zeiträumen	217
9.2.4	Arbeits- und Pausengestaltung	217
9.2.5	Beanspruchungsgerechtes Arbeiten	219
A.1	Anhang	220
A.1.1	Probandeninformation	220
A.1.2	Energieumsatz bei Freizeitaktivitäten	225
A.1.3	Datenanalyse zur Bestimmung des HF_{LTP1}	226
A.1.4	Daten der Spiroergometrie	228
A.1.5	Herzfrequenzwerte der Bauarbeiter	229
A.1.6	Klimadatenanalyse	236
A.1.7	Ergebnisse der Herzfrequenzanalyse für Tätigkeitsgruppen	243
A.1.8	Analyse der Beanspruchung	248
A.1.9	Leistungsaufzeichnung	256
A.1.10	Vergleich der Mess- und Rechenwerte der einfachen Regressionsrechnung	258
A.1.11	Vergleich der Mess- und Rechenwerte der multiplen Regressionsrechnung	261
A.1.12	Anwendungsbeispiel der tätigkeitsbezogenen Arbeitsleistungskurve	264
A.1.13	Darstellung des Herzfrequenzverlaufs in den Berechnungsbeispielen	266
	Glossar	268
	Literaturverzeichnis	279

Abbildungsverzeichnis

Bild 1-1	Systematik der Leistungsverlustermittlung	7
Bild 3-1	Einflussbereiche auf die Leistung nach Hofstadler	13
Bild 3-2	Einflussbereiche auf den Aufwandswert nach Hofstadler	14
Bild 3-3	Belastungs- und Beanspruchungskonzept	19
Bild 3-4	Mechanisches Ersatzmodell zum Belastungs-Beanspruchungs- Konzept	19
Bild 3-5	Die Phasen der Energiebereitstellung	22
Bild 3-6	Unterteilung in leichte, mittelschwere, schwere und schwerste Arbeit anhand des täglichen Arbeitsenergieumsatzes	35
Bild 3-7	Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen	37
Bild 3-8	Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur	38
Bild 3-9	Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit	38
Bild 3-10	Darstellung der Messwerte und der Trendlinie für den Aufwandswert (A_w) Maurerarbeiten	40
Bild 3-11	Darstellung der Messwerte und der Trendlinie für den Aufwandswert ($A_{w_{ges}}$) Maurerarbeiten	40
Bild 3-12	Prozentuale Abweichung des Aufwandswertes ($A_{w_{ges}}$) für Mauerwerk vom durchschnittlichen Aufwandswert	41
Bild 3-13	Gliederung des Arbeitsablaufs	43
Bild 4-1	Arbeitsleistungskurve nach Lehmann	51
Bild 4-2	Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt	53
Bild 4-3	Von Winter überarbeitete Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt	54
Bild 4-4	Idealisierte Leistungskurve nach Winter	54
Bild 4-5	Standardisierte Tageskurve nach Hildebrandt	60
Bild 4-6	Leistungsverlust in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit nach Hager	62
Bild 4-7	Vergleich der Literaturansätze zum Leistungsverlust bei längerer Arbeitszeit	63
Bild 4-8	Veränderung der benötigten Arbeitszeit je Ladespiel im Verlauf eines Arbeitstages	65
Bild 4-9	Anzahl der Ladespiele je Arbeitsstunde	66
Bild 4-10	Veränderung der Tätigkeiten in den einzelnen Stunden eines Arbeitstages mit 15 Stunden Bruttoarbeitszeit	67
Bild 4-11	Produktivitätsverhältnis im Verlauf des Arbeitstages für Typ C	68
Bild 4-12	Vergleich der Produktionsverhältnisse im Verlauf des Arbeitstages bei Typ „A“ und Typ „B“	69
Bild 4-13	Graphische Darstellung des Produktionsverhältnisses im Verlauf des Arbeitstages	70
Bild 4-14	Vergleich der verschiedenen Produktionsverhältnisse im Verlauf eines Arbeitstages	71
Bild 4-15	Darstellung der möglichen Untersuchungsbereiche	73
Bild 4-16	Systematik der Leistungsverlustermittlung	74

Bild 4-17	Systematik der Leistungsverlustermittlung mit der detaillierten Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box	77
Bild 5-1	Übersicht des Untersuchungsdesigns	85
Bild 5-2	Herzfrequenz , O ₂ -Aufnahme, CO ₂ -Abgabe, Laktat und Atemminutenvolumen während der spiroergometrischen Belastung.....	88
Bild 5-3	Ausschnitt eines leeren Datenerhebungsbogens	90
Bild 5-4	Ausgefüllter Datenerhebungsbogen auf einer Baustelle für den Zeitraum Stunde 1 bis 5	92
Bild 5-5	Ausschnitt eines EDV-bearbeiteten Datenerhebungsbogens	92
Bild 5-6	Beispiel für ein Untersuchungsprotokoll (Seite 1) mit Markierungen von ausgewählten Daten.....	94
Bild 5-7	Ausschnitt des Untersuchungsprotokolls (Seite 2) mit Markierungen von ausgewählten Daten	95
Bild 6-1	Häufigkeitsverteilung des Alter der BauarbeiterInnen der Untersuchung und in Österreich (gesamt).....	105
Bild 6-2	Boxplot-Darstellung des Gewichts der Probanden [kg]	106
Bild 6-3	Boxplot-Darstellung des BMI der Probanden [kg/m ²] sowie der BMI Schwellenwerte	107
Bild 6-4	Verteilung der untersuchten Bauarbeiter in den BMI-Klassen	107
Bild 6-5	Varianz ε für einzelne Tätigkeiten in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p).....	113
Bild 6-6	Varianz ε für einzelne Tätigkeiten des Maurers im mehrgeschossigen Wohnbau in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p).....	114
Bild 6-7	Varianz ε für die Verteilung der Tätigkeiten eines Arbeitstages in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p).....	115
Bild 6-8	Auswertungsdiagramm für Alter und Gewicht	120
Bild 6-9	Auswertungsdiagramm für Alter und BMI	121
Bild 6-10	Auswertungsdiagramm für Alter und HF _{max}	121
Bild 6-11	Auswertungsdiagramm für Alter und HF _{LTP1}	122
Bild 6-12	Auswertungsdiagramm für Alter und HF _{LTP2}	122
Bild 6-13	Auswertungsdiagramm für Alter und P _{max} ergänzt um P _{max,calc}	123
Bild 6-14	Auswertungsdiagramm für P _{max} und HF _{max} mit Darstellung der Altersgruppen	124
Bild 6-15	Auswertungsdiagramm für P _{max} und HF _{LTP1} mit Darstellung der Altersgruppen	125
Bild 6-16	Auswertungsdiagramm für VO _{2 max} und HF _{max}	126
Bild 6-17	Auswertungsdiagramm HF _{max} und HF _{LTP1}	126
Bild 6-18	Auswertungsdiagramm HF _{max} und %HF _{LTP1/max}	127
Bild 6-19	Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters (TU 1).....	130
Bild 6-20	Mittelwert der Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803).....	130
Bild 6-21	Verteilung der zweiten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag eines Bauarbeiters (TU 2).....	131
Bild 6-22	Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803)	133

Bild 6-23	Verteilung der Tätigkeitskategorien in den einzelnen Arbeitsstunden	138
Bild 6-24	Anteile der Unterkategorien an der Kategorie "Tätigkeit" in der jeweiligen Arbeitsstunde	139
Bild 6-25	Bauarbeiter TU25 - Herzfrequenzwerte eines Arbeitstages	144
Bild 6-26	Herzfrequenzwerte für TU25 - Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Arbeitstage	145
Bild 6-27	Verteilung von $\%HF_{\max,AT}$ in Abhängigkeit von P_{\max}	147
Bild 6-28	Ausschnitt Datenerhebungsbogen mit eingetragenen Herzfrequenzwerten	148
Bild 6-29	Mittlere Herzfrequenz (HF_{Mittel}) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Arbeitsstunden aller beobachteten Bauarbeiter für die Tätigkeitsgruppe "Mauern"	150
Bild 6-30	$\%HF_{\max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C	152
Bild 6-31	$\%HF_{\max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D	152
Bild 6-32	Mess- und Rechenwerte des Energieumsatzes (EU) in Abhängigkeit der Herzfrequenz - Bauarbeiter TU 1	159
Bild 6-33	Verlauf von $\%HF_{\max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	160
Bild 6-34	Mittelwert und Standardabweichung für $\% HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“	169
Bild 6-35	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 14 in der jeweiligen Arbeitsstunde	170
Bild 6-36	Zusammenhang zwischen Alter und der "aerobic capacity" nach Åstrand	171
Bild 6-37	Beanspruchungskennwerte der einzelnen Arbeitsstunden für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“	172
Bild 6-38	Beanspruchungskennwerte für die einzelnen Arbeitsstunden aller Beobachtungen	173
Bild 6-39	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 15	174
Bild 6-40	Boxplot der modifizierten aufgezeichneten Beobachtungsdaten für Aufwands- und Leistungswerte	177
Bild 6-41	Verlauf des Leistungswertes im Verlauf des Arbeitstages	177
Bild 6-42	Vergleich der Literatur-Aufwandswerte mit den Brutto-Aufwandswerten der Datenauswertung	179
Bild 7-1	Systematik der Leistungsverlustermittlung	184
Bild 7-2	Streuungsdiagramm Messwerte und berechnete Werte aus Gleichung (7.1)	191
Bild 7-3	Streuungsdiagramm Messwerte und berechnete Werte aus Tabelle 7-5	193
Bild 7-4	Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte aus der einfachen Regression	194
Bild 7-5	Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte	196

Bild 7-6	Ausschnitt Tätigkeitsverteilung in den einzelnen Arbeitsstunden im Intervall von fünf Minuten	203
Bild 7-7	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung – Darstellungsweise nach Lehmann.....	208
Bild 7-8	Detailausschnitt aus Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung	208
Bild 8-1	Berücksichtigte Einflussfaktoren auf die Leistung	210
Bild 9-1	Verteilung der Erholungszeiten im Mauerwerksbau (N=45)	217
Bild 9-2	Auswertungsdiagramm für HF_{max} und HF_{LTP1} der untersuchten Studien	226
Bild 9-3	Auswertungsdiagramm für HF_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$ der untersuchten Studien	226
Bild 9-4	Auswertungsdiagramm für P_{max} und HF_{LTP1} der untersuchten Studien	226
Bild 9-5	Auswertungsdiagramm für P_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$ der untersuchten Studien	227
Bild 9-6	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 1	229
Bild 9-7	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 2	229
Bild 9-8	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 3	229
Bild 9-9	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 4	230
Bild 9-10	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 7	230
Bild 9-11	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 8	230
Bild 9-12	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 9	231
Bild 9-13	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 10	231
Bild 9-14	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 11	231
Bild 9-15	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 12	232
Bild 9-16	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 13	232
Bild 9-17	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 14	232
Bild 9-18	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 15	233
Bild 9-19	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 16	233
Bild 9-20	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 17	233
Bild 9-21	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 18	234

Bild 9-22	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 19	234
Bild 9-23	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 20	234
Bild 9-24	Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 21	235
Bild 9-25	Vorbelastungsbereiche und Datenumfang	236
Bild 9-26	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur	236
Bild 9-27	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET	236
Bild 9-28	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich A	237
Bild 9-29	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich B	237
Bild 9-30	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C	237
Bild 9-31	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D	238
Bild 9-32	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich E	238
Bild 9-33	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich F	238
Bild 9-34	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich G	239
Bild 9-35	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich A	240
Bild 9-36	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich B	240
Bild 9-37	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich C	240
Bild 9-38	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich D	241
Bild 9-39	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich E	241
Bild 9-40	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich F	241
Bild 9-41	$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich G	242
Bild 9-42	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	243
Bild 9-43	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Schalen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	243
Bild 9-44	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Betonieren“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	243
Bild 9-45	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	244
Bild 9-46	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten Schalen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	244
Bild 9-47	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten allgemein“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	244
Bild 9-48	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Herrichten“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	245
Bild 9-49	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Aufräumen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	245

Bild 9-50	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Besprechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	245
Bild 9-51	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Zusätzliche Tätigkeiten“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	246
Bild 9-52	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Ablaufbedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	246
Bild 9-53	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Störungsbedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	246
Bild 9-54	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Pause“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	247
Bild 9-55	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Eigene Pause“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	247
Bild 9-56	Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Persönlich bedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung	247
Bild 9-57	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" über alle Facharbeit (TU 3, TU 4, TU 7, TU 8, TU 9, TU 10, TU 14, TU 15) in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=1000)	248
Bild 9-58	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 4 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=51)	248
Bild 9-59	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 7 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=19)	249
Bild 9-60	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 8 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=38)	249
Bild 9-61	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 9 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=20)	250
Bild 9-62	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 10 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=169)	250
Bild 9-63	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 14 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=466)	251
Bild 9-64	Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 1 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=235)	251
Bild 9-65	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 3	252
Bild 9-66	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 4	252
Bild 9-67	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 7	253
Bild 9-68	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 8	253

Bild 9-69	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 9	254
Bild 9-70	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 14	254
Bild 9-71	Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 15	255
Bild 9-72	Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 1 und 2	264
Bild 9-73	Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 3 und 4	264
Bild 9-74	Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 5 und 6	264
Bild 9-75	Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 7 und 8	265
Bild 9-76	Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 9 und 10	265
Bild 9-77	Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 10h auf der Baustelle	266
Bild 9-78	Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 11h auf der Baustelle	266
Bild 9-79	Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 12h auf der Baustelle	267
Bild 9-80	Vergleich der Herzfrequenzermittlung bei stündlicher und fünfminütiger Betrachtungsweise	267
Bild 9-81	Beispiel eines Boxplots	271
Bild 9-82	Nomogramm zur Ermittlung der Normal-Effektiv-Temperatur in [°C]	276

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1	Studien mit Bestimmung von HF_{max} , HF_{LTP1} und P_{max}	26
Tabelle 3-2	Maximaler mittlerer Arbeitsenergieumsatz	33
Tabelle 3-3	Einteilung der Arbeitsschwere	34
Tabelle 3-4	Ablaufgliederung nach REFA	48
Tabelle 3-5	Einteilung der Vorgänge des Arbeitsablaufs nach Schlagbauer	49
Tabelle 4-1	Schema zum Aufbau der menschlichen Leistung	59
Tabelle 4-2	Tageszeitliche Schwankungen der physiologischen Leistungsbereitschaft	61
Tabelle 6-1	Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter	103
Tabelle 6-2	Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter	104
Tabelle 6-3	Altersverteilung aller Bauarbeiter in Österreich	105
Tabelle 6-4	Übersicht der untersuchten Baustellen	108
Tabelle 6-5	Übersicht untersuchter Baustellen mit Mauerwerksarbeiten	109
Tabelle 6-6	Varianzen ε der Ergebnisse für die Kategorien Tätigkeit und Unterbrechung	111
Tabelle 6-7	Varianzen ε der Ergebnisse für die Unterkategorien	112
Tabelle 6-8	Varianzen ε der Ergebnisse der Leistungswerte (N = 59)	116
Tabelle 6-9	Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter	117
Tabelle 6-10	Abweichung und Varianzangaben für die Körperkennwerte	118
Tabelle 6-11	Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag eines Bauarbeiters (TU 1)	129
Tabelle 6-12	Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag aller beobachteten Bauarbeiter einer Partie (TU1, TU 2, TU 22)	129
Tabelle 6-13	Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters (TU 1)	129
Tabelle 6-14	Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter	130
Tabelle 6-15	Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters	132
Tabelle 6-16	Verteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter	132
Tabelle 6-17	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung aller erhobenen Daten	134
Tabelle 6-18	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285)	134
Tabelle 6-19	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierten Datensätzen (N=6.285)	135
Tabelle 6-20	Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierter Datensätze („Nicht erkennbar < 20 % des Beobachtungstages) (N=4.956)	135
Tabelle 6-21	Häufigkeit der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau (N=4.113)	137

Tabelle 6-22	Verteilung der Tätigkeitsunterkategorien in den einzelnen Arbeitsstunden	139
Tabelle 6-23	Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden	140
Tabelle 6-24	Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden mit Zusammenlegung der 10 ^{ten} und 11 ^{ten} Stunde	141
Tabelle 6-25	Herzfrequenztafel Bauarbeiter TU25– Ausschnitt.....	142
Tabelle 6-26	Bearbeitete Herzfrequenztafel Bauarbeiter TU25 – Ausschnitt	143
Tabelle 6-27	Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 1 - TU 12) an allen Beobachtungstagen	146
Tabelle 6-28	Maximale, mittlere und minimale Herzfrequenz der Bauarbeiter (TU 13 - TU 21) an allen Beobachtungstagen	146
Tabelle 6-29	Mittlere Herzfrequenz (HF_{mittel}) und Standardabweichung (SD)	146
Tabelle 6-30	Durchschnittliche Herzfrequenz der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau	149
Tabelle 6-31	Vorbelastungsbereiche für die Untersuchung des Temperatureinflusses	151
Tabelle 6-32	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p -Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen $\%HF_{\text{max}}$ und Temperatur	151
Tabelle 6-33	Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p -Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen $\%HF_{\text{max}}$ und NET.....	153
Tabelle 6-34	Ergebnisse der Spiroergometrie für alle untersuchten Bauarbeiter ..	155
Tabelle 6-35	Daten der Spiroergometrie für TU1	157
Tabelle 6-36	Mess- und Rechenwerte für Sauerstoffaufnahme und Energieumsatz in Abhängigkeit von der Herzfrequenz für TU1.....	158
Tabelle 6-37	Anzahl (N), Korrelationskoeffizient (r) und Signifikanzniveau (p -Wert) für die Datenreihen $\%HF_{\text{max}}$ und Vorbelastungsherzfrequenz.....	161
Tabelle 6-38	Anzahl (N), Korrelationsgrad (r) und Signifikanzniveau (p -Wert) für die Datenreihen $\%HF_{\text{LTP1}}$ und Vorbelastungsherzfrequenz.....	162
Tabelle 6-39	Faktoren der Regressionsgleichung für Gleichung (6.31)	163
Tabelle 6-40	Mittlere relative Herzfrequenzwerte zu HF_{max} der Tätigkeitskategorien ohne Zusammenhang zur Vorbelastungsherzfrequenz.....	163
Tabelle 6-41	Kombinationen der multiplen Regressionsanalyse	164
Tabelle 6-42	Anzahl (N), Korrelationsgrad (r) und Signifikanzniveau (p -Wert) für die Datenreihe $\%HF_{\text{max}}$ in Verbindung mit der jeweiligen Eingangsparameterkombination	165
Tabelle 6-43	Konstanten und Faktoren zur Berechnung der relativen Herzfrequenz der Tätigkeiten mit Hilfe von Gleichung (6.32).....	166
Tabelle 6-44	„aerobic capacity“ der einzelnen Bauarbeiter	170
Tabelle 6-45	Vergleich des Arbeitsenergieumsatzes am Ende des Arbeitstages mit dem Grenzwert eines Tages (6,4 kcal/min), einer Woche (5,5 kcal/min) und eines Monats (5,1 (kcal/min)	175
Tabelle 6-46	Auswertung der aufgezeichneten Beobachtungsdaten für Aufwands- und Leistungswerte ohne Ausreißer	176
Tabelle 6-47	Literaturquellen und Angaben zu Aufwandswerten für volles Mauerwerk und Mauerwerk mit Öffnungen bei Kraneinsatz.....	178

Tabelle 6-48	Brutto- und Nettoaufwandswerte der auswertbaren Datenreihen (N=55) für die Bruttoarbeitszeit.....	181
Tabelle 7-1	Faktoren der Gleichung (7.5).....	187
Tabelle 7-2	Relative Herzfrequenzmittelwerte zu HF_{max} der Tätigkeitskategorien ohne signifikanten Zusammenhang zur Vorbelastungsherzfrequenz	187
Tabelle 7-3	Faktoren und Konstante für Gleichung (7.6).....	188
Tabelle 7-4	Bestimmung der maximalen Herzfrequenz infolge des Alters	190
Tabelle 7-5	Berechnung der HF_{LTP1} aus $HF_{max}(\text{Alter})$ und $P_{max}(\text{KO, Alter})$	192
Tabelle 7-6	Mittelwerte ($HF_{Mittel, Tätigkeit}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenzmittelwerte der Tätigkeitsgruppen der einfachen Regression	195
Tabelle 7-7	Mittelwerte ($HF_{Mittel, Tätigkeit}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenzmittelwerte der Tätigkeitsgruppen der multiplen Regression	197
Tabelle 7-8	Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme	200
Tabelle 7-9	Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde - erste Annahme	200
Tabelle 7-10	Tätigkeitsverteilung in Minuten der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen	201
Tabelle 7-11	Tätigkeitsverteilung in Prozent der jeweiligen Arbeitsstunde – mit Korrekturen	202
Tabelle 7-12	Endgültige Verteilung der Tätigkeitsgruppen	203
Tabelle 7-13	Zeiten [min] und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages	204
Tabelle 7-14	Zeiten und Anteile der einzelnen Tätigkeitsgruppen des Arbeitstages	205
Tabelle 7-15	Vergleich der Tagesarbeitsleistung	206
Tabelle 7-16	Leistungsverlustermittlung nach Lehmann	207
Tabelle 7-17	Leistungsverlustermittlung nach Winter	207
Tabelle 7-18	Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung	207
Tabelle 9-1	Energieumsatz bei Sportaktivitäten	225
Tabelle 9-2	Ergebnisse der multiplen Regression für HF_{max} , P_{max} und HF_{LTP1}	227
Tabelle 9-3	Ergebnisse der multiplen Regression für HF_{max} , P_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$	227
Tabelle 9-4	Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter	228
Tabelle 9-5	Datentabelle für die Bestimmung der Netto-Aufwandswerte (Teil 1)	256
Tabelle 9-6	Datentabelle für die Bestimmung der Netto-Aufwandswerte (Teil 2)	257
Tabelle 9-7	Mittelwerte ($HF_{Mittel, AT}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 1)	258
Tabelle 9-8	Mittelwerte ($HF_{Mittel, AT}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 2)	259

Tabelle 9-9 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 3) 260

Tabelle 9-10 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 1) 261

Tabelle 9-11 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 2) 262

Tabelle 9-12 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 3) 263

Abkürzungsverzeichnis

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

FA	Facharbeiter
GU	Grundumsatz
HF	Herzfrequenz
HF _{LTP1}	Herzfrequenz am "first lactate turnpoint"
HF _{LTP2}	Herzfrequenz am "second lactate turnpoint"
HF _{max}	maximale Herzfrequenz
HF _{mittel}	mittlere Herzfrequenz
HF _{rest}	Ruheherzfrequenz
HF _{vorb}	Vorbelastungsherzfrequenz
Hrsg.	Herausgeber
HT	Haupttätigkeit
LA	(Blut-)Laktat
L _{AT,9Std}	Tagesleistung eines Bauarbeiters bei neun Stunden Nettoarbeitszeit
LTP ₁	first lactate turnpoint
LTP ₂	second lactate turnpoint
max AEU	maximaler Arbeitsenergieumsatz
MMA	Multimomentaufnahme
MW	Mittelwert
N	Stichprobengröße
NET	Normal-Effektiv-Temperatur
NT	Nebentätigkeit
P	Leistung
p	prozentualer Anteilswert an der Grundgesamtheit
p-Wert	Signifikanzwert
PALT	physical activity during leisure
PA-R	current physical activity level
PFA	perceived functional ability to walk, jog or run given distances
P _{max}	maximale Leistung
r	Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient
REFA	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
RQ	Respiratorischer Quotient
SD	Standardabweichung
$\hat{\sigma}$	Standardabweichung
$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$	Standardfehler
SE	Spiroergometrie
SRE	self-report level of aerobic exercise
t	der aus der zentralen Wahrscheinlichkeit der Standardnormalverteilung berechnete Wert der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit (t = 1,64 für 90 %, t = 1,96 für 95 % und t = 2,575 für 99 % Eintrittswahrscheinlichkeit)
T _{Arbeit}	tägliche Arbeitszeit

T_{Mauern}	Arbeitszeit für Mauerwerksarbeiten
TWC	gefühlte Temperatur
$\dot{V}\text{CO}_2$	Kohlendioxidabgabe
$\dot{V}\text{E}$	Ventilation = Atemminutenvolumen
$\dot{V}\text{CO}_2$	Sauerstoffaufnahme
$\dot{V}\text{CO}_{2,\text{max}}$	maximale Sauerstoffaufnahme
W	Gewicht
\bar{x}	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 Bauherren 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.¹

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

¹ 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.

von Vygen/Schubert/Lang² dargestellte Verfahren, wobei dieses die Leistungskurve von Winter³ als Grundlage für die Berechnungen ansetzt. Eine weitere Leistungskurve, die alternativ zu Winter verwendet werden kann, findet sich bei Lehmann⁴.

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.⁵

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 Burkhardt⁶ 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“⁷ 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.

Im Rahmen der durchgeführten Analyse der Grundlagen der existierenden Arbeitsleistungskurven wurden keine weitergehenden Erklärungen zu der jeweiligen Datenbasis sowie zur Erhebungsmethodik gefunden. Wesentlicher Anlass zur Überarbeitung der bestehenden Arbeitsleistungskurven war der Umstand, dass sich die Situation des Arbeitsplatzes „Baustelle“ in den vergangenen 50 Jahren signifikant verändert hat.⁸

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

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

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

⁴ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

⁵ 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.

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

⁷ 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.

⁸ 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.⁹

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 Maschinisierungsgrad der Baustellen niederschlagen, hat auch der Bereich der Sicherheitstechnik entscheidende Weiterentwicklungen erfahren. Aus den mittlerweile standardisierten arbeitsschutztechnischen und gesetzlichen Maßnahmen ist hier besonders die Einführung von bestimmten maximalen Einzelstückgewichten (z.B. Ziegelsteingewicht, Zementsackgewicht¹⁰) für die manuelle Handhabung hervorzuheben.¹¹

Diese Auflistung verdeutlicht die gravierenden Veränderungen im Arbeitsumfeld des Bauarbeiters. Gerade daher ist die in der heutigen Praxis vorgenommen 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, (...).“¹²

⁹ 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.

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

¹¹ §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.

¹² 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-Aufnahmeverfahren¹³ 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 mehrdimensionalen¹⁴ 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

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

¹⁴ 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 werden.

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 soll eine von den geleisteten Tätigkeiten abhängige Leistungskurve sein, 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, kommen 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.¹⁵

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

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

¹⁵ 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, 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?

Um diese Fragen zu beantworten, wurde ein Untersuchungsdesign entwickelt, welches auf die oben dargestellten Fragen in mehreren Stufen eingeht.

Hierzu werden die Tätigkeiten eines Bauarbeiters auf mehreren Baustellen mittels Arbeitsablaufbeobachtungen aufgenommen sowie eine durchschnittliche Verteilung der Tätigkeiten ermittelt. Die Ergebnisse der Beobachtungen dieser Bauarbeiter stellt die Datengrundlage für die Beispielauswertung 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 konnte überdies die Veränderung des Leistungs-Outputs festgehalten und in Relation zur geleisteten Arbeit bzw. zur körperlichen Beanspruchung - ausgedrückt durch relative Herzfrequenzwerte - gesetzt werden.

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. Anschließend erfolgt die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs mit der erzielten Leistung. Ergänzend wird für diesen Einflussfaktor auf die weiterführende Literatur zurückgegriffen.

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

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 erheben. 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 berücksichtigt. 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.

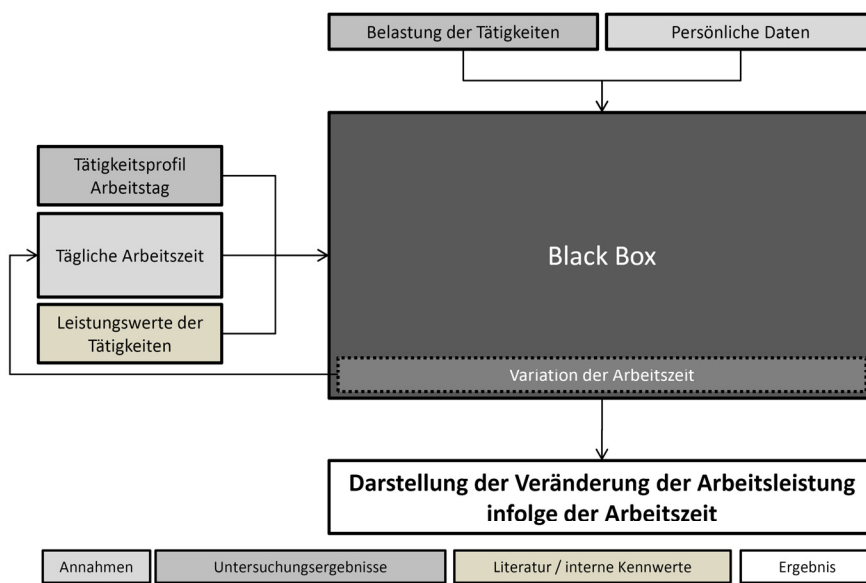


Bild 1-1 Systematik der Leistungsverlustermittlung¹⁶

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).

¹⁶ 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 Definitionen

In diesem Kapitel werden die für die vorliegende Arbeit 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.

2.1 Arbeit

Schon beim Begriff „Arbeit“ zeigt sich, wie unterschiedlich dieser Begriff in den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen verwendet wird und wie leicht daher Missverständnisse in der wissenschaftlichen Diskussion auftreten können.

Im Brockhaus findet sich zum Begriff „Arbeit“ folgende Definition:

Arbeit [*mittelhochdeutsch ar(e)beit, althochdeutsch ar(a)beit* »schwere körperliche Anstrengung«, »Mühsal«, »Plage«], der bewusste und zweckgerichtete Einsatz der körperlichen, geistigen und seelischen Kräfte des Menschen zur Befriedigung seiner materiellen und ideellen Bedürfnisse.¹⁷

Arbeit im Sinne von körperlicher Anstrengung

Weiters finden sich in der gleichen Fundstelle noch weitere Aspekte zum Begriff „Arbeit“:

„Wirtschaftliche Aspekte In der Volkswirtschaftslehre wird die Arbeit neben dem Boden und dem Kapital als grundlegender Produktionsfaktor betrachtet. (...) Die Betriebswirtschaftslehre sieht unter produktionsorganisatorischen Gesichtspunkten die menschliche Arbeit, die Betriebsmittel und die Werkstoffe als die Elementarfaktoren der betrieblichen Leistungserstellung (Produktion) an. (...)

Arbeit im Sinne eines Produktionsfaktors

Arbeit als Gegenstand der Berufs-, Betriebs- und Industriosozologie Die soziologische Betrachtungsweise der Arbeit geht auf K. Marx und M. Weber zurück und verbindet sowohl philosophische und ökonomische als auch soziokulturelle Aspekte.(...)¹⁸

Arbeit als Gegenstand der Soziologie

Neben diesen Definitionen als (körperliche) Tätigkeit und im volkswirtschaftlichen sowie sozialwissenschaftlichen Verständnis verbindet ein Techniker zumeist die physikalische Bedeutung mit dem Begriff der Arbeit. Diese Definition lautet:

¹⁷ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit“, <http://www.brockhaus-enzyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58

¹⁸ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit“, <http://www.brockhaus-enzyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58

„**Arbeit**, Physik: Formelzeichen W [von englisch work »Arbeit«], früher auch A , in der Mechanik definiert als das Produkt aus dem Betrag F der an einem Körper angreifenden Kraft F und dem unter deren Einwirkung zurückgelegten Weg s , wenn Kraft und Weg in ihrer Richtung übereinstimmen. Allgemeiner ist die **mechanische Arbeit** definiert als das Skalarprodukt von Kraftvektor F und Wegvektor s :

$$W = F * s = F * s * \cos \alpha^{19}$$

Rohmert²⁰ erweitert den Begriff „Arbeit“ um den arbeitsphysiologischen Aspekt:

„Um historisch zu verstehen, was unter Arbeit in der Arbeitsphysiologie verstanden wurde, liest man zweckmäßigerweise bei dem Gründer einer Stätte der Forschung für die Arbeitsphysiologie nach, nämlich bei MAX RUBNER (...):

‘Unter Arbeitsleistung versteht man gemeinhin nur die Leistung des Menschen als Arbeitsmaschine. Unsere Kulturentwicklung lässt aber diese Form menschlicher Tätigkeiten mehr und mehr zurücktreten, sie hat dafür andere Arbeitsformen geschaffen, bei deren Ausführung es mehr auf den Intellekt als auf die mechanische Kraft ankommt, jene tausendfältigen Arbeitsformen, bei denen durch die Überwachung von Maschinen, bei der Ausführung von Kleinarbeit infolge von Arbeitsteilung die Aufmerksamkeit, Geschicklichkeit, Gewissenhaftigkeit und Dauer der Leistung das Entscheidende ist.’²¹ “

In Kenntnis der unterschiedlichen Begriffsdefinitionen der „Arbeit“ wird in Anlehnung an Rohmert und Rubner 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.

Arbeit als physikalischer Begriff

Arbeit im Sinne der Arbeitsphysiologischen Betrachtung

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

2.2 Definition des Leistungsbegriffes

Ebenso wie für den Begriff „Arbeit“ finden sich auch für den Begriff „Leistung“ unterschiedliche Definitionen.

Im Brockhaus ist als Definition des Begriffs „Leistung“ Folgendes zu finden:

„**Leistung, 1)** allgemein: Grad einer körperlichen oder psychischen Beanspruchung sowie auch deren Ergebnis.

Leistung als Grad einer Beanspruchung oder deren Ergebnis

¹⁹ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit, Physik“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 15:58

²⁰ Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983.

²¹ 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.

2) Betriebswirtschaftslehre: **betriebliche Leistung**, Ausbringung oder Ergebnis des betrieblichen Produktionsprozesses innerhalb eines bestimmten Zeitraums (Periodenleistung) in Form von Sachgütern oder erbrachten Dienstleistungen. Die Leistungen werden in Mengeneinheiten (Leistungseinheiten) oder in Werteinheiten angegeben. (...)

Leistung als Ergebnis des Produktionsprozesses

3) Physik: Formelzeichen P , als physikalische Größe der Quotient aus der in einer Zeitspanne Δt verrichteten Arbeit beziehungsweise aufgenommenen oder abgegebenen Energie ΔW und dieser Zeitspanne: $P = \Delta W / \Delta t$ (...). Da die Arbeit, die eine Kraft F längs eines Weges ds verrichtet, durch $dW = F \cdot ds$ gegeben ist, lässt sich die **mechanische Leistung** auch in der Form $P = F \cdot ds/dt = F \cdot v$ angeben, (...).

Leistung als physikalische Größe

Die **elektrische Leistung** eines bei der Spannung U fließenden elektrischen Gleichstroms der Stromstärke I beträgt (R elektrischer Widerstand): $P = UI = RI^2 = U^2/R$. (...)

4) Psychologie: körperliche oder psychische Betätigung innerhalb eines bestimmten Erwartungshorizontes (Performance) oder deren Ergebnis, das in speziellen Leistungstests erfasst und beurteilt werden kann. Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft sind entwicklungsabhängig und variieren je nach Individuum und Zuständigkeit (Competence).

Leistung im Kontext der Psychologie

5) Recht: im Schuldrecht der Gegenstand einer Schuldverpflichtung (Leistungspflichten); ein Schuldverhältnis erlischt, wenn die geschuldete Leistung ordnungsgemäß erbracht wird (§ 362 BGB; Erfüllung). Bei der ungerechtfertigten Bereicherung heißt Leistung jede auf bewusste und zweckgerichtete Vermehrung des Vermögens gerichtete Zuwendung.²²

Leistung im juristischen Kontext

Zusätzlich finden sich Begriffserklärungen aus weiteren Wissenschaftsbereichen, wobei für diese Arbeit die Leistung im Bereich Sport wesentlich ist, welche von Röthig²³ folgendermaßen definiert wird:

„Leistung ist die allgemeine Bezeichnung von Handlungen im Sport. Die Leistung wird qualitativ oder quantitativ erfaßt und mit Hilfe von Normen bewertet. (...) Leistung ist abhängig von Kondition, Technik, Leistungsmotivation, taktischem Denken, situativen Umständen und insbesondere der optimalen Beziehungen dieser Faktoren zueinander.“²⁴

Leistung als Begriff aus dem Bereich Sport

²² Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Leistung“, <http://www.brockhaus-enzyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 16:02

²³ Röthig, P.: Sportwissenschaftliches Lexikon, Hofmann, Schorndorf bei Stuttgart 1972.

²⁴ Röthig, P.: a.a.O., S. 142f.

Ergänzend dazu führt Kogler Folgendes aus:

„In einigen Sportarten, beispielsweise im Rudern, besonders aber im Radsport, korreliert die vom Sportler zu erbringende, physiologische Leistung (Energieumsatz pro Zeiteinheit) besonders eng mit der effektiv messbaren physikalischen Leistung. Infolgedessen sind in den letzten Jahrzehnten zahlreiche Leistungstests und Verfahren der Leistungsdiagnostik entwickelt worden, die in erster Linie auf Fahrradergometern bzw. der Rolle, aber auch auf Laufbändern durchgeführt werden. Die hier erbrachte physikalische Leistung wird dabei ins Verhältnis zu verschiedenen anderen Parametern wie Sauerstoff-Aufnahme, Herzfrequenz, Atem-Volumen, gepumptes Blutvolumen/Zeiteinheit, Laktat-Konzentration usw. gesetzt. Von der Leistungsdiagnostik ausgehend werden umfangreiche Anregungen zur Trainingsgestaltung entwickelt.

Demgegenüber wird von kritischen Vertretern der Trainingslehre und Sportwissenschaft eingewandt, dass es hierbei zu einer Überbetonung der physikalischen Aspekte der Leistungserbringung kommt. Während im weiteren Sinne leistungsbestimmende Faktoren wie Erholungsfähigkeit, Laktatabbau und dergleichen durchaus einbezogen werden können, werden wesentliche Aspekte wie Willenskraft, ‚Tagesform‘ usw. nicht berücksichtigt.“²⁵

Neben dem Begriff der Leistung findet sich aber auch der Begriff der Arbeitsleistung, welcher im Brockhaus folgendermaßen definiert wird:

„Die Arbeitsleistung im Sinne des objektiven Arbeitsergebnisses ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Zu den subjektbezogenen Determinanten zählen Leistungsfähigkeit (körperliche Verfassung, Wissen, Können, Erfahrung) und Leistungsbereitschaft (Wille, Disposition, Verhalten), zu den objektiven Determinanten Arbeitsobjekt, -mittel, -raum, -zeit und -rhythmus. Für den Vollzug der Arbeit kommt es darauf an, die subjektbezogenen und objektiven Einflussgrößen optimal zu gestalten beziehungsweise zu beeinflussen und aufeinander abzustimmen (...)“²⁶

In der vorliegenden Arbeit wird in weiterer Folge der Begriff **„Leistung“ synonym** mit dem Begriff **„Arbeitsleistung“** verwendet, wobei dieser Begriff entsprechend der Definition der Leistung von Brockhaus als „betriebliche Leistung“ betrachtet wird. Somit stellt die (Arbeits-)Leistung das Ergebnis der Arbeitstätigkeit je Zeiteinheit (Einheit z.B.: #Ziegel/h, m²_{Mauerwerk}/Arbeitstag) dar.

(Arbeits-)Leistung = Ergebnis der Arbeitstätigkeit je Zeiteinheit

²⁵ Kogler A.: Die Kunst der Höchstleistung; Sportpsychologie, Coaching, Selbstmanagement, Springer, Wien 2006.

²⁶ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Arbeit“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58

3 Grundlagen

Als notwendige Einführung in diese fächerübergreifende Arbeit erfolgt die Erklärung der erforderlichen Grundlagen aus den einzelnen Fachbereichen Bauingenieurwesen, Sportwissenschaften und Medizin. Ergänzt werden diese um die Grundlagen der Arbeitsablaufbeobachtung aus dem Bereich der Arbeitswissenschaften.

Abschließend erfolgen die Darstellung der bestehenden Arbeitsleistungskurven, welche im Bauwesen derzeit angewendet werden und die Erklärung der Systematik zur tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustbeurteilung.

3.1 Grundlagen der Mauerwerksarbeiten aus baubetrieblicher Sicht

Zur Beschreibung des Prozesses der Mauerwerksarbeiten ist es im Kontext der vorliegenden Arbeit erforderlich, die Einflussgrößen auf die Arbeitsleistung und den Arbeitsablauf zu untersuchen.

3.1.1 Einflüsse auf die Arbeitsleistung aus baubetrieblicher Sicht

Um die tatsächlich realisierbare Arbeitsleistung zu bewerten, ist eine große Anzahl von Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Ergänzend zu den persönlichen und arbeitsbedingten Einflüssen sind die jeweiligen Arbeitsbedingungen zu dokumentieren.²⁷

„Unter Arbeitsbedingungen und Einflussgrößen versteht man alle technischen, wirtschaftlichen, organisatorischen und sozialen Gegebenheiten, die einen Einfluss auf den Arbeitsablauf haben.“²⁸

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

Arbeitsbedingungen sind für das aufgezeichnete Arbeitsverfahren konstant, die Einflussgrößen sind variabel.²⁹

Hofstadler³⁰ gibt mit dem nachfolgend dargestellten Bild 3-1 einen Überblick über die wesentlichen, die Leistung beeinflussenden Bereiche, welche auch bei der Datenerhebung im Rahmen der Baustellenbeobach-

²⁷ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 13ff.

²⁸ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 17.

²⁹ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 3 Arbeitsgestaltung, Carl-Hanser, München 1984, S. 18.

³⁰ Hofstadler, C.: Bauablaufplanung - Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten, in: Baumarkt und Bauwirtschaft Heft 01, 2005, S.55.

tung Berücksichtigung finden. Eine weitere Aufzählung von Einflüssen findet sich bei Car³¹, wenn auch diese nicht so detailliert dargestellt wird.

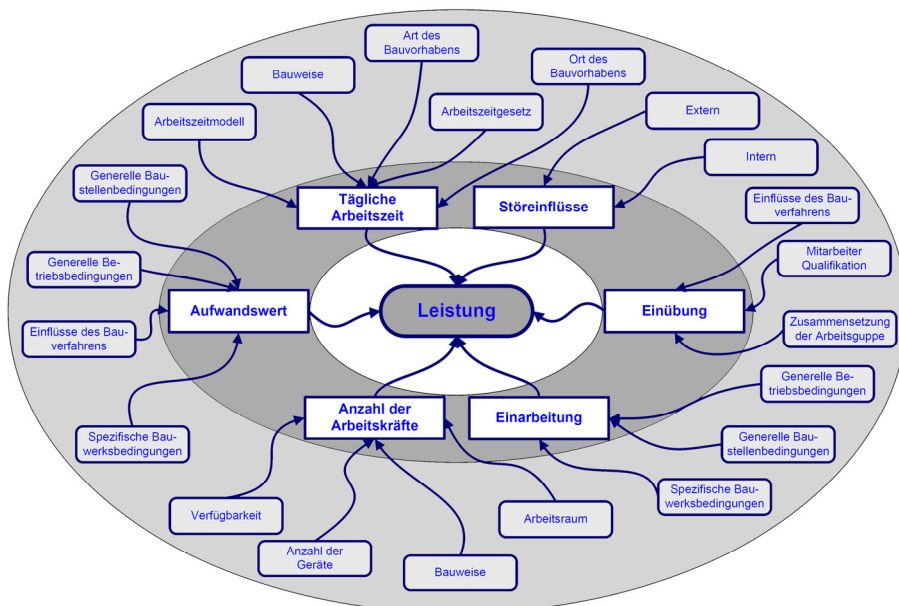


Bild 3-1 Einflussbereiche auf die Leistung nach Hofstadler³²

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.³³

³¹ Car, P.: Messung und Analyse von Produktivität auf Baustellen, Diplomarbeit TU Wien, 2000, S.23.

³² Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, S. 277.

³³ Vgl. Vygen, K., Schubert, E., Lang, A., Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008, S 487ff.

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

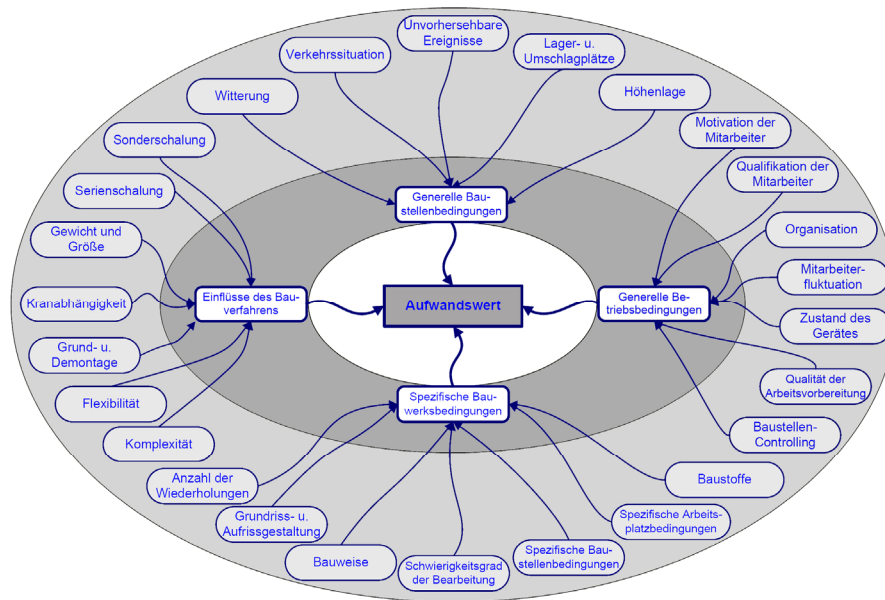


Bild 3-2 Einflussbereiche auf den Aufwandwert nach Hofstadler³⁴

In Bezug auf den Aufwandwert 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. Jedoch sind aus dieser Darstellung einige Faktoren bei der Erstellung des Untersuchungsdesigns für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve zu berücksichtigen. Diese Faktoren sind „Witterung“, „Organisation“, „Motivation der Mitarbeiter“ und „Mitarbeiterfluktuation“. Festzuhalten ist, dass mit Ausnahme des Witterungseinflusses, auf die subjektive Wahrnehmung der Beobachter und auf Befragungen der Baustellenführungskräfte zurückgegriffen werden muss.

Weitere Einflussfaktoren, wie zum Beispiel die „Grund- und Aufrissgestaltung“, die „Bauweise“, der „Schwierigkeitsgrad“ oder die „Höhenlage“, werden durch die Eingrenzung des Untersuchungsgegenstandes berücksichtigt.

³⁴ Hofstadler, C.: Schwierigkeitsgrad von Schararbeiten - Darstellung der Auswirkungen im IAD, in: Österreichische Bauzeitung, Heft 14 (2005), S.33.

3.1.2 Arbeitsablauf im Mauerwerksbau

Der Prozess der Mauerwerksarbeiten wird in der Regel von mehreren Arbeitskräften mit unterschiedlicher Qualifikation ausgeführt. Daher unterscheiden sich die jeweiligen Arbeitsaufgaben des Maurers und Helfers, der einem oder mehreren Maurern zuarbeitet.

3.1.2.1 Arbeitsaufgaben des Maurers

Die Tätigkeiten des Maurers - zumeist ein ausgebildeter Facharbeiter³⁵ - gliedert sich bei der Errichtung einer Wand in folgende Vorgänge:^{36,37}

- Reinigen der Auflagefläche der untersten Schar*
- Auslegen der Abdichtung auf der Kellerdecke und den Geschossdecken*
- Versetzarbeiten
 - ◆ Aufsetzen und Ausrichten der Ecksteine und der Ziegelsteine bei Maueröffnungen der ersten Schar
 - ◆ Spannen der Richtschnur*
 - ◆ Aufbringen der Mörtelschicht der Lagerfuge
 - ◆ Aufsetzen und Ausrichten der Ziegelsteine
 - ◆ Ausmörteln der Stoßfuge falls erforderlich
 - ◆ Aufsetzen und Ausrichten der Ecksteine und der Ziegelsteine bei Maueröffnungen der nächsten Schar
 - ◆ Wiederholung des Arbeitsablaufs ab „Spannen der Richtschnur“

Weitere Arbeitsaufgaben aus dem Mauerwerksbau sind:

- Versetzarbeiten von Überlagern bei Öffnungen
 - ◆ Aufbringen der Mörtelschicht der Lagerfuge des Überlagers
 - ◆ Aufsetzen des Fertigteilüberlagers*
- Zuschneiden von Ziegelsteinen

³⁵ Informationen zum Lehrberuf Maurer unter http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AngID=1&StID=449241&DstID=8560, Datum des Zugriffs: 8.2.2011, 16:24 Uhr und unter http://www.bic.at/bic_brinfo.php?bereich=bl&stage=1&brfid=297&reiter=1, Datum des Zugriffs: 8.2.2011, 16:27 Uhr.

³⁶ Vgl. Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau, <http://www.mauerwerksbaulehre.de/studierende>, Datum des Zugriffs: 8.2.2011, 16:00 Uhr.

³⁷ Die mit * gekennzeichneten Arbeitsschritte werden üblicherweise mit einer zweiten Person durchgeführt.

- Aufmörteln des Deckenausgleichs

Zusätzlich zu diesen Arbeitsaufgaben sind weitere Tätigkeiten, wie Vorbereiten des Arbeitsplatzes und der notwendigen Arbeitsmittel, Auf- und Umstellen von Gerüsten sowie die Einweisung und Annahme der Arbeitsmaterialien (Mörtel, Ziegelsteine) von einem Kran zu erfüllen.

3.1.2.2 Arbeitsaufgaben des Hilfsarbeiters

Die Tätigkeiten des Helfers gliedern sich wie folgt:

- Reinigen und in Ordnung halten des Arbeitsbereiches
- Mithilfe bei Tätigkeiten des Maurers, bei denen zwei Personen benötigt werden
- Versorgung eines Maurers oder mehrerer Maurer mit Arbeitsmaterial (ganze und zugeschnittene Ziegelsteine, Überlagen und Mörtel)
- Mitarbeit beim Mörtelauftrag und beim Aufmörteln des Deckenausgleichs

Ebenso gehören der Auf-, Um- und Abbau der Arbeitsgerüste, die Einweisung des Krans und die Annahme von Material vom Kran zu den Aufgaben des Helfers. Oftmals wird der Helfer mit Aufgaben der allgemeinen Baustellenversorgung betraut.

Gerade die Arbeitsaufgaben des Helfers werden durch die maschinelle Ausrüstung der Baustelle (Vorhandensein eines Krans) und durch die organisatorischen Überlegungen bei der Mannschaftszusammenstellung (Verhältnis und Zusammenspiel von Facharbeiter und Helfer) maßgebend bestimmt.

3.1.3 Spezielle Einflüsse auf die Leistung oder Leistungserbringung im Mauerwerksbau

Neben den zuvor dargestellten allgemeinen Einflüssen auf die Leistung werden nun spezielle, im Mauerwerksbau auftretende Einflüsse dargestellt.

3.1.3.1 Einfluss des Materials

Die heute verwendeten Steine im Mauerwerksbau bestehen aus gebranntem Ton, Porenbeton, Beton oder Leichtbeton, wobei im mehrge-

schossigen Wohnbau aufgrund der Anforderungen an die Wärmedämmung vorwiegend Hochlochziegel in Kombination mit wärmedämmendem Mörtel zum Einsatz kommen.³⁸ Unterschieden werden kann dabei in Planziegel, welche mit einer Lagerfuge von 0,5 bis 3 mm ausgeführt werden und Mauerwerk mit Mittelbettmörtel mit Lagerfugenstärken von 4 bis 6 mm.³⁹

Eine weitere Einteilung kann in höher wärmedämmende oder besser schalldämmende Ziegelsteine vorgenommen werden, die sich durch ihr Gewicht unterscheiden.

Ziegelsteine werden üblicherweise von einem LKW auf EURO-Paletten gestapelt auf die Baustelle gebracht und dort in unmittelbarer Nähe des Einbauortes abgeladen. Sollte eine solche Lagerung in der Nähe des Einbauortes nicht möglich sein, werden die Ziegel am Lagerplatz abgeladen und durch baustelleninternen Materialtransport, z.B. mittels Kran, Bagger oder Hubwagen, zum jeweiligen Einbauort befördert.

3.1.3.2 Witterungseinflüsse

Im Hinblick auf den Witterungseinfluss sind ähnlich wie beim Beton vor allem niedrige Temperaturen problematisch, wie auch der Hinweis der deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau zeigt:

„Das Arbeiten bei Frost ist bei allen Mauersteinarten (Mauerziegel, Kalksandsteine, Porenbetonsteine, Beton- und Leichtbetonsteine) grundsätzlich kritisch. Die niedrigen Temperaturen verhindern bzw. verzögern das Erhärten des Mörtels und stören somit den Haftverbund zwischen Stein und Mörtel.“⁴⁰

Ebenso kann bei höheren Temperaturen ein Problem bei der Verarbeitung des Mörtels bei vorzeitigem Verdunsten des Anmachwassers entstehen, wodurch auch in diesem Fall der Erhärtungsprozess des Mörtels beeinträchtigt wird.⁴¹

3.1.3.3 Abhängigkeiten von anderen Gewerken und dem Bauablauf

Da die Mauerwerksarbeiten dem Bereich der Rohbauarbeiten zugeordnet werden, beschränkt sich die Anzahl der parallel ausgeführten Ge-

³⁸ Vgl. Schirrhofer, F.: Der Bauhandwerker; Lehrbuch und Nachschlagewerk für Techniker, Poliere Vorarbeiter, Maurer und Maurerlehrlinge und solche, die es werden wollen, 10. Auflage, Eigenverlag, Pölla 2010.

³⁹ Vgl. Jäger, W. (Hrsg.): Mauerwerkskalender; Ausführung, Instandsetzung, Lehm-mauerwerks, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin 2009, S.122f.

⁴⁰ Mauerwerksbau-Lehre.de, Konstruktion - 5.2 Ausführung von Mauerwerk, Veröffentlichungen der Deutschen Gesellschaft für Mauerwerksbau, <http://www.mauerwerksbau-lehre.de/studierende>, Datum des Zugriffs: 8.2.2011, 16:00 Uhr.

⁴¹ Vgl. Informationen des Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV zu „Mauern bei Frost und Hitze“, http://www.kalksandstein.de/bv_ksi/fach/ausfuehrung/mauern/mauern.htm, Datum des Zugriffs: 8.2.2011, 16:50.

werke. Wesentliche Abhängigkeiten sind daher nur zu den Stahlbetonarbeiten gegeben,

Bauablaufbedingt können sich bei den Mauerwerksarbeiten allerdings Abhängigkeiten zu den Gerüstbauarbeiten ergeben, da ab einer Höhe von 1,5 m die Tätigkeiten von einem Gerüst aus durchgeführt werden müssen. Neben der Verfügbarkeit des Gerüsts spielt auch die Tragfähigkeit und Standfestigkeit eine besondere Rolle.

3.2 Medizinische und physiologische Grundlagen

Für die Bewertung der Belastung und Beanspruchung⁴² der zu erbringenden 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 können sowie eine Darstellung der in der Literatur vorhandenen Grenzwerte.

3.2.1 Leistungsphysiologische Grundlagen

3.2.1.1 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.⁴³

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

⁴² 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.

⁴³ Vgl. Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S. 9f.

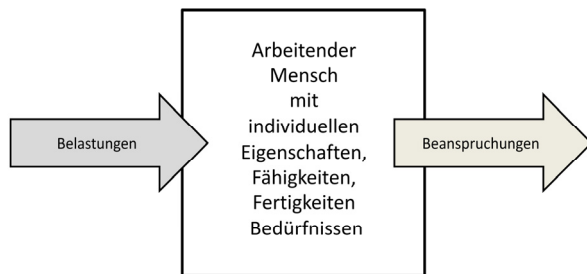


Bild 3-3 Belastungs- und Beanspruchungskonzept⁴⁴

Eine Analogie zum Belastungs- und Beanspruchungskonzept findet sich im Masse-Feder-System.

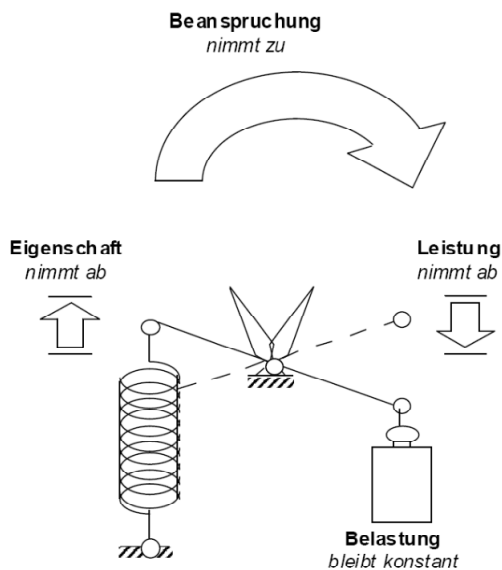


Bild 3-4 Mechanisches Ersatzmodell zum Belastungs-Beanspruchungs-Konzept⁴⁵

In Bild 3-4 ist ersichtlich, dass je nach individueller Eigenschaft, in diesem Fall der Federkonstante, die Feder eine größere oder kleinere Dehnung erfährt und sich dadurch die Auslenkung des Systems als Darstellung der Beanspruchung verändert, obwohl die Belastung auf das System in Form des Gewichts konstant bleibt.

Ebenso verhält es sich beim Vergleich zweier arbeitender Menschen, bei denen auf Grund der gleichen Belastung, z.B. durch die Ausführung einer Arbeitstätigkeit, durch die individuellen Eigenschaften und Fähigkei-

⁴⁴ Vgl. Rohmert W.: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Lehmann, G.), 3. Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983, S.9f.

⁴⁵ Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998, S. 39.

ten eine unterschiedliche Beanspruchung und somit unterschiedliche körperliche Reaktionen entstehen.⁴⁶

Im Aufbau der Untersuchung wird der angesprochene Umstand berücksichtigt. Im Folgenden wird daher immer 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. Ein personenübergreifender Vergleich erfordert die Einführung einer individuellen maximalen Beanspruchungsgrenze.

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

3.2.1.2 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.⁴⁷

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.^{48,49}

3.2.1.3 Phasen der Energiebereitstellung für körperliche Aktivität

Bevor im Weiteren die Beanspruchungsgrenzen vorgestellt werden, ist es erforderlich, die wesentlichen Überlegungen zur Energiebereitstellung im Körper für die Erbringung von Muskeltätigkeiten zu betrachten.

⁴⁶ 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.

⁴⁷ Vgl. Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5.Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009, S.128f.

⁴⁸ „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.

⁴⁹ Siehe auch Kapitel 3.2.6.2 ab Seite 32.

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 geringe Menge ATP eingelagert, sodass die Versorgung des Muskels mit ATP-Nachschub durch das Blutkreislaufsystem aufrechterhalten werden muss.⁵⁰

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 längerdauernde 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.⁵¹

Nach Pokan et al.⁵² können drei Phasen der Energiebereitstellung für den Energiestoffwechsel unterschieden werden:

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

Die Einteilung der Phasen erfolgt anhand der Veränderungen einzelner physiologischer Parameter, wie in Bild 3-5 dargestellt.

Aerobe Energiebereitstellung:

ATP- Produktion durch Verbrennung von Fett und Glykose mit Sauerstoff

Anaerobe Energiebereitstellung :

ATP-Produktion durch Aufspaltung von Glykose

⁵⁰ 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.

⁵¹ Vgl. Hollmann, W.; Hettinger, Th.: a.a.O., S. 129-130.

⁵² 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.

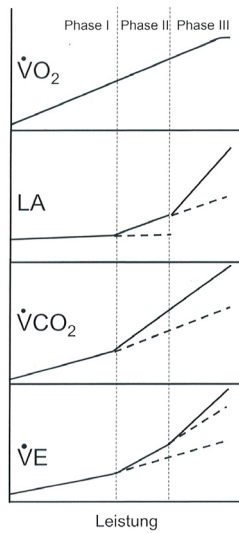


Bild 3-5 Die Phasen der Energiebereitstellung: $\dot{V}O_2$ (Sauerstoffaufnahme), LA (Blutlaktatkonzentration), $\dot{V}CO_2$ (Kohlendioxidabgabe), $\dot{V}E$ (Ventilation=Atemminutenvolumen)⁵³

Aus Bild 3-5 ist ersichtlich, dass die Sauerstoffaufnahme kontinuierlich über alle drei Phasen ansteigt, die Blutlaktatkonzentration bei jedem Phasenwechsel einen Knick aufweist und die Kohlendioxidabgabe einen überproportionalen Anstieg beim Übergang von Phase I auf II erkennen lässt. Ebenso ist feststellbar, dass der Ventilationsverlauf analog zum Verhalten der Blutlaktatkonzentration jeweils beim Phasenübergang einen Knick besitzt.

Wesentlich für die weitere Betrachtung ist die Phase I, bei welcher unter anderem der LTP₁ (first lactate turn point)⁵⁴ die obere Schwelle darstellt, 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.

3.2.2 Bestimmung der maximalen Leistung (P_{max})

Neben diesen Beanspruchungsparametern stellt die dabei erzielte Leistung und im Speziellen die maximale Leistung (P_{max})⁵⁵ einen wesentlichen Indikator für die körperliche Leistungsfähigkeit dar.⁵⁶

⁵³ 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.

⁵⁴ Pokan, R. et al.: a.a.O., S. 39–82.

⁵⁵ Für die gegenständliche Untersuchung wurde diese am Fahrradergometer ermittelt.

Die zu erwartende Leistung ($P_{max,calc}$) kann für Männer aus der folgenden allgemeinen Formel bestimmt werden:⁵⁷

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A \quad (3.1)$$

$$KO = 0,00714 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (3.2)$$

Hierbei sind

KO ... Körperoberfläche [m²]

W ... Gewicht [kg]

H ... Größe [cm]

A ... Alter [Jahren]

3.2.3 Beanspruchungskenngrößen

Als Kenngrößen zur Bestimmung der körperlichen Beanspruchung werden die Herzfrequenz (HF), die Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) und der Energieumsatz (EU) bzw. der Arbeitsenergieumsatz (AEU) herangezogen.

Kenngrößen der körperlichen Beanspruchung:
Herzfrequenz (HF) Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) Energieumsatz (EU) bzw. Arbeitsenergieumsatz (AEE)

3.2.4 Beanspruchungsgrenzen

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben zu den individuellen Beanspruchungsgrenzen. Diesen können in absolute und relative unterschieden werden.

Absolute und relative Beanspruchungsgrenzen

Für jede Person ergeben sich auf Grund der verschiedenen körperlichen Voraussetzungen (z.B. Alter, Körpergewicht, Körpergröße und Muskulatur) individuelle Beanspruchungsgrenzen. Da allerdings in mehreren Regelwerken absolute Kenngrößen zur Beanspruchungseinstufung verwendet werden, erfolgt ebenso die Darstellung dieser Absolutwerte.

⁵⁶ Vgl. Wonisch Met al.: Praxisleitlinien Ergometrie, in: Journal für Kardiologie, Nr. 15 (Suppl. A) (2008), S. 8ff.

⁵⁷ Vgl. Wonisch Met al.: a.a.O., S. 9.

Beanspruchungsgrenzen sind:

- Herzfrequenzschwellenwerte⁵⁸
 - ♦ Maximale Herzfrequenz (HF_{max})
 - ♦ Herzfrequenz am „first lactate turnpoint“ (HF_{LTP1})⁵⁹ und
 - ♦ Herzfrequenz am „second lactate turnpoint“ (HF_{LTP2})⁶⁰,
- Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2,max}$),
- Maximaler Energieumsatz (EU_{max}).

Maximale Herzfrequenz (HF_{max}),
 Herzfrequenz am „first lactate turnpoint“ (HF_{LTP1}),
 Herzfrequenz am „second lactate turnpoint“ (HF_{LTP2}),
 Maximalen Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2,max}$),
 Maximaler Energieumsatz (EU_{max})

Diese maximalen Beanspruchungsgrenzen können durch Laboruntersuchungen bzw. durch Berechnungsmethoden für jede Person bestimmt werden.

3.2.4.1 Bestimmung der Herzfrequenzschwellenwerte

- Maximale Herzfrequenz (HF_{max})

Zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz findet sich bei Niederkofler⁶¹ die Zusammenstellung von 11 unterschiedlichen Berechnungsmethoden. Er vergleicht diese anhand von 76 Probanden, bei welchen einerseits die maximale Herzfrequenz gemessen, und andererseits mit Hilfe der aus der Literatur bekannten Formeln⁶² berechnet wurden. Das Ergebnis dieses Vergleichs ergab, dass die Berechnungsmethode nach Åstrand⁶³ mit untenstehender Formel die Realität am besten für das untersuchte Kollektiv abbildet.

⁵⁸ 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.

⁵⁹ 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. 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) und Hofmann, P.; Tschakert, G.: Special Needs to Prescribe Exercise Intensity for Scientific Studies, in: Cardiology Research and Practice, Jg. 2011 (2011).

⁶⁰ Vgl. Pokan, R. et al.: a.a.O., S. 40 sowie Hofmann, P. et al.: a.a.O., S. 763 bzw. Wultsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.: a.a.O. und Hofmann, P.; Tschakert, G.: a.a.O.

⁶¹ Niederkofler, W.: Das Konzept der individuellen Physical Working Capacity, Dissertation KFU Graz, Graz 1997.

⁶² Für die Berechnung wurden die Formeln von Åstrand, Hollmann, Cooper, Robinson, Kemp-Ellestad, Lester, Lange-Anderson und Bar-Or verwendet. Vgl dazu Niederkofler, W.: Das Konzept der individuellen Physical Working Capacity, Dissertation KFU Graz, Graz 1997, S. 100.

⁶³ 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.

$$HF_{max} = 211,30 - 0,922 * Alter \quad (3.3)$$

Im Rahmen einer Studie⁶⁴ am HPR^{Graz}⁶⁵ wurden 112 österreichische berufstätige Probanden am Fahrradergometer getestet und die Formel von Åstrand bestätigt⁶⁶

Für die weitere Anwendung wird die maximale Herzfrequenz berechnet mit

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

- Herzfrequenz am LTP₁ (HF_{LTP1})

Die exakte Bestimmung der Herzfrequenz am LTP₁ kann nur mittels Spiroergometrie erfolgen, da diese sehr stark vom zu betrachtenden Individuum abhängig ist. Eine ähnliche allgemeine Berechnungsformel für die Bestimmung von HF_{LTP1} findet sich daher in der Literatur nicht.

Für eine näherungsweise Bestimmung wurden 7 Studien mit insgesamt 17 Untersuchungsgruppen aus verschiedenen Literaturquellen gefunden.

⁶⁴ 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).

⁶⁵ HPR^{Graz} – Human Performance Research Graz: Zentrum für Bewegungswissenschaften und Sportmedizinische Forschung

⁶⁶ Vlg. 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. 763.⁶⁷ 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.

Tabelle 3-1 Studien mit Bestimmung von HF_{max} , HF_{LTP1} und P_{max}

Studie	Kenngrößen Zuordnung	N	Alter		Größe		Gewicht		HF_{max}		HF_{LTP1}		$\%HF_{LTP1/max}$		P_{max}	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Hofmann, P. et al.: (1994) ⁶⁷	G I	8	21	2	179	4	69	8	191	5	120 [#]	8	62,5%		273	39
	G II	7	23	2	182	4	76	3	186	6	121 [#]	10	65,1%		294	21
Hofmann, Wießpeiner, Pokan (1995) ⁶⁸	Studenten	19	21	2	178	6	71	7	187	2	134	3	71,7%		305	7
Pokan, R. et al.: (1997) ⁶⁹	Sport students	21	23	1	180	2	73	1	188	7	119	9	63,3%		284	39
	Control subjects	19	55	3	175	3	78	1	159	21	104	18	65,4%		169	46
Hofmann, P. et al. (1997) ⁷⁰	G I	195	23	4	180	5	74	7	189	9	132	12	69,8%		309	39
	G II	14	24	4	181	6	77	11	185	7	132	7	71,4%		319	39
	G III	18	23	3	181	8	77	10	181	9	127	14	70,2%		307	40
Hofmann, P. et al.: (2001) ⁷¹	DEF	24	22	3	179	6	73	6	192	8	130		68,0%	4,8%	326	45
	IND	12	21	2	180	6	75	6	189	10	128		67,6%	6,4%	328	32
	NON	14	22	2	183	6	79	6	185	8	122		65,9%	7,7%	320	30
	NEG	12	21	1	182	4	74	5	187	8	125		67,1%	5,7%	305	36
Hofmann, P. et al.: (2005) ⁷²	Placebo	16	24	4	183	6	78	8	189	11	125	13	66,1%		353	33
Wultsch, G. et al.: (2011) ⁷³	MI	31	33	8	175	6	79	11	175	13	121 ^s	14	69,2%	5,6%	179	28
	SH	31	34	7	179	6	85	12	174	10	117 ^s	8	67,2%	3,6%	201	23
	WP	9	25	3	180	4	78	7	198	3	139 ^s	8	70,4%	3,3%	295	59
	HC	8	30	6	178	5	74	13	185	9	125 ^s	9	67,6%	3,4%	233	24

... Im Rahmen der Studie wurden statt HF_{LTP1} die Werte der HF am Aerobic Threshold (Aet) angegeben, können jedoch auch für die Bestimmung des HF_{LTP1} verwendet werden.⁷⁴

⁶⁷ 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.

⁶⁸ 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.

⁶⁹ 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.

⁷⁰ 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.

⁷¹ Hofmann, P. et al.: %HRmax target heart rate is depend on heart rate performance curve deflection, in: Medicine & Science in Sports & Exercise (2001), S. 1726–1731.

⁷² 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.

⁷³ 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.

⁷⁴ Vgl. Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, S. 40 in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 40.

\$... Im Rahmen der Studie wurden statt HF_{LTP1} die Werte der HF am Ventilations Turnpoint (VT) angegeben, können jedoch auch für die Bestimmung des HF_{LTP1} verwendet werden.⁷⁵

Die Daten aus Tabelle 3-1 wurden mit Hilfe statistischer Methoden analysiert und daraus eine Formel für näherungsweise Bestimmung der HF_{LTP1} abgeleitet. Analysiert wurden der Zusammenhang zwischen HF_{max} und HF_{LTP1} , HF_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$, P_{max} und HF_{LTP1} , P_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$ als einfache Regression, sowie im Rahmen einer multiplen Regressionsanalyse die Datenreihen P_{max} , HF_{max} und HF_{LTP1} sowie P_{max} , HF_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$.⁷⁶

Das Ergebnis der Datenanalyse ist 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. Der Zusammenhang zwischen den Eingangsgrößen HF_{max} und P_{max} mit HF_{LTP1} wird durch nachfolgende Gleichung ausgedrückt:

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max} * 0,635 + P_{max} * 0,018 \quad (3.4)$$

Die Anwendung dieses Zusammenhangs wird im Rahmen der Datenanalyse der Baustellendaten überprüft (siehe Kapitel 7.2). Ergibt sich aus dieser Prüfung nur eine geringe Abweichung, so kann diese Formel für die Berechnung der Herzfrequenz an der Dauerleistungsgrenze herangezogen werden.

3.2.4.2 Maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2,max}$)

Die maximale Sauerstoffaufnahme wird im Rahmen einer Laboruntersuchung mittels Spiroergometrie bestimmt. Ist dies nicht möglich, kann auf eine rechnerische Ermittlung zurückgegriffen werden. Für diese Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme finden sich in der Literatur drei Gleichungen, welche auf Basis verschiedener Einflussfaktoren die maximale Sauerstoffaufnahme vorhersagen.

Die Erste basiert auf den Ergebnissen von Jackson und Ross⁷⁷ und stellt den Zusammenhang zwischen Alter, Körpergröße, Gewicht, Geschlecht

⁷⁵ Vgl. Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, S. 40 in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 40.

⁷⁶ Die Darstellung der einzelnen Auswertungen findet sich im Anhang unter A.1.3.

⁷⁷ Jackson, A.S.; Ross, R.M.: Methods and limitations of assessing functional work capacity objectively, Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation 6 (1996) 265–276.

(Mann=1, Frau=0) und Trainingszustand (SRE⁷⁸) mit der maximalen Sauerstoffaufnahme her:

$$\dot{V}O_{2,max} = \left[\begin{array}{l} 56,363 + (1,951 * SRE) - (0,754 * BMI) - \\ (0,381 * Alter) + (10,897 * Geschlecht) \end{array} \right] * \text{Gewicht}/1000 \quad (3.5)$$

Die nächste Gleichung zur rechnerischen Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme wurde von Duque, Parra und Duvallet⁷⁹ entwickelt und bildet die Beziehung zwischen Gewicht, Körpergröße, Geschlecht (Mann=1, Frau=0) und Freizeitaktivitäten(PALT⁸⁰) ab:

$$\dot{V}O_{2,max} = \left[\begin{array}{l} 35,3377 - (0,475411 * BMI) + \\ (0,155232 * PALT) + 7,98682 * Geschlecht \end{array} \right] * \text{Gewicht}/1000 \quad (3.6)$$

Eine weitere Berechnungsmethode entwickeln Bradshaw et al.⁸¹ mit der nachfolgenden Gleichung, in der ein Zusammenhang zwischen Geschlecht (Mann=1, Frau=0), Alter, BMI, erhobenem Leistungsvermögen (PFA⁸²) und den aktuellen körperlichen Aktivitäten (PA-R⁸³) aufgezeigt wird:

$$\dot{V}O_{2,max} = \left[\begin{array}{l} 48,0730 + (6,1779 * Geschlecht) - (0,2463 * Alter) - \\ (0,6186 * BMI) + (0,7115 * PFA) + (0,6709 * PA-R) \end{array} \right] * \text{Gewicht}/1000 \quad (3.7)$$

Die hier dargestellten Gleichungen bieten die Möglichkeit, ohne Laboruntersuchungen die maximale Sauerstoffaufnahme zu bestimmen und so einen weiteren Vergleichswert neben der Herzfrequenz zu schaffen. Eine Entscheidung, ob und welche dieser Gleichungen für die weiteren Überlegungen herangezogen werden kann, ist erst nach weiterführenden Untersuchungen, die über den Umfang dieser Arbeit hinausgehen möglich.

Im Rahmen dieser Arbeit war die Anwendung der Gleichungen jedoch nicht notwendig, da auch für die nachfolgend dargestellte Ermittlung der Sauerstoffaufnahme bei der Tätigkeitsausführung Laboruntersuchungen unerlässlich sind und durchgeführt wurden.

⁷⁸ SRE = self-report level of aerobic exercise; der Wert kann zwischen 0 und 7 liegen. Siehe dazu Jackson, A.S.; Ross, R.M.: Methods and limitations of assessing functional work capacity objectively, Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation 6 (1996) S 270.

⁷⁹ Duque I.L., Parra J.H., Duvallet A.: A new non exercise-based $\dot{V}O_{2,max}$ prediction equation for patients with chronic low back pain, J Occup Rehabil. 2009 Sep;19(3):293-9. Epub 2009 May 7.

⁸⁰ PALT = physical activity during leisure; Der Wert kann zwischen 1 und 4 liegen.: Siehe dazu Duque I.L., Parra J.H., Duvallet A.: a.a.O., S.296.

⁸¹ Bradshaw D.I. et al.: An accurate $\dot{V}O_{2,max}$ nonexercise regression model for 18-65-year-old adults, Res Q Exerc Sport. 2005 Dec;76(4), S. 426-32.

⁸² PFA = perceived functional ability to walk, jog, or run given distances; dieser Wert kann zwischen 2 und 26 liegen. Siehe dazu Bradshaw D.I. et al.: a.a.O., S. 428.

⁸³ PA-R = current physical activity level; dieser Wert kann zwischen 1 und 10 liegen Siehe dazu Bradshaw D.I. et al.: a.a.O., S. 428.

3.2.4.3 Sauerstoffaufnahme während der Tätigkeitsausführung

Für die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme während der Tätigkeitsausführung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits die direkte Sauerstoffverbrauchsmessung bei der Tätigkeitsausführung mit entsprechendem Equipment. Andererseits besteht über den „Umweg“ der Herzfrequenzmessung während der Tätigkeit und der rechnerischen Ermittlung des Sauerstoffverbrauchs auf Basis der Herzfrequenzmessung im Feld und dazugehöriger Laboruntersuchung.⁸⁴

Aufgrund der schlechteren Handhabbarkeit der direkten Sauerstoffverbrauchsmessungen auf der Baustelle kann diese nur bei kurzen Beobachtungen ohne zu starken Einfluss auf die beobachtete Person durchgeführt werden.⁸⁵ Für die Anwendung auf der Baustelle erscheint die indirekte Sauerstoffverbrauchsmessung⁸⁶ zielführender.

3.2.5 Grenzwerte der maximalen Beanspruchung zur Verhinderung des Auftretens von Ermüdungserscheinungen

Ermüdungserscheinungen, also zum Beispiel der Rückgang der Arbeitsleistung oder die Notwendigkeit einer Pause, treten bei körperlicher Aktivität immer dann auf, wenn die aus der Belastung resultierende Beanspruchung individuelle Grenzwerte überschreitet. Hierbei ist es beispielsweise dem Körper nicht mehr möglich, den beanspruchten Muskelgruppen Sauerstoff in ausreichendem Maße zur Verfügung zu stellen.

Diese Beanspruchungsgrenzen zur Vermeidung von Ermüdungserscheinungen sind von speziellem Interesse. Für eine kontinuierliche Arbeitsausführung über mehrere Jahre hinweg und ohne ein erhöhtes Risiko von Arbeitsunfällen ist es erforderlich, dass der jeweilige Arbeiter im Durchschnitt eines Arbeitstages oder aber zumindest in einer größeren Zeitspanne von z.B. einer Woche oder eines Monats, keine höhere durchschnittliche Beanspruchung erreicht, als die Beanspruchungsgrenze seiner Dauerleistungsfähigkeit. Untersuchungen⁸⁷ deuten jedoch darauf hin, dass es schon bei kurzzeitigem Überschreiten der Dauerleistungsgrenze zu einem Leistungsrückgang infolge erhöhter körperlicher Ermüdung kommt und daher entsprechende Pausenzeiten vorgesehen

⁸⁴ 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). 14. pii: 3195. doi: 10.5271/sjweh.3195 Epub ahead of print..

⁸⁵ Vgl. Wultsch, G.; Rinnerhofer, S.; Tschakert, G.; Hofmann, P.: a.a.O.

⁸⁶ Vgl. 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.

⁸⁷ Vgl. 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 sowie Konz S.: Work/rest: Part I - Guidelines for the practitioner, in: International Journal of Industrial Ergonomics, Jg.22 (1998) S. 67–71 und 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.

werden sollten.⁸⁸ Daher sollte im Rahmen weiterer Untersuchungen der Einfluss dieser kurzzeitigen Grenzwertüberschreitungen bei Einhalten der Tages- oder Wochenlimits im Detail geprüft werden.

In der Literatur, welche überwiegend aus dem Zeitraum zwischen 1940 und 1980 stammt, wurde mit Ausnahmen von zwei Ansätzen immer ein Grenzwert für eine tägliche Arbeitszeit von acht Stunden angegeben. Einzig Bink⁸⁹ und Lehmann⁹⁰ geben abhängig von der Belastungszeit Werte für längere oder kürzere Arbeitszeiten an.

3.2.5.1 Individuelle maximale Beanspruchungsgrenzwerte

In der Literatur wurden die folgenden individuellen maximalen Beanspruchungsgrenzwerte zur Vermeidung von Ermüdungserscheinungen gefunden:

- Grenzwerte der Herzfrequenz(HF):

- ♦ Herzfrequenz am First Lactate Turnpoint (HF_{LTP1}):⁹¹

$$HF_{\text{ind.Grenz,I}} = HF_{LTP1} \quad (3.8)$$

- ♦ Herzfrequenz über der Ruheherzfrequenz⁹² (HF_{rest}):⁹³

$$HF_{\text{ind.Grenz,II}} = HF_{\text{rest}} + 40 \text{ S/min} \quad (3.9)$$

- Grenzwert der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$):

- ♦ Verhältnis der Sauerstoffaufnahme zur maximalen Sauerstoffaufnahme ($\% \dot{V}O_{2\text{max}}$)

Für diese Grenze finden sich bei Legg und Myles⁹⁴ unterschiedliche Angaben zum Wert von $\% \dot{V}O_{2\text{max}}$. Diese Werte liegen im Bereich von 21 % bis 50 %, wobei sie wahrscheinlich auch auf Grund

⁸⁸ Im Gegensatz dazu zeigte Pokan et. al im Rahmen einer Studie, dass es möglich ist über einen Zeitraum von 24h eine durchgehende Leistung am Fahrradergometer zu erbringen, wenn die Belastung unter dem LTP_1 gewählt wird. Siehe dazu 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.

⁸⁹ Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in : Ergonomics, 5 (1962).

⁹⁰ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

⁹¹ Vgl. Pokan, R. et al.: Dreiphasigkeit der Energiebereitstellung, S. 40 in: Pokan, R.; Hofmann, P.; Wonisch, M. (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin; Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie, Springer, Wien New York 2004, S. 39–82 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. 762- 768 sowie 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).

⁹² Vgl. Pickenhain L., Neumann G., F. Scharschmidt: Sportmedizin: Grundfragen, Methoden, Ziele, Huber, Bern [u.a.] 1993.

⁹³ Nach Kuhlmann, A.: Introduction to safety science, Springer, New York, 1986 und Müller, E. A.: Occupational work capacity, in: Ergonomics, 5 (1962), S. 445–452 gefunden in 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.

⁹⁴ 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.

der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden und der teilnehmenden Probanden eine derartige Streuung aufweisen.

Der aus dieser Aufstellung zutreffendste Wert für diese Arbeit ist jener von Åstrand⁹⁵, da dieser auf Basis von Probanden mit Arbeitsaufgaben aus dem Bauwesen ermittelt wurde. Der Grenzwert wird wie folgt festgelegt:

$$\dot{V}O_{2,ind.Grenz} = 40 \% \dot{V}O_{2max} \quad (3.10)$$

- Grenzwert des Energieumsatzes (EU)
 - ♦ Maximaler Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit nach Bink⁹⁶

$$AEU_{ind.Grenz} = \dot{A} = \frac{\log 5700 - \log t}{3,1} * a \quad (3.11)$$

Dabei bedeuten:

\dot{A} ... Physical working capacity [kcal/min]

t ... Arbeitszeit in min

a ... Aerobic capacity nach Åstrand⁹⁷

3.2.5.2 Absolute maximale Beanspruchungsgrenzwerte

- ♦ Neben den oben dargestellten individuellen Grenzwerten finden sich weitere absolute Grenzwerte. Diese können zur Einstufung der maximalen Beanspruchung eines Arbeitstages mit 8 Stunden Netto-Arbeitszeit herangezogen werden.
- Grenzwert der Herzfrequenz (HF):
 - ♦ Mittlerer Herzfrequenzwert während des achtstündigen Arbeitstages^{98,99}

$$HF_{abs.Grenz,8h} = 110 \text{ bpm} \quad (3.12)$$

⁹⁵ Åstrand, I.: Aerobic working capacity in men and women with special refercenc to age, in: Acta physiol. Scand., 49 (1960).

⁹⁶ Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in : Ergonomics, 5 (1962).

⁹⁷ Åstrand, I.: a.a.O., S. 169 gefunden in Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in Ergonomics, 5 (1962).

⁹⁸ Brouha, L.: Physiology in industry, Pergamon Press, New York 1967.

⁹⁹ Grenzwert der WHO für 8 Stündige Arbeitszeit entsprechend World Health Organization (WHO): Health Factors involved in Working under Conditions of Heat Stress, Technical Report Series No. 412, Geneva 1969.

- Grenzwert der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$):
 - ♦ Mittlere Sauerstoffaufnahme während des achtstündigen Arbeitstages¹⁰⁰

$$\dot{V}O_{2,absGrenz,8h} = 1 \text{ L}/\text{min} \quad (3.13)$$

- Grenzwerte des Energieumsatzes (EU)
 - ♦ Mittlerer Energieumsatz während der achtstündigen Arbeitszeit nach Oglesby¹⁰¹

$$EU_{abs.Grenz,8h} = 5 \text{ kcal}/\text{min} \quad (3.14)$$

Anzumerken ist, dass es sich in diesem Fall um den Gesamtenergieumsatz, also Arbeitsenergieumsatz zuzüglich ca. 1 kcal/min Grundumsatz handelt.

- ♦ Mittlerer Arbeitsenergieumsatz während der achtstündigen Arbeitszeit auf Basis mehrerer Quellen wie Mueller¹⁰², Lehmann¹⁰³, Bink¹⁰⁴, Legg und Myles¹⁰⁵, Åstrand und Rodahl¹⁰⁶.

$$AEU_{abs.Grenz,8h} = 16,7 \text{ kJ}/\text{min} \approx 4 \text{ Akcal}/\text{min} \quad (3.15)$$

- ♦ Mittlerer Arbeitsenergieumsatz bei unterschiedlicher Arbeitszeit

Als Beanspruchungsgrenzwerte werden in weiterer Folge die Maximalwerte von Lehmann¹⁰⁸ aus dem Jahr 1963 verwendet, welche in Tabelle 3-2 dargestellt sind. Weiteren Quellen berufen sich zu meist auf den von Lehmann 1958¹⁰⁹ aufgestellten Wert von 4 Akcal/min, wenn auch in Tabelle 3-2 ein Wert von 4,6 Akcal/min für den Betrachtungszeitraum von einem Jahr ausgewiesen wird.

Als Beanspruchungsgrenzwerte werden in weiterer Folge die Maximalwerte von Lehmann¹⁰⁷ verwendet.

¹⁰⁰ Vgl. 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. mit dem Verweis auf Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, Brouha, L.: Physiology in industry, Pergamon Press, New York 1967 und Åstrand, P.-O.; Rodahl K.: Textbook of work physiology, McGraw Hill, New York 1986.

¹⁰¹ Oglesby, C. H. et al. (Hrsg.): Productivity improvement in construction, McGraw Hill, New York 1989.

¹⁰² Müller, E.A.: The physiological basis of rest pauses in heavy work, in: Exp. Physiology (1953), S. 205–215.

¹⁰³ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 1. Auflage, Thieme, Stuttgart 1953.

¹⁰⁴ Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in : Ergonomics, 5 (1962).

¹⁰⁵ 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.

¹⁰⁶ Åstrand, P.-O.; Rodahl K.: Textbook of work physiology, McGraw Hill, New York 1986.

¹⁰⁷ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

¹⁰⁸ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

¹⁰⁹ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 1. Auflage, Thieme, Stuttgart 1953.

Tabelle 3-2 Maximaler mittlerer Arbeitsenergieumsatz (Arbeitskalorien- kcal(Akcal))¹¹⁰

Beanspruchungszeitraum	Jahr	Monat	Woche	Tag	Stunde	10 Min	1 Min
Betrachtungszeitraum							
Jahr	616.000	57.200	13.200	2.200	275	46	4,6
Monat		62.920	14.520	2.420	303	51	5,1
Woche			15.840	2.640	330	55	5,5
Tag				3.080	385	64	6,4
Stunde					523	87	8,7
10 Min						129	12,9
1 Min							25

¹¹⁰ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 156.

3.2.6 Einstufung der Arbeitsschwere nach physiologischen Kenngrößen

Neben diesen Grenzwerten, welche eine maximale Beanspruchungsgrenze darstellen, finden sich in der Literatur zwei Möglichkeiten zur Einstufung der „Schwere“ der Arbeit.

3.2.6.1 Einstufung anhand von mittlerer Tagesherzfrequenz (HF_{mittel}) und Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$)

Ergänzend zu den zuvor dargestellten Grenzwerten für eine Arbeitsausführung im Dauerleistungsbereich kann jede Arbeit auf Basis der Kenngrößen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme entsprechend der Überlegungen von Åstrand und Rodahl in unterschiedliche Stufen der „Arbeitsschwere“ eingeteilt werden. Diese sind in Tabelle 3-3 ersichtlich:

Tabelle 3-3 Einteilung der Arbeitsschwere¹¹¹

Kriterium	Mittlere Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_{2,mittel}$	Mittlere Herzfrequenz HF_{mittel}	Maximale Sauerstoffaufnahme $\dot{V}O_{2,max}$	maximale Herzfrequenz HF_{max}
Einstufung	[L/min]	[S/min]	[L/min]	[S/min]
Sehr leichte Arbeit	-	-	≤ 0,5	≤ 75
Leichte Arbeit	≤ 0,5	≤ 90	0,5 – 1,0	75 – 100
Mittelschwere Arbeit	0,5 – 1,0	90 – 110	1,0 – 1,5	100 – 125
Schwere Arbeit	1,0 – 1,5	110 – 130	1,5 – 2,0	125 – 150
Sehr schwere Arbeit	1,5 – 2,0	130 – 150	2,0 – 2,5	150 – 175
Extrem schwere Arbeit	> 2,0	150 - 170	> 2,5	> 175

3.2.6.2 Einstufung anhand der Arbeitsenergieumsatzklassen

Eine weitere Einteilung kann anhand des täglichen Arbeitsenergieumsatzes mit den Klasseneinteilungen von Hettinger¹¹² erfolgen.

¹¹¹ Nach Åstrand, P.-O.; Rodahl K.: Textbook of work physiology, McGraw Hill, New York 1986 modifiziert von 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. 4.

¹¹² Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5.Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009, S.105ff.

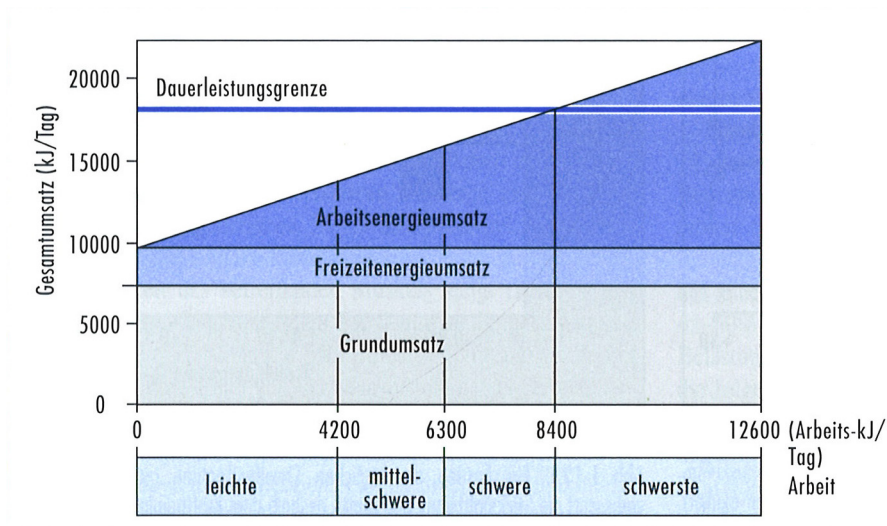


Bild 3-6 Unterteilung in leichte, mittelschwere, schwere und schwerste Arbeit anhand des täglichen Arbeitsenergieumsatzes¹¹³

Aus Bild 3-6 ist erkennbar, dass eine Tätigkeit mit einem Arbeitsenergieumsatz

- bis zu 4.200 Arbeits-kJ/Tag als leichte Arbeit,
- bis zu 6.300 Arbeits-kJ/Tag als mittelschwere Arbeit,
- bis zu 8.400 Arbeits-kJ/Tag als schwere Arbeit,
- größer als 8.400 Arbeits-kJ/Tag als schwerste Arbeit

eingestuft wird.

Ebenso ist aus Bild 3-6 erkennbar, dass neben dem Anteil des Arbeitsenergieumsatzes (AEU), der jeweilige Grundumsatz (GU) einen sehr wesentlichen Anteil ausmacht. Hierbei ist zu beachten, dass der Grundumsatz abhängig vom Körperbau der jeweiligen Person ist, da bei der Berechnung des Grundumsatzes Körpergröße, Gewicht und Alter einfließen, wie die Gleichungen (2.19) und (2.20) zeigen.

$$GU_{Mann} \left[\frac{kcal}{d} \right] = 66,5 + 13,7 * Gewicht + 5,0 * Größe - 6,8 * Alter \quad (3.16)$$

$$GU_{Frau} \left[\frac{kcal}{d} \right] = 65,51 + 9,6 * Gewicht + 1,9 * Größe - 4,7 * Alter \quad (3.17)$$

Hinsichtlich der Verteilung des Energieumsatzes eines Arbeitstages müssen die Anteile von Arbeits-, Freizeit- und Grundenergieumsatz differenziert werden.

¹¹³ Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5.Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009, S.114.

Aus Bild 3-6 ist ersichtlich, dass der Grundumsatz mit ca. 7.500 kJ einen hohen Anteil an der dargestellte Dauerleistungsgrenze von 18.000 kJ pro Tag¹¹⁴ einnimmt. Entsprechend der Einstufung der Schwerarbeiterregelung hat ein Maurer einen Arbeitsenergieumsatz von mehr als 2.000 kcal¹¹⁵ oder 8.374 kJ, somit verbleiben für Freizeitaktivitäten lediglich ca. 500 kcal oder 2.100 kJ.

Dieser verbleibende Energieumsatzes würde bereits mit einer Stunde mäßigen Sport aufgebraucht werden, wobei hier noch nicht die in der Freizeit notwendigen Alltagsaktivitäten berücksichtigt sind (siehe dazu Tabelle 9-1 im Anhang).

Dieser Umstand sollte auch beachtet werden, wenn an einem Arbeitstag mehr als die für die Darstellung angenommenen acht Stunden effektive Arbeitszeit gearbeitet werden. Durch diese Arbeitszeitverlängerung kann es soweit kommen, dass der Bauarbeiter infolge der Arbeitsbelastung bereits die Dauerleistungsgrenze für Beanspruchungen des Arbeitstages erreicht hat.

3.2.7 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.“¹¹⁶

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.¹¹⁷

¹¹⁴ Der Wert wurde Abbildung 1-124a aus Hollmann, W.; Strüder, H. K.: Sportmedizin; Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin, 5.Auflage, Schattauer, Stuttgart; New York 2009. entnommen, S. 114.

¹¹⁵ Vgl. 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.

¹¹⁶ Stark, M.: Hitzebelastung in der Papierindustrie, Dissertation KFU Graz, Graz 2008, S. 2.

¹¹⁷ Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S.241.

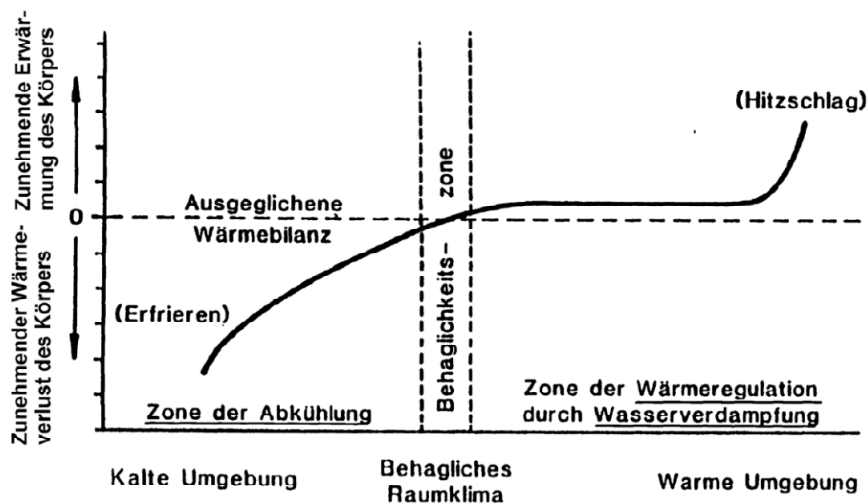


Bild 3-7 Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen¹¹⁸

Auf Basis dieser Überlegungen wurden von Hasse und Ehrismann verschiedene Untersuchungen durchgeführt und eine Möglichkeit zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur¹¹⁹ entwickelt (siehe Bild 3-8). Lehmann merkt kritisch an, dass diese Darstellung nicht als endgültige Lösung betrachtet werden kann.¹²¹

¹¹⁸ Bruder, R.: Vorlesung Arbeitswissenschaft, Kapitel 6.1: Umgebungsbedingungen, TU Darmstadt, Darmstadt 2009.

¹¹⁹ 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.

¹²⁰ 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.

¹²¹ Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 251.

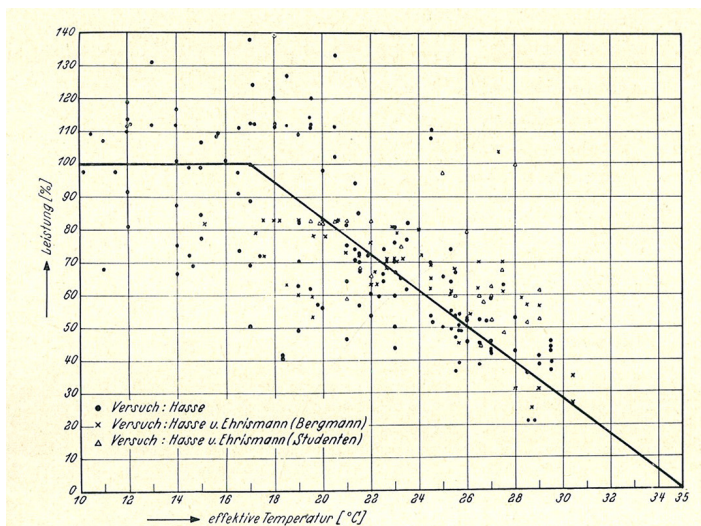


Bild 3-8 Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der effektiven Temperatur¹²²

Weitere Publikationen von Ehrismann und Hasse¹²³, Lehmann und Szakall¹²⁴ sowie Mackworth¹²⁵ verdeutlichen den Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit haben (siehe Bild 3-9).

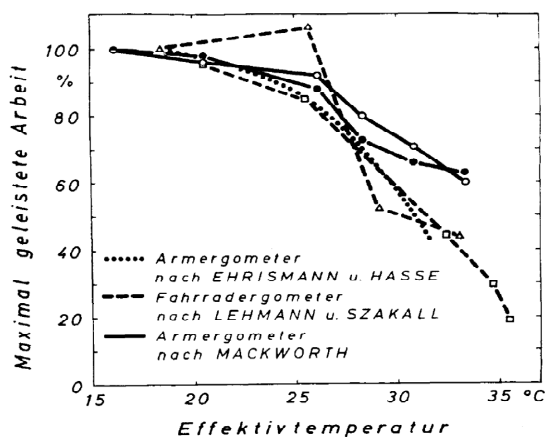


Bild 3-9 Einfluss der Effektivtemperatur auf die Leistungsfähigkeit¹²⁶

¹²² Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962, S. 251.

¹²³ 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..

¹²⁴ 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.

¹²⁵ 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.

¹²⁶ 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 Hettinger¹²⁷ unterstützt. Er wies nach, dass die Leistungsfähigkeit bei einer Effektivtemperatur von ca. 32°C um etwa 50 % reduziert wird. Weitere Untersuchungen von Wenzel / Piekarskie¹²⁸ liefern weitere Erkenntnisse über die Auswirkungen kurzzeitiger Hitzebelastung.

Eine mögliche Referenz-Untersuchung aus dem Bauwesen findet sich lediglich bei Fetzner¹²⁹. Dieser führt zu den rein arbeitswissenschaftlichen Untersuchungen aus:¹³⁰

„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 Messreihen¹³¹ bei der Erstellung von Kalksandstein- und Porotonmauerwerk die jeweiligen Aufwandswerte und stellt diese graphisch dar (Aw^{132} und Aw_{ges}^{133}).¹³⁴

Als weiteres Kriterium führt Fetzner den Einfluss der Windgeschwindigkeit an, in dem er die gefühlte Temperatur (TWC) aus der Temperatur und der Windgeschwindigkeit ermittelt.¹³⁵

¹²⁷ 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.

¹²⁸ 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.

¹²⁹ Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007.

¹³⁰ Fetzner, T.: a.a.O., S. 70.

¹³¹ Eine genauere Beschreibung zum genauen Umfang einer Messreihe konnte bei Fetzner nicht gefunden werden.

¹³² Aufwandswert der Haupt- und Nebentätigkeiten und ablaufbedingten Unterbrechungen

¹³³ Gesamtaufwandswert, der auch die persönlich bedingten Unterbrechungen mitberücksichtigt

¹³⁴ Fetzner, T.: a.a.O., S 170-177.

¹³⁵ Fetzner, T.: a.a.O., S. 184.

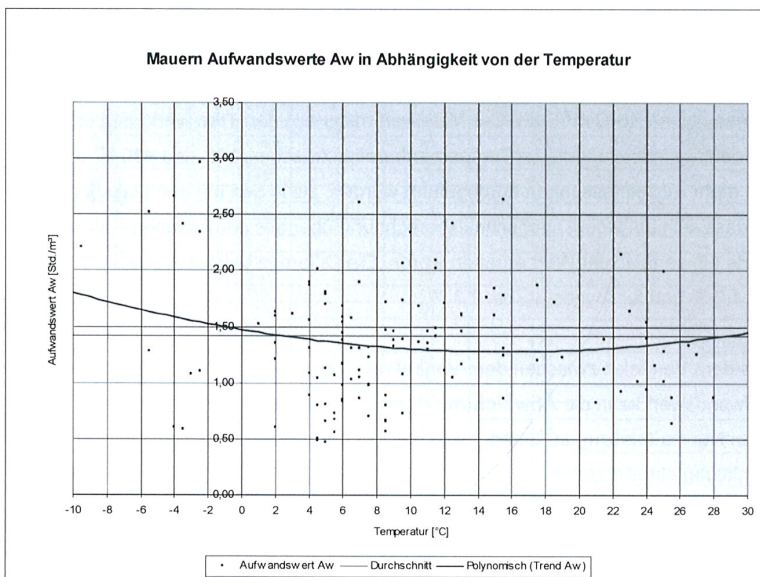
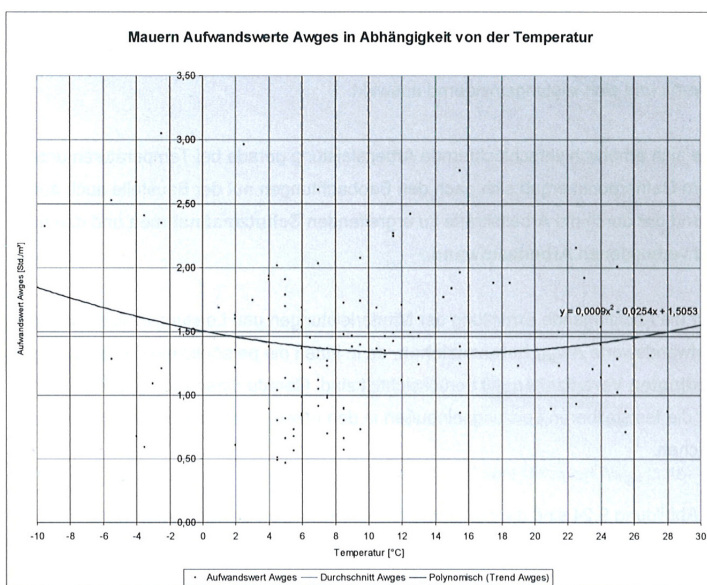


Bild 3-10 Darstellung der Messwerte und der Trendlinie für den Aufwandswert (Aw) Maurerarbeiten¹³⁶



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

Bild 3-11 Darstellung der Messwerte und der Trendlinie für den Aufwandswert (Aw_{ges}) Maurerarbeiten¹³⁷

¹³⁶ Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007, S. 174.

¹³⁷ Fetzner, T.: a.a.O., S. 175.

In Bild 3-10 und Bild 3-11 ist zu erkennen, dass einerseits eine große Anzahl an Messwerten im Bereich von 0 ° bis 10 ° C liegt, im restlichen Untersuchungsbereich jedoch nur eine sehr geringe Datenpunktzahl vorhanden ist. Ebenso ist ersichtlich, dass die Messwerte eine sehr große Streuung gegenüber der Trendlinie aufweisen. Fetzner gibt 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.

Aus seiner Untersuchung ergibt sich das in Bild 3-12 dargestellte Ergebnis der prozentualen Abweichung des Aufwandswertes für Mauerwerksbau vom durchschnittlichen Aufwandswert der Untersuchung.

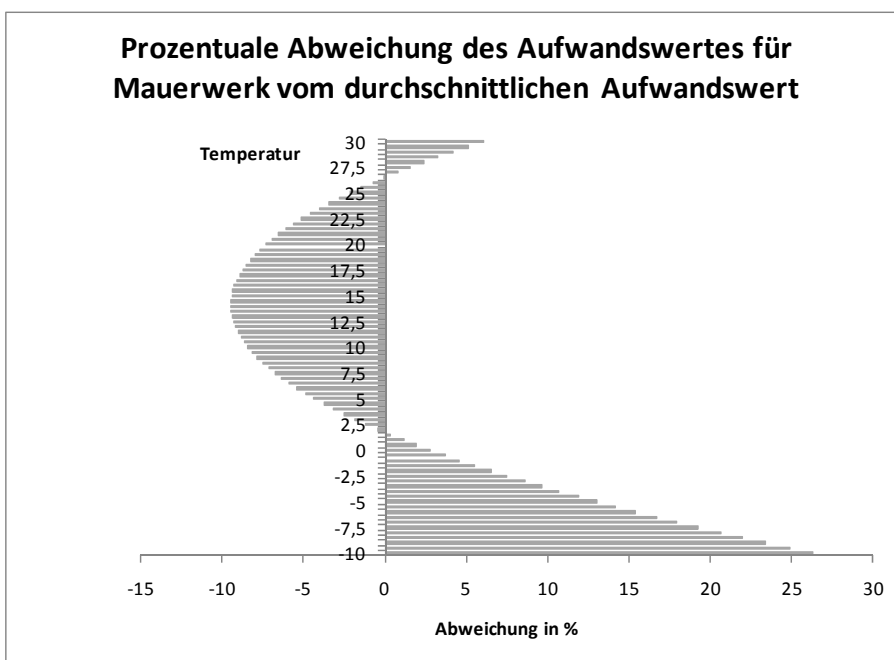


Bild 3-12 Prozentuale Abweichung des Aufwandswertes ($A_{w_{ges}}$) für Mauerwerk vom durchschnittlichen Aufwandswert¹³⁸

Nach Ansicht des Verfassers ist die Darstellung in Bild 3-12 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.

¹³⁸ Fetzner, T.: Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen. Dissertation TU Darmstadt, Darmstadt 2007, S 177.

Weiters sollte auch der Einfluss der Akklimatisation¹³⁹, der von Stegemann¹⁴⁰ untersucht wurde, berücksichtigt werden. Entsprechend seiner Untersuchung ist es möglich, dass die Schweißsekretion als wichtigstes Temperaturregulationsinstrument innerhalb von 9 Tagen um ein Drittel gesteigert werden kann. Somit kann eine Anpassung an eine höhere Temperaturbelastung erfolgen. Neben Stegemann verweisen auch weitere Literaturquellen (Babayev¹⁴¹, Frisancho¹⁴²) auf einen Akklimatisationszeitraum von 7-12 Tagen.¹⁴³

Im Rahmen der Datenauswertung 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.

3.3 Grundlagen und Begriffe der Arbeitsablaufbeobachtung

Die in der Wirtschaft gängigste Untersuchungsmethode für Arbeitsablaufbeobachtungen ist jene nach REFA.¹⁴⁴ Aufbauend auf diese Systematik erfolgt eine Modifikation der Klassifizierung, um die Datenerhebung an die Erfordernisse der vorliegenden Arbeit anzupassen.

3.3.1 Gliederung des Arbeitsablaufes nach REFA

REFA teilt für Beobachtungen den Arbeitsablauf im ersten Schritt in Ablaufabschnitte ein und unterscheidet diese folgendermaßen:¹⁴⁵

- Makroablaufabschnitte
 - ◆ Gesamtablauf
 - ◆ Teilablauf
 - ◆ Ablaufstufe

¹³⁹ „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.

¹⁴⁰ Stegemann, J.: Leistungsphysiologie: Physiolog. Grundlagen d. Arbeit u. d. Sports ; 20 Tab., 3., Thieme, Stuttgart 1984, S. 222-223.

¹⁴¹ 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.

¹⁴² Frisancho, R.: Human Adaptation: A Functional Interpretation, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI 1991.

¹⁴³ Vgl. Stark, M.: Hitzebelastung in der Papierindustrie, Dissertation KFU Graz, Graz 2008, S.4.

¹⁴⁴ 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.

¹⁴⁵ REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 13f.

- ◆ Vorgang (=Ablaufelement)
- Mikroablaufabschnitte
 - ◆ Vorgang
 - ◆ Teilvorgang
 - ◆ Vorgangsstufe
 - ◆ Vorgangselement

Diese Gliederung der Ablaufabschnitte ist auch in Bild 3-13 dargestellt.

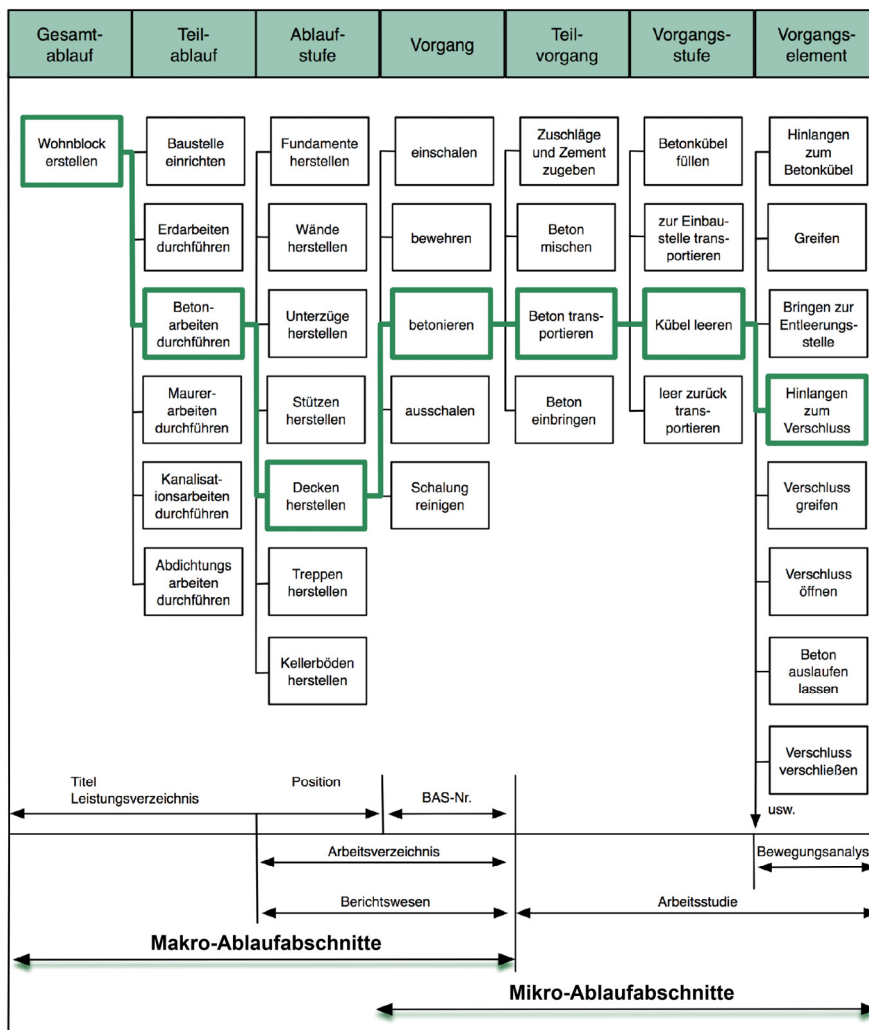


Bild 3-13 Gliederung des Arbeitsablaufs¹⁴⁶

¹⁴⁶ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 1 Grundlagen, Carl-Hanser, München 1984, S. 58.

Nachfolgend wird die Erklärung dieser einzelnen Elemente entsprechend der Ausführungen von REFA dargestellt und abschließend eine Anmerkung zur Verwendbarkeit der Datenaufzeichnung in einer dieser Stufen gegeben, wobei hier auf eigene, frühere Ergebnisse¹⁴⁷ zurückgegriffen wird.

3.3.1.1 Vorgangselement

„Vorgangselemente sind Teile einer Vorgangsstufe, die weder in ihrer Beschreibung noch in ihrer zeitlichen Erfassung weiter unterteilt werden können.“¹⁴⁸

Bsp.: Aufdrehen des Wasserhahns

Die Erfassung von Vorgangselementen wird für Erhebungen im Bauwesen nur selten ausgeführt und erscheint auch für die gegenständliche Untersuchungsreihe als zu feingliedrig, da auch die Auswertung der Daten nicht lösungsorientiert wäre.¹⁴⁹

3.3.1.2 Vorgangsstufen

„Sind Abschnitte eines Teilvorgangs, die eine in sich abgeschlossene Folge von Vorgangselementen umfassen.“

Bsp. Zugeben von Wasser in die Betonmischmaschine

Vorgangsstufen sind die Gliederungsteile, die bei Einzelzeitaufnahmen als kleinste Einheit erfasst werden können. Sie bieten sehr gute Ansatzpunkte für die Verbesserung von Arbeitsabläufen zur Rationalisierung.“¹⁵⁰

Da sich unsere Untersuchungsreihe mit dem Zusammenhang zwischen Arbeitszeit und Arbeitsleistung beschäftigt, erscheint auch die Unterteilung in Vorgangsstufen als zu fein und ergäbe immer noch eine Datenmenge, die für eine sinnvolle Weiterbearbeitung als ungeeignet erscheint.¹⁵¹

¹⁴⁷ Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

¹⁴⁸ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S 14.

¹⁴⁹ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S 14.

¹⁵⁰ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S 14.

¹⁵¹ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S 14.

3.3.1.3 Teilvorgänge

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

Bsp. Beton mischen“¹⁵²

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.¹⁵³

3.3.1.4 Vorgang

„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 Auftrags n-mal. Ein Vorgang besteht im Allgemeinen aus mehreren Teilvorgängen, manchmal aber auch nur aus einer oder mehrerer Vorgangsstufen.“¹⁵⁴

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.¹⁵⁵

Für eine ausreichend genaue Beschreibung der ausgeführten Tätigkeit müssen noch folgende Punkte näher beschrieben werden:¹⁵⁶

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.¹⁵⁷

Arbeitsmethode

Bezeichnet die Regeln zur Arbeitsausführung bei bestimmten Arbeitsverfahren.¹⁵⁸

¹⁵² REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S 14f.

¹⁵³ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 14f.

¹⁵⁴ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

¹⁵⁵ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

¹⁵⁶ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S. 8-5f.

¹⁵⁷ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

¹⁵⁸ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 15.

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.¹⁵⁹

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 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.

3.3.2 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.¹⁶⁰

3.3.2.1 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.¹⁶¹

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.

¹⁵⁹ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 17.

¹⁶⁰ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 53f und S. 65f.

¹⁶¹ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 53f.

Neben der Einzelzeitaufnahme wird bei REFA auch das Vorgehen bei einer Gruppenzeitaufnahme beschrieben. Dieses Aufnahmeverfahren, unterscheidet sich grundsätzlich nicht von der Einzelzeitaufnahme für eine Einzelperson und wird daher nicht weiter beschrieben. Einzige Veränderung ist die Einführung einer Bewertung der Leistungsfähigkeit der beobachteten Person erforderlich, um die Bauarbeiter personenübergreifend auswerten zu können.

3.3.2.2 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 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.¹⁶²

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-Zufallstafeln von REFA¹⁶³, 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.¹⁶⁴

3.3.3 Beobachtungskategorien

Für eine weitere Auswertung nach REFA müssen die beobachteten nach bestimmten Kriterien geclustert werden. Eine solche Kategorisierung erfolgt nach folgendem Schema:¹⁶⁵

¹⁶² Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S.65f.

¹⁶³ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 77.

¹⁶⁴ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 65-86.

¹⁶⁵ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 3 Arbeitsgestaltung, Carl-Hanser, München 1984, S.20ff.

Tabelle 3-4 Ablaufgliederung nach REFA¹⁶⁶

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.“¹⁶⁷

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).“¹⁶⁸

¹⁶⁶ Vgl. REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 20.

¹⁶⁷ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): a.a.O., S. 20.

¹⁶⁸ 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.

Somit ergeben sich nachfolgende Kategorien:

Tabelle 3-5 Einteilung der Vorgänge des Arbeitsablaufs nach Schlagbauer¹⁶⁹

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, Toiletten-gang, 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.

¹⁶⁹ 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 Arbeitsleistungskurven und Systematik

4.1 Arbeitsleistungskurven

Aufbauend auf den vorhergehenden Kapiteln werden die beiden allgemein bekannten und in der gängigen bauwirtschaftlichen Literatur vorgefundenen Ansätze zu den Arbeitsleistungskurven sowie weitere, weniger gebräuchliche Untersuchungen zur Berücksichtigung der Leistungsveränderungen bei verlängerter Arbeitszeit vorgestellt.

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 Lehmann¹⁷⁰, die zweite jener von Burkhardt¹⁷¹ und Winter¹⁷².

Arbeitsleistungskurve =
graphische Darstellung des
Zusammenhangs zwischen
täglicher Arbeitszeit und
Arbeitsleistung

4.1.1 Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann

Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann wurde im Jahr 1962 in „Praktische Arbeitsphysiologie“¹⁷³ 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.¹⁷⁴

Die Grundlagen für die Entwicklung seiner Arbeitsleistungskurve erklärt Lehmann auf Basis arbeitsphysiologischer Betrachtungen und der Darstellung der Auswirkungen von Belastungen auf den Körper.¹⁷⁵

¹⁷⁰ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

¹⁷¹ Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

¹⁷² Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

¹⁷³ Lehmann, G.: a.a.O.

¹⁷⁴ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

¹⁷⁵ Vgl. Schlagbauer, D.: a.a.O.

Diese Überlegungen führen nach Lehmann zu folgendem graphischen Zusammenhang:

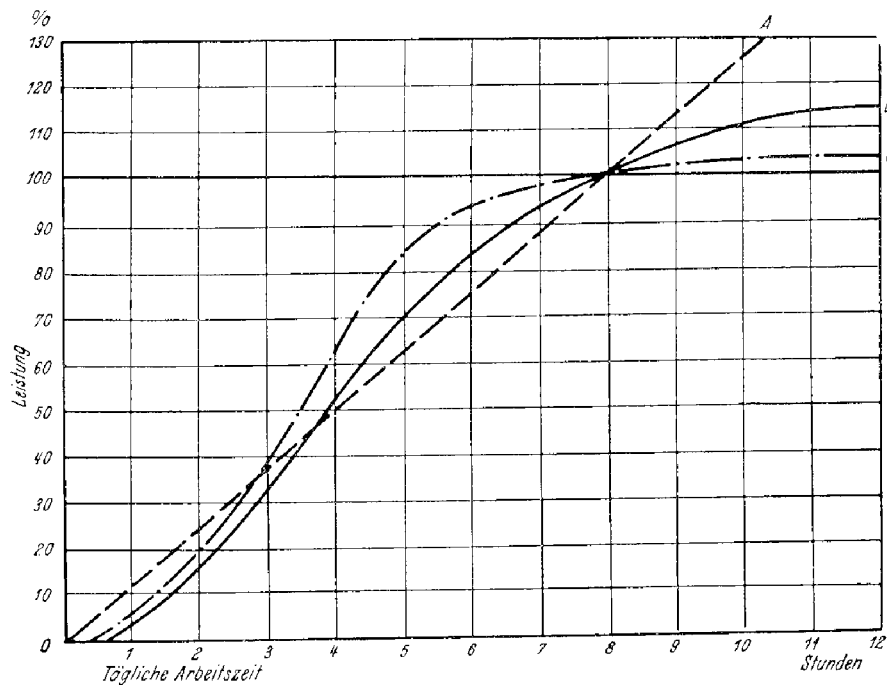


Bild 4-1 Arbeitsleistungskurve nach Lehmann¹⁷⁶

Kurve A ... Proportionale Leistung

Kurve B ... leichte körperliche Arbeit

Kurve C ... schwere körperliche Arbeit

In Hinblick auf seine Darstellung führt Lehmann aus:

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

¹⁷⁶ Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 S.391.

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.¹⁷⁷

4.1.2 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“¹⁷⁸ 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. (...)

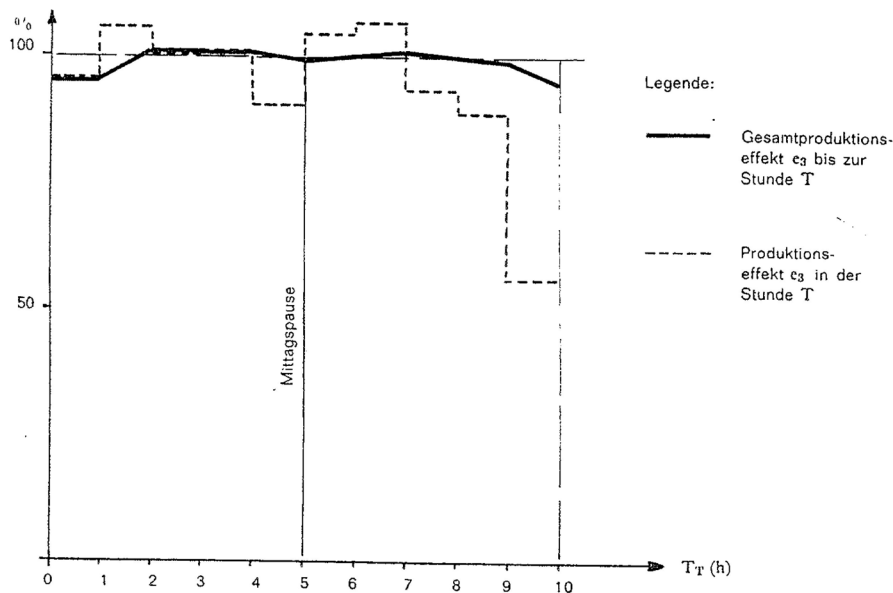
Die Grenze der zeitlichen Anpassung ist deshalb dann erreicht, wenn der Leistungszuwachs (Grenzertrag) unwirtschaftlich wird oder wenn gesetzliche Bestimmungen die tägliche Arbeitszeit regeln.

Ist die Möglichkeit der zeitlichen Modifikation erschöpft, so verbleibt nur die quantitative Anpassung, d.h. der Betrieb muss seinen Produktionsapparat vergrößern.“¹⁷⁹

¹⁷⁷ Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962 S.390ff.

¹⁷⁸ Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963.

¹⁷⁹ Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963, S.80f.

Bild 4-2 Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt¹⁸⁰

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.“¹⁸¹

4.1.3 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.

¹⁸⁰ Burkhardt, G.: Kostenprobleme der Bauproduktion, Schriftenreihe des Bayerischen Bauindustrieverbandes Nr. 3, Bauverlag, Wiesbaden Berlin 1963, S.80.

¹⁸¹ Burkhardt, G.: a.a.O., S.80.

Hierzu überarbeitete Winter die Leistungskurve von Burkhardt:

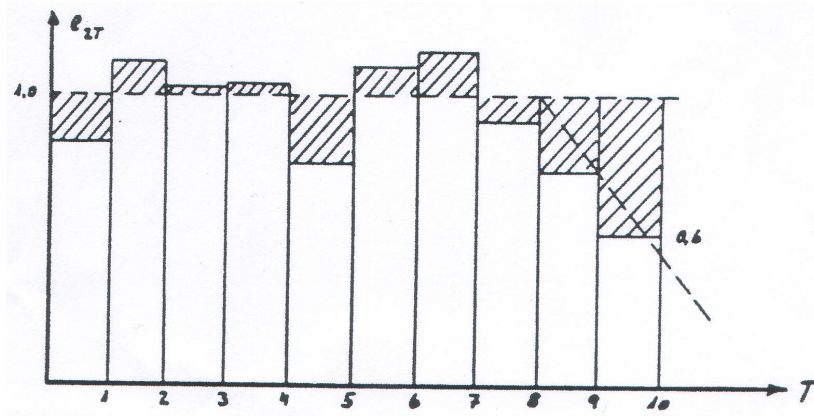


Bild 4-3 Von Winter überarbeitete Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt¹⁸²

Aufbauend auf dieser Grafik vereinfachte Winter¹⁸³ den Kurvenverlauf soweit, dass mittels einer einfach zu berechnenden Formel der Kurvenverlauf und somit die Leistungsänderung beschrieben werden konnte.

$$e * T = 12 - 16 \left(1 - \frac{T}{16}\right)^2 \quad (4.1)$$

Die Tagesleistung wird dabei als Produkt des Leistungseffektes e und der Arbeitsdauer T angegeben. Diese Gleichung ist in Bild 4-4 dargestellt.

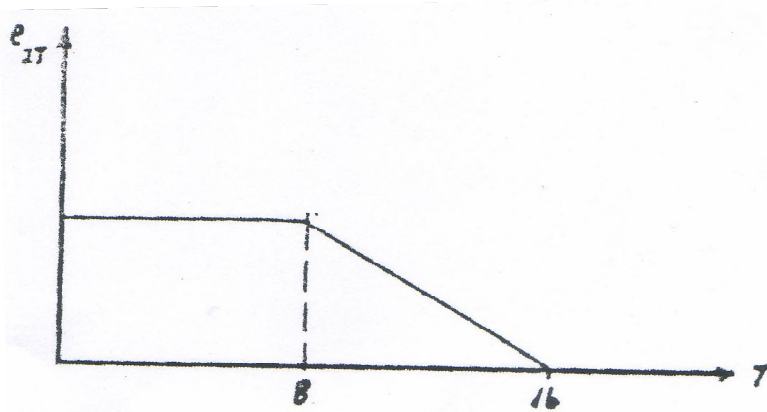


Bild 4-4 Idealisierte Leistungskurve nach Winter¹⁸⁴

¹⁸² Leistungskurve nach Burkhardt dargestellt in Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966, S. 83.

¹⁸³ Winter, H.-J.: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation RWTH Aachen, Aachen 1966.

¹⁸⁴ Winter, H.-J.: a.a.O., S. 84.

4.1.4 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.

4.1.4.1 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 Hofstadler¹⁸⁵ verschiedene Darstellungen¹⁸⁶ zu Einflussfaktoren für die Ermittlung des Aufwandswertes bzw. der zu erbringenden Leistung. Ebenso finden sich Untersuchungen zur Bestimmung der Beanspruchung von Bautätigkeiten bei Abdelhamid¹⁸⁷ und Landau/Rohmert¹⁸⁸, wodurch eine Unterscheidung in leichte oder schwere körperliche Arbeit möglich wäre.

¹⁸⁵ 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.

¹⁸⁶ Die überblicksmäßige Darstellung der Einflüsse auf die Leistung bzw. den Aufwandswerte erfolgte in Bild 3-1 und Bild 3-2, auf die an dieser Stelle nochmals verwiesen wird..

¹⁸⁷ Vgl. Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.: Physiological Demands during Construction Work, in: Journal of Engineering and Management Jg.128 (2002) S. 427-437.

¹⁸⁸ 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.

4.1.4.2 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.¹⁸⁹

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.“¹⁹⁰*

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.¹⁹¹

¹⁸⁹ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

¹⁹⁰ Schlagbauer, D.: a.a.O., S. 2-6f.

¹⁹¹ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 53.

4.1.4.3 Anmerkungen zu den Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter

Auch bei Burkhardt und Winter können verschiedene Anmerkungen gemacht werden:^{192,193}

- ♦ 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 Bild 4-3, da der Leistungswert dieser Stunde nur mehr ca. 50% des Tagesmittelwertes beträgt.

Auch die Umlegung von Daten, welche auf Basis von Maschineneinsatz erbrachten Leistungen 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:¹⁹⁴

„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.“

¹⁹² Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S.2-22f und 2-25.

¹⁹³ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.50.

¹⁹⁴ 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.¹⁹⁵

4.1.5 Weitere Ansätze zur Bestimmung des Leistungsverlustes bei längerer Arbeitszeit

Neben diesen bekannten Veröffentlichungen, die auch von Vygen/Schubert/Lang¹⁹⁶, Kropik/Krammer¹⁹⁷, Link¹⁹⁸ oder Jureka¹⁹⁹ übernommen wurden, finden sich weitere Überlegungen zur Abschätzung des Leistungsverlustes bei Graf, Hildebrandt, Hager sowie Car und Rumpold.

4.1.5.1 Arbeitsleistungsverluste nach Graf

Der Arbeitswissenschaftler Graf²⁰⁰ analysierte die Einflüsse auf die Leistungserbringung von Arbeitern und gliederte diese in zwei Bereiche. Einerseits in die Leistungsfähigkeit und andererseits in die Leistungsbereitschaft, wobei diese nochmals in körperliche und geistig-seelische unterschieden wird.²⁰¹

¹⁹⁵ Vgl. Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmassnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 74.

¹⁹⁶ Vygen, K., Schubert, E., Lang, A., Bauverzögerung und Leistungsänderung; rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, 5. Auflage, Werner, Köln 2008.

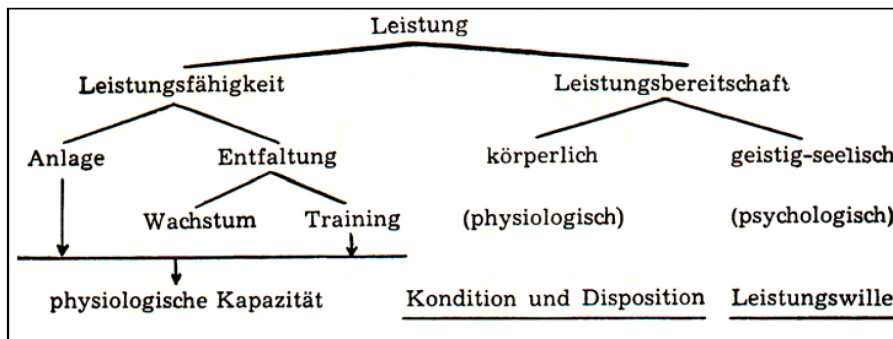
¹⁹⁷ Kropik, A.; Krammer, P.: Mehrkostenforderungen beim Bauvertrag; Ansprüche aus Leistungsänderungen, ihre Geltendmachung und Abwehr, 1. Auflage, Wien 1999.

¹⁹⁸ Link, D.: ClaimManagement, Wie setze ich meine Ansprüche Wie setze ich meine Ansprüche gegenüber dem Vertragspartner erfolgreich durch?, Vortrag 2011.

¹⁹⁹ Jureka, W.: Kosten von Bauzeitverlängerungen, in: Bauzeitung (1982), S. 1451–1456.

²⁰⁰ Graf, O.: Arbeitszeit und Produktivität; Untersuchungsergebnisse wissenschaftlicher Forschungsinstitute ; Ganztägige Arbeitsablaufuntersuchungen an 200 Arbeitsplätzen, Duncker-&Humblot, Berlin 1959.

²⁰¹ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006 und Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007.

Tabelle 4-1 Schema zum Aufbau der menschlichen Leistung²⁰²

Auf Basis dieser Überlegungen führte Graf Arbeitsablaufstudien bei 200 Arbeitsplätzen in der Industrie mit Hilfe von REFA-Aufnahmen durch. Aus diesen Untersuchungsergebnissen ermittelte Graf z.B. den Leistungsverlust beim Stanzen von Nuten in einem Metallbaubetrieb.

Wie bereits von Rumpold²⁰³ und auch in eigenen Analysen²⁰⁴ ausgeführt, finden sich unter den untersuchten Betrieben von Graf keine Bauunternehmen, weshalb die Anwendung dieser Ergebnisse als wenig sinnvoll angesehen wird.

Für den Aufbau der Untersuchung konnten jedoch wertvolle Anregungen gewonnen werden, da Graf seinen Untersuchungsablauf und auch die Auswertung sehr detailliert darstellte.

4.1.5.2 Arbeitsleistungsverluste nach Hildebrandt

Aufbauend auf den Überlegungen von Graf entstand der Ansatz nach Hildebrandt²⁰⁵, der bei seinen Untersuchungen die Auswirkungen einer Arbeitszeitflexibilisierung untersuchte. Hierbei übernahm er die Verteilung der Leistungsfähigkeit nach Graf und führte bei 16 Arbeitern über einen Zeitraum von vier Monaten Untersuchungen bei fixer und variabler Arbeitszeit durch.²⁰⁶

Das Ergebnis der Untersuchungen ist in Bild 4-5 dargestellt. Diese Darstellungsweise entspricht dabei jener von Burkhardt.

²⁰² Graf, O.: Arbeitszeit und Produktivität; Untersuchungsergebnisse wissenschaftlicher Forschungsinstitute ; Ganztägige Arbeitsablaufuntersuchungen an 200 Arbeitsplätzen, Duncker-&-Humblot, Berlin 1959, S. 10

²⁰³ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.53ff.

²⁰⁴ Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S.2-7ff.

²⁰⁵ Hildebrandt, W.: Untersuchung zur Berücksichtigung der menschlichen Tagesrhythmik durch eine variable Arbeitszeitregelung, Dissertation RWTH Aachen, Eigenverlag 1972.

²⁰⁶ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.57ff.

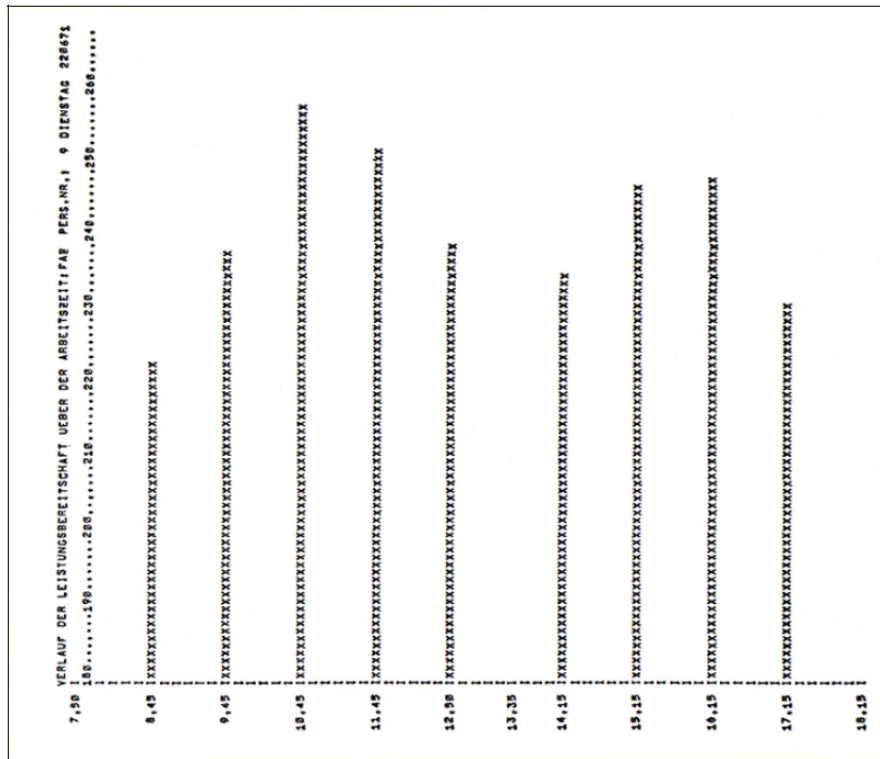


Bild 4-5 Standardisierte Tageskurve nach Hildebrandt²⁰⁷

Aus Bild 4-5 ist ersichtlich, dass nach Hildebrandt die höchste Leistung in der dritten bis vierten und siebenten bis achten Arbeitsstunde erreichbar ist. Ebenso stellt er einen Abfall der Leistung in der neunten Stunde dar.

Weitere für eine Anwendung verwertbare Informationen in Form einer Formel oder tabellarischer Angaben werden bei Hildebrandt selbst nicht vorgefunden.²⁰⁸ Eine für die Anwendung erstellte Aufbereitung dieser Daten findet sich jedoch bei Hager:²⁰⁹

²⁰⁷ Hildebrandt, W.: Untersuchung zur Berücksichtigung der menschlichen Tagesrhythmik durch eine variable Arbeitszeitregelung, Dissertation RWTH Aachen, Eigenverlag 1972 gefunden in Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 59.

²⁰⁸ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 57ff.

²⁰⁹ Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmassnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 66.

Tabelle 4-2 Tageszeitliche Schwankungen der physiologischen Leistungsbereitschaft²¹⁰

Arbeitsstunde	Zeit		Leistung
	von	bis	[%]
1	07:00	08:00	128
2	08:00	09:00	133
3	09:00	10:00	128
4	10:00	11:00	121
5	11:00	12:00	112
6	12:00	13:00	105
7	13:00	14:00	102
8	14:00	15:00	100
9	15:00	16:00	102
10	16:00	17:00	105
11	17:00	18:00	110

Zu den Überlegungen von Hildebrandt wurden dabei von Rumpold und Hager folgende Kritikpunkte angebracht:

- Entgegen der gut dokumentierten Voruntersuchung wurden die Ergebnisse beim Haupttest nicht gut aufbereitet. Sie sind daher schwer nachvollziehbar und eine Darstellung von mathematischen Zusammenhängen fehlt.²¹¹
- Bei den beobachteten Tätigkeiten handelt es sich nicht um körperlich schwer belastende Tätigkeiten, wie diese üblicherweise im Baugewerbe stattfinden, sondern um Beobachtungstätigkeiten. Weiters stellt der geringe Probandenumfang von 3 Personen eine zu geringe Stichprobe dar.²¹²

Aus diesen Gründen kann an dieser Stelle der gleiche Schluß gezogen werden, den auch Hager formulierte: „(...) die Verwendung der physiologischen Leistungsbereitschaft als Maß der Leistungsminderung bei Bauarbeiten mit mehr als 8-stündiger täglicher Arbeit (...)“²¹³ ist auf Basis der Darstellungen und der derzeit bekannten Untersuchungsergebnisse von Hildebrandt anzuzweifeln.²¹⁴

²¹⁰ Hildebrandt: Hildebrandt: Untersuchungen zur Berücksichtigung der menschlichen Tagesrhythmik durch eine variable Arbeitszeit, 1972 gefunden in Hager: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, S. 66.

²¹¹ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.60.

²¹² Vgl. Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S.67.

²¹³ Hager, H.: a.a.O., S.67.

²¹⁴ Vgl. Hager, H.: a.a.O., S.67.

4.1.5.3 Arbeitsleistungsverluste nach Hager

Im Gegensatz zu beiden zuvor dargestellten Literaturquellen beschäftigt sich Hager nicht nur mit dem Leistungsverlust bei Überstunden bzw. länger dauernder Arbeitstätigkeit, sondern auch mit Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben.²¹⁵

Auch er verweist im Rahmen der Literaturuntersuchung auf die Abhandlung von Lehmann und Burkhardt bzw. Winter zur Thematik des Leistungsverlustes bei längerer Arbeitszeit und befindet diese ebenfalls nur als bedingt einsetzbar.²¹⁶

Ergänzend zu dieser Literaturanalyse stellt Hager drei Studienarbeiten mit empirischen Erhebungen auf Baustellen mit verschiedenen Arbeitstätigkeiten (Kanalarbeiten²¹⁷, Maurerarbeiten²¹⁸ und Bewehrungsarbeiten²¹⁹) vor. Hieraus entwickelt er eine eigene Darstellung des Leistungsverlustes (siehe Bild 4-6).²²⁰

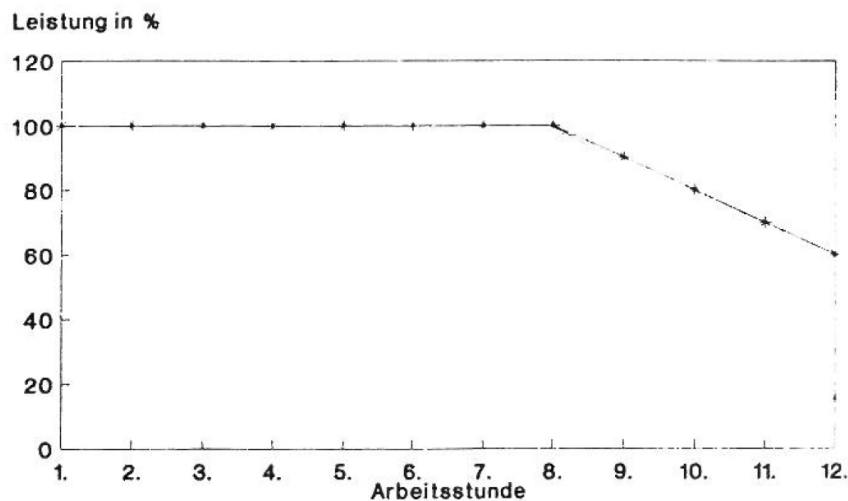


Bild 4-6 Leistungsverlust in Abhängigkeit der täglichen Arbeitszeit nach Hager²²¹

²¹⁵ Vgl. Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S.37ff.

²¹⁶ Vgl. Hager, H.: a.a.O., S.75.

²¹⁷ Bodensohn, K.: Schwankende Arbeitsproduktivität im Verlauf der täglichen Arbeitszeit, Diplomarbeit, TH Darmstadt, Darmstadt 1989 gefunden in Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 76.

²¹⁸ Berberat, A.: Änderung von Arbeitsproduktivität und Lohnkosten bei mehr als 8-stündiger täglicher Arbeitszeit, Diplomarbeit TH Darmstadt, Darmstadt 1990 gefunden in Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 78.

²¹⁹ Möhler, J.: Arbeitsproduktivität im Gleitbau, Diplomarbeit TH Darmstadt, Darmstadt 1989 gefunden in Hager, H.: Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben, VDI, Düsseldorf 1991, S. 80.

²²⁰ Vgl. Hager, H.: a.a.O., S.61ff.

²²¹ Hager, H.: a.a.O., S. 81.

Aus Bild 4-6 ist ersichtlich, dass Hager ebenso wie Burkhardt bzw. Winter den Leistungsknick bei acht Stunden täglicher Arbeit festlegt, jedoch einen Leistungsrückgang auf 60 % der durchschnittlichen täglichen Leistung erst in der zwölften und nicht wie Burkhardt bzw. Winter in der zehnten Stunde sieht. Demnach ergibt sich ein geringerer Leistungsverlust in den späteren Arbeitsstunden aus diesen Überlegungen.

Eine vergleichende Darstellung der bislang diskutierten Leistungskurven ist Rumpold²²² zu entnehmen.

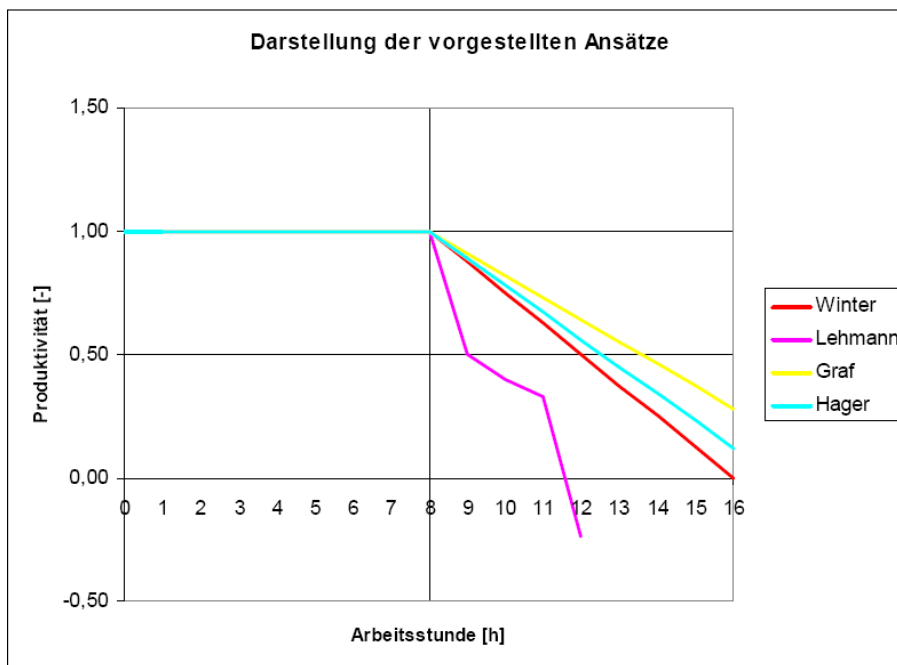


Bild 4-7 Vergleich der Literaturansätze zum Leistungsverlust bei längerer Arbeitszeit²²³

In Bild 4-7 ist der deutliche Unterschied zwischen dem Ansatz von Lehmann und den drei weiteren Ansätzen von Winter, Hager und Graf erkennbar.

Hinsichtlich der Leistungskurve von Hager ist anzumerken, dass diese eine Erweiterung der bestehenden Untersuchungen darstellt. Sie hat sich in der Literatur und der Praxis allerdings nicht durchgesetzt.²²⁴

Ergänzend ist festzuhalten, dass auch Hager auf Basis einzelner Untersuchungen lediglich eine generelle, für das gesamte Bauwesen anwend-

²²² Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 68.

²²³ Rumpold, A.: a.a.O., S. 68.

²²⁴ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S.64.

bare Leistungskurve erstellt hat. Die nach Ansicht des Verfassers daraus entstehende Problematik wurde bereits ausführlich geschildert.

4.1.5.4 Arbeitsleistungsverluste nach Car

In einer Untersuchung aus dem Jahr 1998 stellt Car²²⁵ die Analyse der Produktivität auf Baustellen dar. Hierbei untersuchte er nicht die Leistungsverluste im Verlauf eines Arbeitstages, sondern verglich die täglich erbrachten Arbeitsleistungen im Beobachtungszeitraum. Durch diesen Umstand sind diese Ergebnisse für die vorliegende Arbeit von untergeordneter Bedeutung.²²⁶

Wesentlich Interessanter ist jedoch, dass Car die Baustellen in verschiedenen Untersuchungsgruppen entsprechend der jeweiligen Arbeitstätigkeit unterscheidet und somit Überlegung zu einer differenzierten Leistungsverlustermittlung bestärkt.²²⁷

4.1.5.5 Arbeitsleistungsverluste nach Rumpold

Rumpold²²⁸ untersucht in ihrer Arbeit auf Basis empirischer Daten den Leistungsverlust infolge längerer Arbeitszeit.

Rumpold erkennt ebenso wie Car, dass es notwendig ist, mehrere verschiedene Arbeitstypen zu unterscheiden. Entsprechend dieser Überlegungen werden die Tätigkeiten nach geistiger und körperlicher Beanspruchung in drei verschiedene Arbeitstypen unterteilt.

Im Detail unterscheidet Rumpold folgende Arbeitstypen:²²⁹

- Typ A: Körperlich wenig und geistig sehr anstrengende Arbeit – Maschinist
- Typ B: Körperlich und geistig mäßig anstrengende Arbeit – Elektromonteur
- Typ C: Körperlich sehr und geistig wenig anstrengende Arbeit – Bewehrungsarbeiten („Eisenbieger“)

Rumpold sieht dabei die Anwendung der Ergebnisse aus dem Baubereich auch in anderen Industriebereichen²³⁰. Aufgrund des gewählten

²²⁵ Car, P.: Messung und Analyse von Produktivität auf Baustellen, Diplomarbeit TU Wien, 2000.

²²⁶ Weitere Untersuchungen zur Wochenarbeitszeit finden sich bei Oglesby, C. H. et al. (Hrsg.): Productivity improvement in construction, McGraw Hill, New York 1989.

²²⁷ Vgl. Car, P.: a.a.O., S. 69ff.

²²⁸ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007.

²²⁹ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S.70f.

²³⁰ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S.69f.

Untersuchungsansatzes mit der Bewertungsmöglichkeit und Einstufung entsprechend der verschiedenen Aufgabenbereiche der untersuchten Arbeiter erscheint diese Überlegung plausibel.

Die Auswertung der empirischen Erhebungen stellt Rumpold im Rahmen von drei Diagrammen einzeln dar, bevor abschließend eine Gegenüberstellung der verschiedenen Arbeitstypen erfolgt. Die nachfolgenden Bilder zeigen die Ergebnisse der Untersuchungsergebnisse.

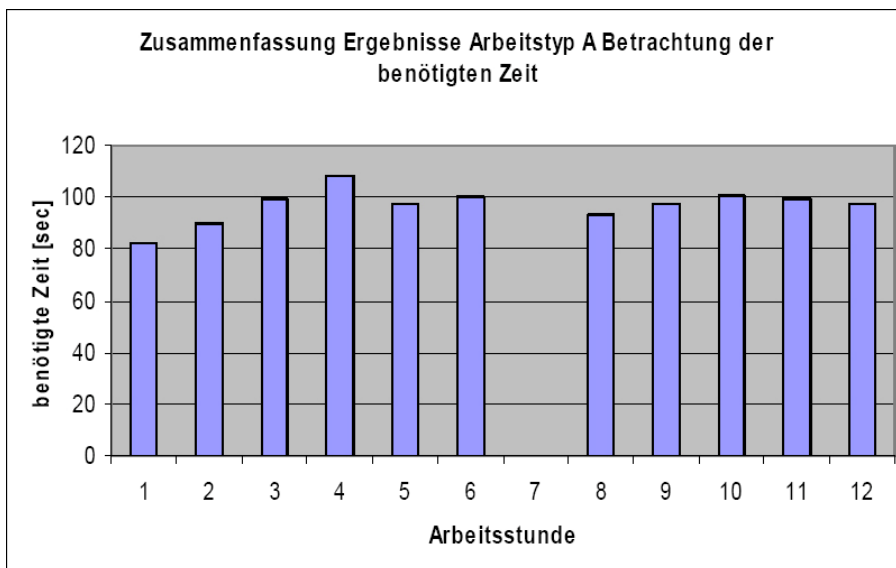


Bild 4-8 Veränderung der benötigten Arbeitszeit je Ladespiel im Verlauf eines Arbeitstages²³¹

Für den Arbeitstyp „A“ wurden an vier Arbeitstagen die Ladespielzeiten einer Bagger-LKW-Geräteketten analysiert. Anhand der Darstellung der Ladespielzeiten in Bild 4-8 ist die Veränderung im Laufe eines Arbeitstages ersichtlich. Wesentlich aussagekräftiger ist jedoch die Darstellung der tatsächlich ausgeführten Ladespiele in Bild 4-9.

²³¹ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.85.

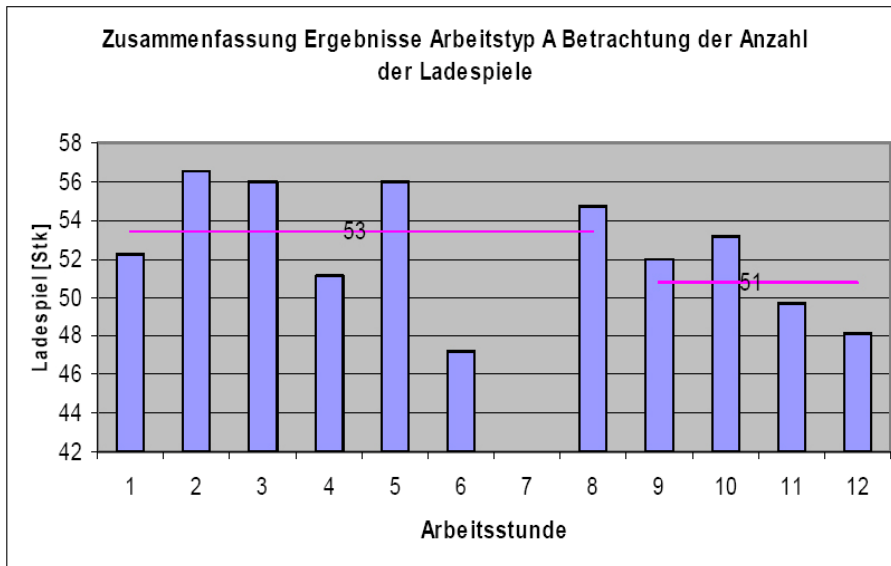


Bild 4-9 Anzahl der Ladespiele je Arbeitsstunde²³²

Aus Bild 4-9 ist der Leistungsverlauf während des Arbeitstages sehr deutlich erkennbar. Einerseits sind die Pausen in der vierten und siebenten Stunde klar ersichtlich, andererseits ist ein Leistungsabfall nach der achten Stunde zu erkennen.²³³ In Analogie zu den bisherigen Arbeitsleistungskurven werden von ihr die Leistungsmittelwerte für die erste bis achte Stunde und die nachfolgenden Arbeitsstunden erstellt.

An dieser Stelle soll noch auf den großen Leistungsrückgang in der sechsten Stunde hingewiesen werden, der von Rumpold nur wenig beachtet wird. Durch den Einfluss der geringen Leistung in der sechsten Stunde wird die dargestellte hohe Leistung der ersten Stunden verringert.

Für den Arbeitstyp „B“ ergibt die Auswertung der Elektromontagearbeiten im Tunnel, welche ebenfalls an vier Arbeitstagen durchgeführt wurden folgendes Bild.

²³² Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.84.

²³³ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S. 84f.

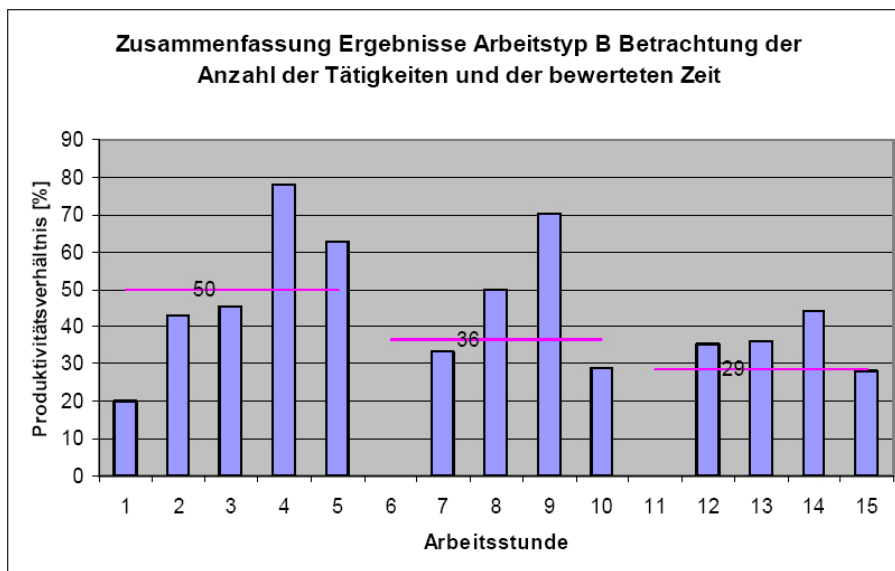


Bild 4-10 Veränderung der Tätigkeiten in den einzelnen Stunden eines Arbeitstages mit 15 Stunden Bruttoarbeitszeit²³⁴

Die Leistung der einzelnen Arbeitsabschnitte ist in Bild 4-10 ersichtlich. Nach Arbeitsbeginn steigt diese jeweils auf ein Maximum des jeweiligen Arbeitsabschnittes an und fällt danach bis zur nächsten Unterbrechung wieder ab. Rumpold interpretiert diese Leistungssteigerung als „Schlussantrieb“ vor der Pause.²³⁵

Weiters zeigen die gemittelten Werte der einzelnen Arbeitsabschnitte zeigen einen deutlichen Leistungsverlust mit Zunahme der Arbeitsdauer.

Für den abschließenden dritten Arbeitstyp „C“ ergibt sich nach Auswertung von vier Arbeitstagen, wobei hier an nur zwei Arbeitstagen die Erhebung durch Rumpold erfolgte und an zwei weiteren Tagen diese Aufgabe einem Vorarbeiter übertragen wurde, das nachstehende Bild. Aufgezeichnet wurden die Tätigkeiten an zwei Schneidemaschinen, wobei hier an den letzten beiden Tagen nur an einer Maschine gearbeitet wurde.²³⁶ Somit ergeben sich in Summe 6 Maschinen-Beobachtungstage.

²³⁴ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 97.

²³⁵ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S. 94.

²³⁶ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S.99.

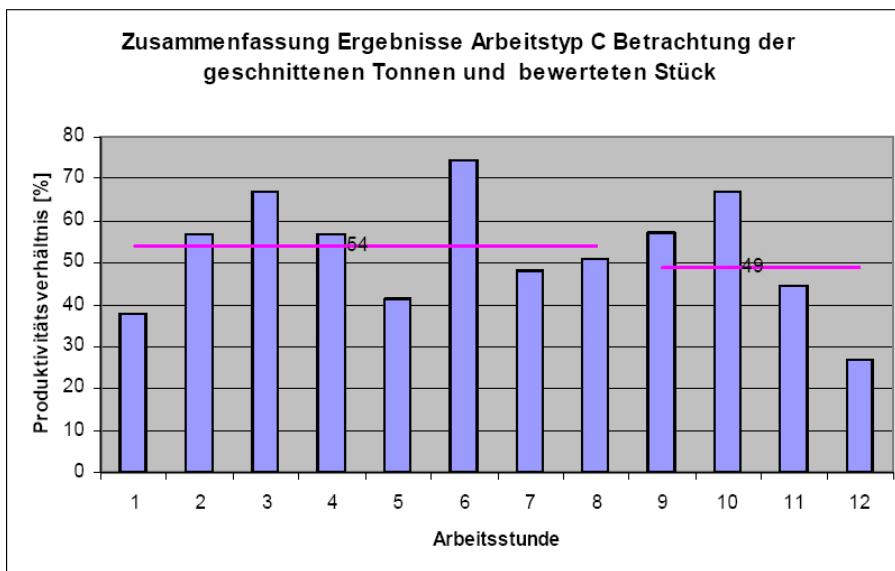


Bild 4-11 Produktivitätsverhältnis im Verlauf des Arbeitstages für Typ C²³⁷

Der Leistungsverlaufs für Typ C ist in Bild 4-11 dargestellt. Rumpold ermittelt durch eine Mittelwertbildung des Leistungsverlaufs der geschnittenen Tonnen und der bewerteten geschnittenen Stück das Produktivitätsverhältnis. Auch in diesem Fall ergibt sich ein Rückgang des Leistungs-Mittelwerts der ersten acht Stunden mit den weiteren Stunden des Arbeitstages.²³⁸

In der abschließenden Gegenüberstellung war von Rumpold ein Vergleich der drei verschiedenen Arbeitstypen vorgesehen. Der tatsächliche Vergleich wurde jedoch nur mit zwei Arbeitstypen ausgeführt und folgender Aussage begründet:

„Die Ergebnisse des Arbeitstyp C passen nicht in das Auswertungsschema und müssen daher vernachlässigt werden.“²³⁹

²³⁷ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 109.

²³⁸ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S. 105ff.

²³⁹ Rumpold, A.: a.a.O., S. 111.

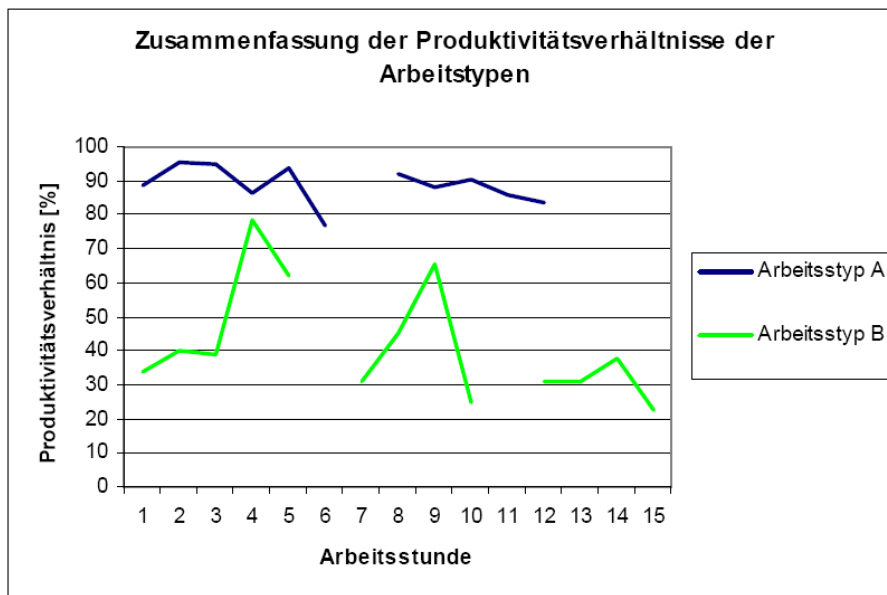


Bild 4-12 Vergleich der Produktionsverhältnisse im Verlauf des Arbeitstages bei Typ „A“ und Typ „B“²⁴⁰

Ähnlich wie Winter steht bei Rumpold die einfache Anwendungsmöglichkeit der Ergebnisse im Blickpunkt der Überlegungen, weshalb aus den in Bild 4-12 dargestellten Kurven mit Hilfe von Berechnungen und Mittelwertbildungen eine Abbildungen (Bild 4-13) erstellt wurde, welche auch mittels zweier Gleichungen (Glg. (4.2) und Glg. (4.3)) beschrieben werden kann:²⁴¹

²⁴⁰ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 114.

²⁴¹ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S114ff.

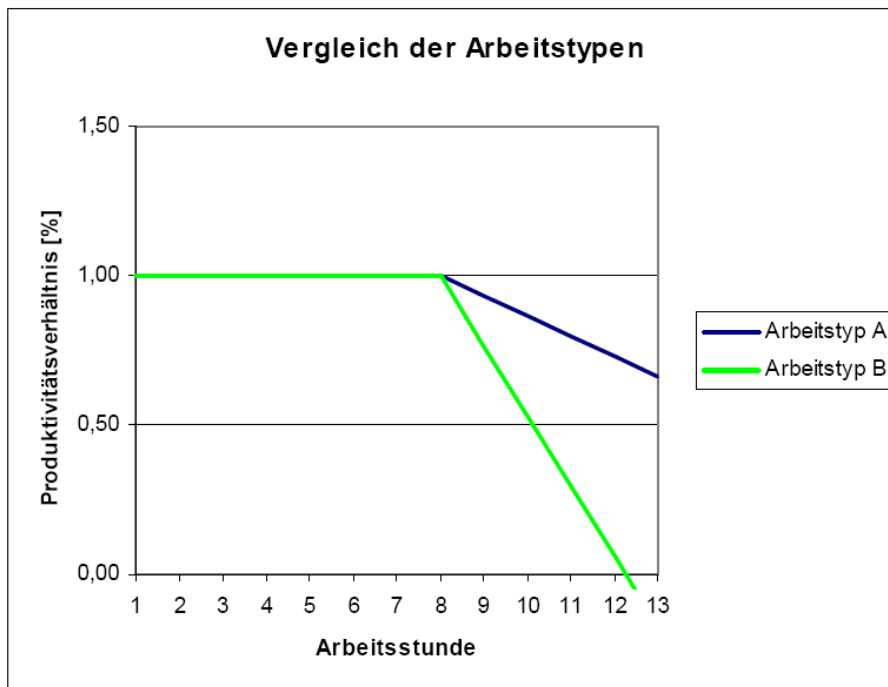


Bild 4-13 Graphische Darstellung des Produktionsverhältnisses im Verlauf des Arbeitstages²⁴²

- Gleichung für Arbeitstyp A

$$\bar{e}_{2r} * T = 1,54 * T - \frac{T^2}{29,68} - 2,16 \quad (4.2)$$

- Gleichung für Arbeitstyp B

$$\bar{e}_{2r} * T = 2,88 * T - \frac{T^2}{8,50} - 7,51 \quad (4.3)$$

In einem abschließenden Vergleich ergänzt Rumpold das zuvor gezeigte Bild 4-7 um die beiden eigenen Berechnungsmodelle und kommt zum nachfolgend dargestellten Ergebnis.

²⁴² Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.118.

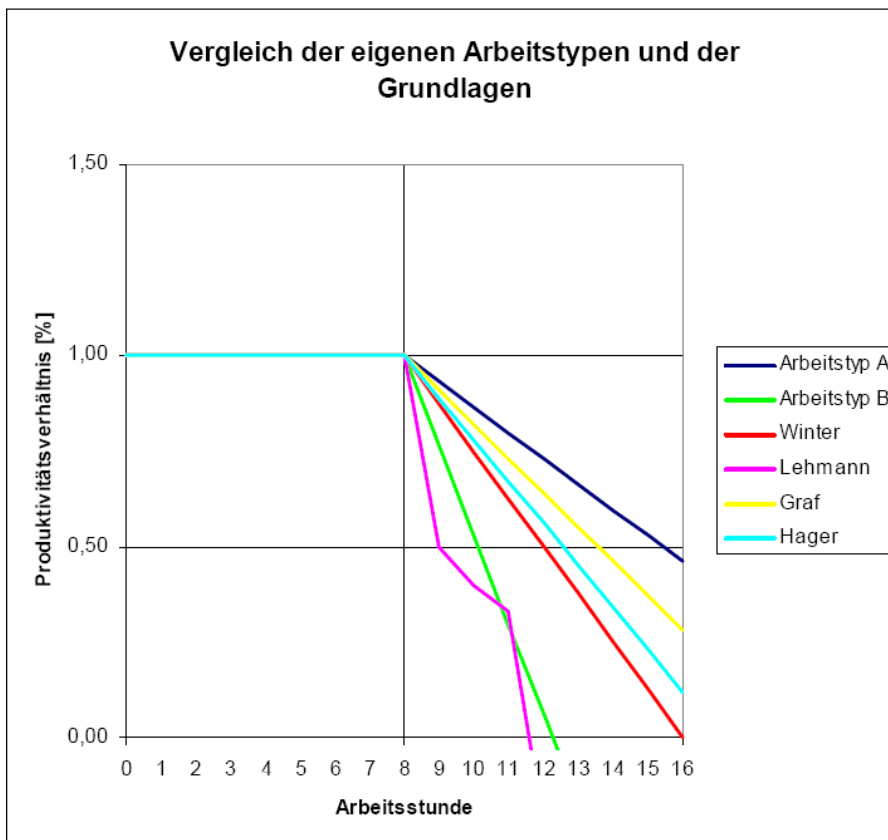


Bild 4-14 Vergleich der verschiedenen Produktionsverhältnisse im Verlauf eines Arbeitstages²⁴³

Aus Bild 4-14 ist erkennbar, dass der Arbeitstyp A, also die maschinellen Tätigkeiten, entsprechend den Überlegungen von Rumpold einen noch geringeren Leistungsverlust infolge der täglichen Arbeitszeit hervorrufen, als dies die Ansätze von Hager oder Graf aussagen. Im Gegensatz dazu stellt der Leistungsverlauf von Arbeitstyp B eine Annäherung an die Überlegungen von Lehmann dar und befindet sich somit am anderen Ende des bekannten Spektrums.

4.1.5.6 Anmerkungen zum Ansatz der Leistungsverlustermittlung nach Rumpold

Grundsätzlich sind bei einer näheren Betrachtung der Überlegungen von Rumpold zwei Anmerkungen zu machen:

²⁴³ Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S.120.

- Fehler bei der Normierung bei der Produktivitätsverhältnisse auf zur weiteren Bearbeitung

Im Zuge der Normierung der Produktivitätsverhältnisse wurde zwar das mittlere Produktivitätsverhältnis der ersten acht Stunden auf 100% gesetzt, aber der Mittelwert, der über acht Stunden hinausgehenden Produktivität, wurde nicht im gleichen Verhältnis erhöht. Stattdessen wurde direkt das Produktivitätsverhältnis angesetzt.²⁴⁴

- Ungenaue Beschreibung der Randbedingungen für die Berechnung der Produktivität in den einzelnen Arbeitsstunden

Im Zuge der Berechnung der Produktivitätsgleichungen wurde die Gültigkeit der Gleichung für den Bereich $T \geq 8$ Stunden festgelegt. Die Integralbildung erfolgte jedoch ab Arbeitsbeginn.²⁴⁵

Zu den Überlegungen von Rumpold müssen im Kontext der vorliegenden Arbeit nachfolgende allgemeine Anmerkungen gemacht werden:

- Aus einer Tätigkeitsbeobachtung mit nur vier Arbeitstagen je Arbeitstyp ist es schwierig, statistisch stabile Daten zu ermitteln.
- Ebenso sind die Randbedingungen zur Beschreibung der Arbeitsumgebung (z.B. Temperatur) detailliert zu dokumentieren. Zur Untersuchung der Einflussgrößen müssen diese über den Tagesverlauf aufgezeichnet werden, um gegenseitige Abhängigkeiten zu berücksichtigen (z.B.: das Zusammenspiel von Wind und Kälte).
- Im Zuge der Datenauswertung sollte die Nachvollziehbarkeit und Belastbarkeit der Daten geprüft werden, bevor diese in einer Modellbildung Eingang finden. Ein zu starker Fokus auf die spätere praktische Anwendung sollte dabei vermieden werden. Vor diesem Hintergrund erscheinen die verschiedenen Bewertungen und Mittelwertberechnungen zur Verallgemeinerung der Aussagen der empirischen Ergebnisse bei Typ „B“ und „C“ nicht geeignet.
- Auch die nicht Berücksichtigung der Ergebnisse von Typ „C“ im abschließenden Vergleich aufgrund nicht passender Ergebnisse muss als sehr kritisch angesehen werden.
- Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde zur Ermittlung des Leistungsverlustes der Mittelwert der ersten acht Stunden mit den weiteren Stunden verglichen. Jedoch wurde für die weiteren Stunden nicht der tatsächliche Verlauf, sondern nur der Mittelwert der über acht Stunden hinausgehenden Produktivitätswerte herangezogen.

²⁴⁴ Vgl. Rumpold, A.: Der Einfluss der täglichen Arbeitsdauer auf die Produktivität. Diplomarbeit, Wien 2007, S. 115.

²⁴⁵ Vgl. Rumpold, A.: a.a.O., S. 118f.

Dieser willkürliche Knickpunkt der Leistung nach acht Stunden wurde von Winter erstmalig bei der „Begradigung“ der Kurven von Burkhardt eingeführt, hält sich aber seitdem in den meisten Überlegungen. Gerade die Darstellungen von Rumpold (Bild 4-9, Bild 4-10 und Bild 4-11), wie auch jene von Burkhardt (Bild 4-2) selbst, würden jedoch für einen anderen Kurvenverlauf als Berechnungsgrundlage sprechen.

4.2 Systematik zur tätigkeits- und personenabhängigen Ermittlung des Leistungsverlustes

Entsprechend den vorherigen Ausführungen zu den bestehenden Leistungskurven und den eingangs beschriebenen Veränderungen der Baustellensituation und des Baustellenumfeldes zeigt sich die Notwendigkeit eines neuen ganzheitlichen Ansatzes²⁴⁶.

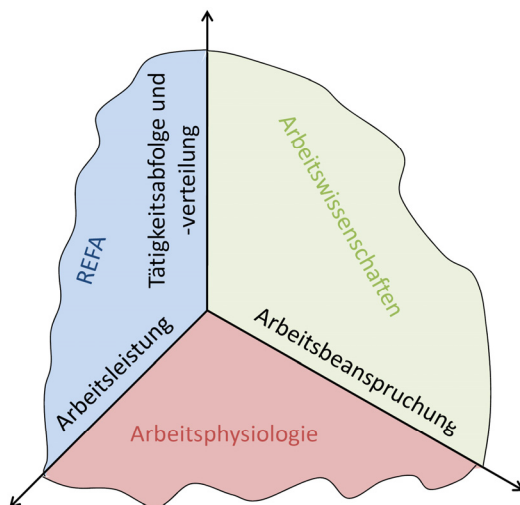


Bild 4-15 Darstellung der möglichen Untersuchungsbereiche

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.

²⁴⁶ 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.

4.2.1 Systematik der Leistungsverlustermittlung

Für die Ermittlung des Leistungsverlustes sind zusätzlich zur täglichen Arbeitszeit weitere Eingangsparameter notwendig. Diese sind:

- 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.

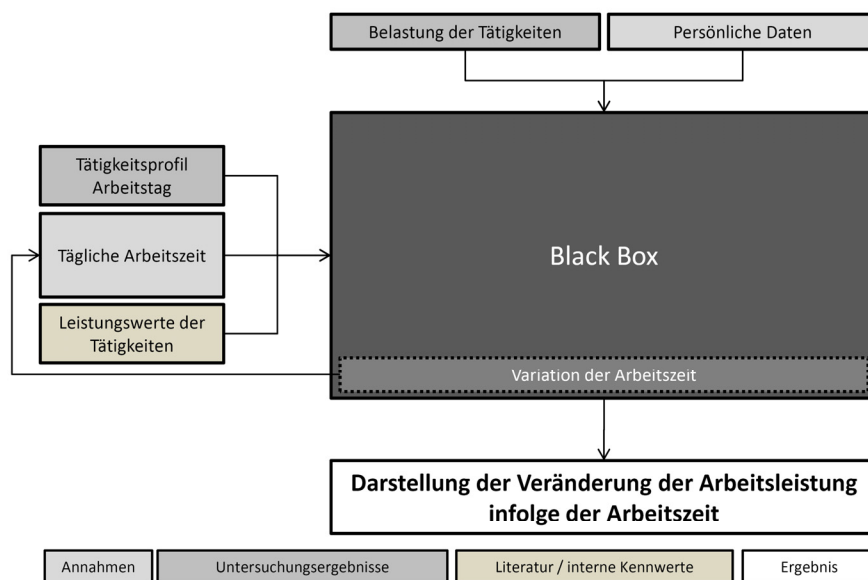


Bild 4-16 Systematik der Leistungsverlustermittlung

In Bild 4-16 ist das Zusammenwirken der Eingangsparameter in die sogenannte „Black Box“ dargestellt.

4.2.2 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.

4.2.2.1 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.

4.2.2.2 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.

4.2.2.3 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 Vorbelastung²⁴⁷ 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.

²⁴⁷ Die Vorbelastung resultiert aus den vor der betrachteten Tätigkeit durchgeführten anderen Tätigkeiten. Die Abfolge der Tätigkeiten wird dabei durch das Tätigkeitsprofil des Arbeitstages festgelegt.

4.2.2.4 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.

4.2.2.5 Leistungswerte für Tätigkeiten

Als letzter Eingangsparameter müssen die Leistungswerte für die zu erbringenden Arbeiten herangezogen werden. Bei diesen muss es sich um Netto-Leistungswerte²⁴⁸ handeln. Dies ist notwendig, da die weiteren Zeiten, wie z.B. Verteilzeiten oder Wartezeiten, die üblicherweise in Tabellenwerken²⁴⁹ bei der Angabe von Leistungswerten inkludiert sind, in diesem Fall im Tätigkeitsprofil des Arbeitstages Eingang finden.²⁵⁰

4.2.3 Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box

Entsprechend der Zusammenhänge der Eingangsparameter mit der Leistung wurde das in Bild 4-17 dargestellte Berechnungsmodell entwickelt.

²⁴⁸ Der Netto-Leistungswert stellt den Leistungswert für eine betrachtete Tätigkeitsgruppe oder Tätigkeitskategorie dar. In diesem sind weder Nebentätigkeiten noch Pausen oder Unterbrechungen enthalten.

²⁴⁹ 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.

²⁵⁰ 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.

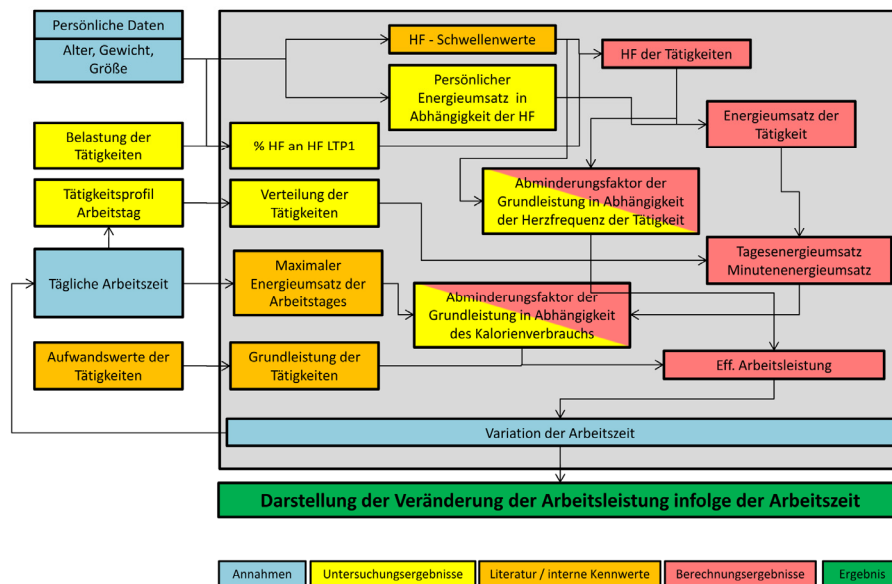


Bild 4-17 Systematik der Leistungsverlustermittlung mit der detaillierten Darstellung des Berechnungsvorgangs in der Black Box

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.
- 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_{max}) 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_{LTP1} .
- Ergeben sich hierbei Überschreitungen, so sollten vor der jeweiligen Überschreitung Pausen vorgesehen werden.
- Ebenso kann bei Vorhandensein der Laboruntersuchungen eine Prüfung des Energieumsatzes stattfinden und auch hier im Falle von Grenzwertüberschreitungen Pausen eingeführt 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.
- 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.

5 Datenerhebung und Untersuchungsablauf

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

Dazu werden zunächst alle in Verbindung mit der Leistungskurve anwendbaren Datenerhebungs- und Untersuchungsmethoden vorgestellt. Es erfolgt eine Auswahl in Hinblick auf ihre Anwendungstauglichkeit, die Beeinflussung der Bauabläufe und weitere, die Ergebnisse der Datenerhebung verfälschende Einflüsse. Daraus ergibt der endgültige Versuchsaufbau für die Datenerhebung.

5.1 Möglichkeiten der Datenerhebung auf der Baustelle und im Labor

Durch die Weiterentwicklung der Medizintechnik, der Fotografie und der digitalen Bildverarbeitungssysteme sowie der Datenanalysetools stehen heute bei weitem mehr Möglichkeiten zur Verfügung, als dies zur Zeit der Untersuchungen von Lehmann, Burkhardt oder Winter der Fall war.

Aus einer Aufstellung der generell möglichen Methoden erfolgt die Auswahl von auf der Baustelle einsetzbaren und für die Untersuchung verwendbaren Datenerhebungen, wobei ein spezielles Augenmerk auf die minimale Beeinflussung der Abläufe auf den Baustellen gelegt wird.

5.1.1 Überblick über die Methoden zur Erhebung der persönlichen Daten

Für die Erhebung der persönlichen Daten stehen folgende Methoden zur Verfügung:²⁵¹

- Befragung der Probanden
- Messung von Körpergröße und Gewicht
- Herzfrequenzmessung
- Blutdruckmessung
- Laktat-Wert-Bestimmung
- Rektaltemperaturmessung
- Koordinationstests

²⁵¹ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S. 7-1 bis 7-5.

- Reaktionstests
- Spiroergometrische Untersuchung²⁵²
- Biofeedbackanalyse

5.1.2 Überblick über die Methoden zur Ermittlung der durchgeführten Tätigkeiten und der Arbeitsleistung

Zur Erhebung der Leistung bzw. der einzelnen Tätigkeiten der Bauarbeiter stehen auch hier dem Beobachter einige Erhebungs- und Beobachtungsmethoden zur Verfügung:²⁵³

- Zeitaufnahmen
- Einzelaufnahmen
- Multimomentaufnahmen (MMA)
 - ♦ Klassische MMA
 - ♦ Systematische MMA
- Gruppenzeitaufnahmen
- Ermittlung aus der Nachkalkulation

Mit Hilfe dieser Untersuchungsmethoden bzw. mit der Kombination von verschiedenen Untersuchungsmethoden ist es möglich, die erforderlichen Daten, wie z.B. stündliche Arbeitsleistung, Verteilung der durchgeführten Tätigkeiten und Beanspruchung infolge der verschiedenen Arbeitstätigkeiten, zu ermitteln.

Da diese Untersuchungsmethoden unterschiedlich stark in den Bauablauf eingreifen und somit die Datenerhebung verzerren können, erfolgt die Auswahl von Untersuchungsverfahren, welche eine möglichst geringe Auswirkung auf den Ablauf der Arbeitstätigkeiten haben.

5.1.3 Erhebbare Daten bei Durchführung einer Baustellenbeobachtung

Die Datenerhebung auf der Baustelle bildet für diese Arbeit die wesentliche Grundlage für die Erstellung der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleis-

²⁵² Zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme und des Sauerstoffverbrauch bei unterschiedlichen Belastungssituationen.

²⁵³ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S8-12 bis 8-20.

tungskurve. Nachfolgend wird dargestellt, welche Daten auf der Baustelle erhoben werden sollten:

- Persönliche Körperkennwerte des jeweiligen Arbeiters:
 - ◆ Alter
 - ◆ Größe
 - ◆ Gewicht
 - ◆ Herzfrequenz
 - ◆ Laktat-Wert
 - ◆ Koordinationsfähigkeit
 - ◆ Reaktionsfähigkeit
 - ◆ Maximale Sauerstoffaufnahme
 - ◆ Sauerstoffverbrauch
 - ◆ Körpertemperatur (Rektaltemperatur)
- Tägliche Arbeitszeit
 - ◆ Arbeitsbeginn
 - ◆ Arbeitsende
 - ◆ Pausenzeiten (mit Beginn und Ende)
- Durchgeführte Arbeitstätigkeiten
 - ◆ Verteilung der ausgeführten Arbeitsaufgaben
 - ◆ Erbrachte Leistung:
Leistung der Arbeitspartie oder des Arbeiters im Intervall von 30 Minuten²⁵⁴

Hierbei ist der Einarbeitungseffekt²⁵⁵ zu beachten.

²⁵⁴ Üblicherweise erfolgen Leistungsaufzeichnungen im Bauwesen für einen gesamten Arbeitstag. Das Intervall von 30 Minuten wurde ausgewählt, um den Leistungsverlauf ausreichend genau zu dokumentieren. Eine detailliertere Aufzeichnung wird als nicht sinnvoll erachtet, da im Zusammenhang mit den weiteren Analysen keine weiteren Aussagen zu erwarten sind und die Abgrenzung der Leistung in einem kürzeren Intervall neben den weiteren Datenerhebungen als nur schwer durchführbar angesehen wird.

²⁵⁵ Weiterführende Informationen zum Einarbeitungseffekt finden sich bei Reichl, R.: Studie zum Einarbeitungseffekt im Bauwesen - Am Beispiel der Herstellung von Stahlbeton, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2003.

- Äußere Einflüsse auf die Bauarbeiter
 - ◆ Temperatur
 - ◆ Luftfeuchtigkeit
 - ◆ Windgeschwindigkeit

Neben diesen „Hard Facts“ müssen auf Grund der bisherigen Erkenntnisse noch weitere „weiche“ Faktoren erhoben werden, um die Baustellensituation in ihrer Gesamtheit beschreiben zu können. Hierzu zählen unter anderem:²⁵⁶

- Arbeitsplatzbedingungen
- Bauweise / Bauverfahren
- Komplexität der Arbeitsaufgaben
- Verwendete Baumethoden
- Eigenschaften wesentlicher Baustoffe
 - ◆ Anlieferungsmöglichkeit
 - ◆ Einzelabmessungen
 - ◆ Gewicht
 - ◆ Manipulationsbedarf
- Grund- und Aufrissgestaltung des Bauwerks
- Lage der Baustelle
 - ◆ Anfahrt bzw. Zufahrtmöglichkeiten
 - ◆ Räumliche Begrenzung
 - ◆ Seehöhe
- Verkehrssituation
- Zustand der Geräte und anderer Ausrüstungsteile
- Kranabhängigkeit
- Logistik auf der Baustelle und Antransport zur Baustelle

²⁵⁶ Vgl. Hofstadler, C.: Bauablaufplanung - Interaktionsdiagramm für Bewehrungsarbeiten, in: Baumarkt und Bauwirtschaft Heft 01 (2005), S.55 und Hofstadler, C.: Schwierigkeitsgrad von Schalarbeiten - Darstellung der Auswirkungen im IAD, in: Österreichische Bauzeitung, Heft 14 (2005), S.33 und Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, Bauer, H.: Baubetrieb, 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2007., Girmscheid, G.: Baubetrieb und Bauverfahren im Tunnelbau, 2. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin 2008.

- Möglichkeiten der Flexibilität der eingesetzten Bauarbeiter
- Qualität der Arbeitsvorbereitung
- Termindruck
- „Arbeits- bzw. Betriebsklima“ auf der Baustelle und im Unternehmen
- Erfahrung und Ausbildung
- Führungsqualität und Informationsweitergabe durch die Vorgesetzten
- Mitarbeiterfluktuation auf der Baustelle
- Mitarbeiterqualifikation bzw. -ausbildung

Mit Hilfe dieser „harten“ und „weichen“ Einflussfaktoren kann eine genaue Beschreibung der Umstände der Leistungserbringung erfolgen.

5.1.4 Erhebbare Daten einer Laboruntersuchung

Neben der Datenerhebung auf der Baustelle ist es möglich, einzelne Daten im Labor zu erheben. Diese Untersuchungen sollen die auf der Baustelle erhobenen Daten ergänzen bzw. die Grundlage schaffen, um sie zu vergleichen und die Aussagekraft der Untersuchung zu verbessern. Zu den im Labor erhebbaren Daten zählen:

- Persönliche Körperkennwerte des jeweiligen Arbeiters
 - ◆ Alter
 - ◆ Größe
 - ◆ Gewicht
 - ◆ Blutdruck
- Daten der Spiroergometrie

Mit Hilfe dieser Daten kann die persönliche Leistungsfähigkeit der Bauarbeiter beurteilt werden.

- ◆ Herzfrequenz bei vorgegebener Belastung
- ◆ Laktat-Wert bei vorgegebener Belastung
- ◆ Maximale und submaximale Sauerstoffaufnahme
- ◆ Maximale und submaximale Leistung
- ◆ Sauerstoffverbrauch bei festgelegter Belastung
- ◆ Rektaltemperaturverlauf

- Aus ausgewählten Tests
 - ♦ Koordinationsfähigkeit vor und nach festgelegter Belastung
 - ♦ Reaktionsfähigkeit vor und nach festgelegter Belastung
- Biofeedbackanalyse

5.2 Erhebungsdaten für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve

In den vorhergehenden Abschnitten wurde eine Vielzahl von erhebaren Daten vorgestellt. Eine Eingrenzung auf die zu erfassenden Daten erfolgt im Weiteren.

Für die Entwicklung einer neuen tätigkeitsbezogenen Leistungskurve ist es ausreichend, einzelne Arbeitsvorgänge zu betrachten. Daher wird auf die Aufzeichnung detaillierterer Ablaufabschnitte als Vorgänge im Folgenden verzichtet.²⁵⁷

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.

Eine weitere, nicht verhinderbare Veränderung des Verhaltens tritt allerdings schon durch die bloße Anwesenheit eines Beobachters auf. Diese Veränderung wird auch als Hawthorne-Effekt bezeichnet.²⁵⁸ 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.

Beobachtung der Vorgänge liefert ausreichend genaue Aussagen

Herzfrequenzmessung ist das ausgewählte Instrument für die Beanspruchungsbewertung

Beobachtung verändert das Verhalten der Beobachteten

²⁵⁷ Vgl. Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006.

²⁵⁸ Vgl. Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Hawthorne-Effekt“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 08:43.

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.

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

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 Hintergrundinformationen, um einzelne Ergebnisse interpretieren zu können.

5.3 Untersuchungsdesign

Anhand der Überlegungen, welche Daten für die Erstellung der Leistungskurve notwendig und mit welchen Methoden diese erhebbbar sind, ergibt sich das endgültige Design der Untersuchung.

Eine Übersicht der Auswertungsebenen (I bis III), der Module (1 bis 6) sowie der Werkzeuge für die Erhebung der Daten in den einzelnen Modulen ist in Bild 5-1 ersichtlich:

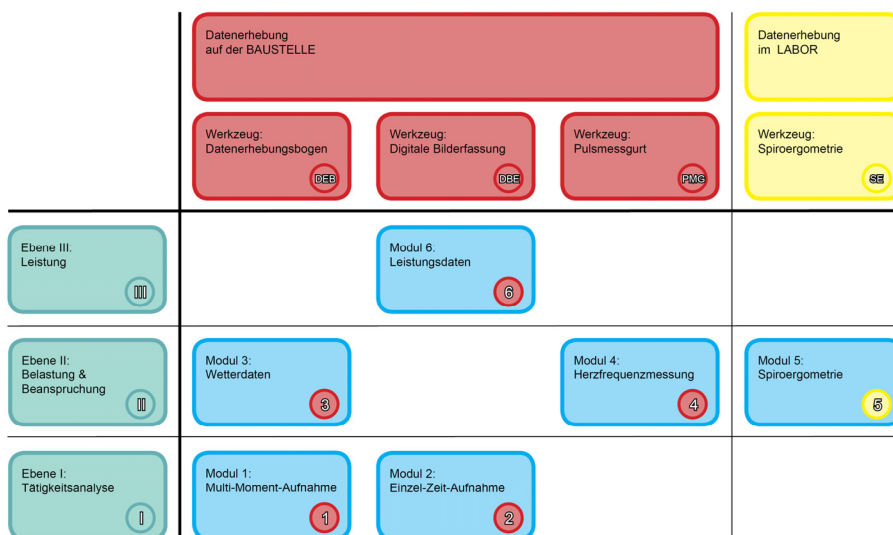


Bild 5-1 Übersicht des Untersuchungsdesigns

Gemäß Bild 5-1 erfolgt die Datenerhebung und spätere Auswertung in drei Ebenen. Hierbei werden in der Ebene I – Tätigkeitsanalyse – mit

Hilfe von Multimoment- und Einzelzeitaufnahmen die Grunddaten erheben. In der Ebene II – Belastungs- und Beanspruchungserhebung – werden 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.

5.3.1 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 Minuten²⁵⁹ (bei den weiteren 3 Baustellenbeobachtungen 2009) durch einen externen Beobachter eingetragen.

Der genaue Aufbau des Datenerhebungsbogens (DEB) und die weiteren Werkzeuge werden in Kapitel 5.4 vorgestellt.

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

5.3.2 Modul 2: Einzelzeitaufnahmen (EZA)

Als Ergänzung zur MMA werden bei ausgewählten Baustellen 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.

Im Zuge der Beobachtungsplanung können aufgrund von Vorgesprächen mit Experten keine konkreten Vorgaben über die Anzahl der EZA gemacht werden.

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.²⁶⁰

²⁵⁹ 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.

²⁶⁰ 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.

5.3.3 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 Anemometers²⁶¹ gemessen. Die letzte Aufzeichnung erfolgt, unabhängig vom vorgegebenen Abstand von 30 Minuten, immer zum Arbeitsende.

5.3.4 Modul 4: Herzfrequenzmessung

Eine weitere Komponente der Beanspruchungserhebung stellt die durchgängige Aufzeichnung der Herzfrequenz mittels Pulsmessgurt und Pulsuhr²⁶² 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.

Erste Erfahrungen während der Pre-Tests zeigen, dass durch Störquellen die Herzfrequenzmessung unvollständige Aufzeichnungen liefern kann. Die größten Störungen entstanden bei Arbeiten an Maschinen (z.B. Meißelhammer oder Rüttler) oder durch Mobiltelefone in unmittelbarer Nähe des Pulsmessgurtes.

5.3.5 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 dar²⁶³. Der Umfang der Untersuchungen wird von Pretis folgendermaßen erklärt²⁶⁴:

²⁶¹ Kestrel 3000 – Pocket Weather Meter (Kestrel, USA).

²⁶² Messgerät: Polar S 810 (Polar Elektro, Finnland).

²⁶³ Im Zuge der Vorbereitung der Untersuchungen wurde eine Probandeninformation zum Thema Spiroergometrie zusammengestellt. Die vollständige Probandeninformation befindet sich im Anhang A.1.1.

²⁶⁴ Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S. 66.

„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 5-2 dargestellt.²⁶⁵

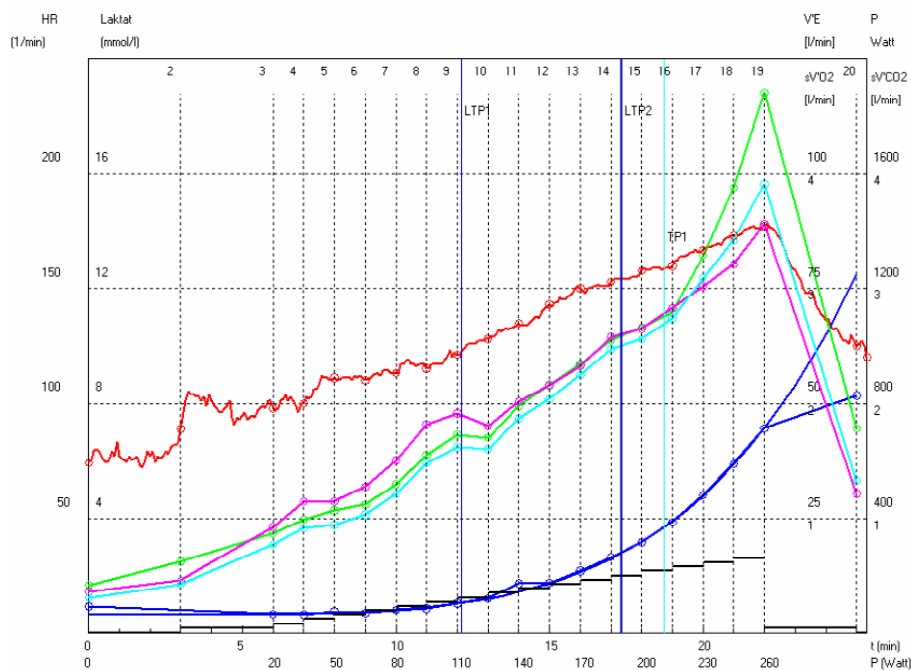


Bild 5-2 Herzfrequenz (rot), O₂-Aufnahme (Pink), CO₂-Abgabe (Türkis), Laktat (blau) und Atemminutenvolumen (grün) während der spirometrischen Belastung²⁶⁶

Pretis führt zur in Bild 5-2 dargestellten Grafik aus:

„Die Abbildung zeigt deutlich den Umschlagpunkt der Atemgase. Der Laktaturnpoint 1 (LTP₁) definiert die aerobe, der Laktaturnpoint 2 (LTP₂) die anaerobe Schwelle. Die anaerobe Schwelle ist ein wichtiges Kriterium der Leistungsfähigkeit, während die aerobe Schwelle eine mögliche individuelle Dauerleistungsgrenze darstellen könnte.“²⁶⁷

²⁶⁵ Zur Auswertung der Ergebnisse diente die Software ProSport[®].

²⁶⁶ Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S.66.

²⁶⁷ Pretis, M.: a.a.O., S. 67.

Zur Ermittlung dieser Ergebnisse werden im Zuge der Spiroergometrie folgende Untersuchungsverfahren angewandt:²⁶⁸

- Spirometrie:²⁶⁹ Der Austausch der Atemgase wird laufend mittels Atemmaske gemessen und per Computerprogramm ausgewertet.
- Messung des Blutdrucks:²⁷⁰ Während des Tests werden regelmäßig automatische Blutdruckmessungen am rechten Oberarm des Probanden durchgeführt.
- Messung der Herzfrequenz:²⁷¹ 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:²⁷² Am Anfang zu Beginn des Belastungstests und bei Beginn und am Ende jeder Stufe wird aus dem Ohrläppchen des Probanden Blut zur Laktatmessung entnommen.

5.3.6 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 wird dabei im Abstand von 30 Minuten festgehalten. Somit werden bei einem Arbeitstag von 9 Stunden insgesamt 8 Werte für die halbstündige Leistung in Form von z.B. $m^2_{\text{errichtetes Mauerwerk}}/h$ oder $m^3_{\text{Betonwand}}/h$ ermittelt.

5.4 Werkzeuge der Datenerhebung

Nachdem die einzelnen Module dargestellt wurden, erfolgt im Weiteren die Erklärung der einzelnen Werkzeuge, mit denen die erforderlichen Daten im Labor und auf der Baustelle gesammelt werden. Gemäß Bild 5-1 stehen vier verschiedene Werkzeuge für die Datenerhebung zur Verfügung.

²⁶⁸ Vgl. Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S.67.

²⁶⁹ Messgerät: Zan 600 USB CX (Zan, Deutschland).

²⁷⁰ Messgerät: 12-Kanal EKG, Zan 800 (Zan, Deutschland).

²⁷¹ Messgerät: Polar Sport Tester PE 4000 (Polar Elektro, Finnland).

²⁷² Messgerät: S Line, EKF Diagnostic (Biosen, Deutschland).

5.4.1 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 (Modul 4: Herzfrequenzmessung) verknüpft.

Der grundsätzliche Aufbau basiert auf den von REFA veröffentlichten MMA-Aufnahmebögen²⁷³, welche an die Erfordernisse für die Erstellung der tätigkeitsabhängigen Leistungskurve angepasst wurden.

In Bild 5-3 ist eine leere Datenerhebungsbogen mit den einzelnen Eintragungsbereichen für die Grunddaten der Baustelle und des Bauarbeiters sowie der Module 1 und 3 dargestellt.

The diagram shows a data collection form (DEB) with three highlighted sections:

- Grunddaten (Green box):** A table with columns for 'Baustelle', 'Datum', and 'AN-kürzel'.
- Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme (Blue box with '1'):** A large grid for activity recording. The columns represent time in minutes (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55). The rows are categorized by 'Tätigkeit' (Main activity: Mauern, Herrichten, Auf- Wegräumen; Secondary activity: Vorbereitende Tätigkeiten, Besprechung, Planbespr; Additional activity: zusätzl. Tätigkeit) and 'Unterbrechung' (Ablaufbedingt, Störungsbedingt, Erholungsbedingt, Persönlich bedingt). A 'Nicht-erkennbar' row is also present.
- Modul 3: Wetterdaten (Blue box with '3'):** A section for weather and physiological data, including 'WBGT', 'Wärmestr.', 'Luftgeschw.', 'rel. Luftf.', 'Temp.', 'Puls', and 'Körpertemp'.

Bild 5-3 Ausschnitt eines leeren Datenerhebungsbogens

²⁷³ REFA-Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): REFA in der Baupraxis; Teil 2 Datenermittlung, Carl-Hanser, München 1984, S. 77.

Die Eintragungen in den DEB wurden folgendermaßen vorgesehen:

- Eintragung der Grunddaten:
 - ♦ Baustelle
 - ♦ Datum des Beobachtungstages
 - ♦ Arbeiter-Kürzel (AN-Kürzel)
 - ♦ Arbeitsbeginn und Arbeitsende
 - ♦ Pausenzeiten
- Daten aus Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme (MMA)
 - ♦ Eintragung der Namen der jeweils beobachteten Tätigkeiten entsprechend der einzelnen Kategorien
 - ♦ Eintragen der jeweils beobachteten Tätigkeit zum jeweiligen vorgegebenen Zeitpunkt der Beobachtung
- Daten aus Modul 3: Erhebung der Wetterdaten
 - ♦ Eintragen der Windgeschwindigkeit
 - ♦ Eintragen der relativen Luftfeuchtigkeit
 - ♦ Eintragen der Lufttemperatur

Ein Beispiel für diese Eintragungen findet sich in Bild 5-4. Es ist leicht ersichtlich, dass neben den oben beschriebenen „geordneten“ Eintragungen zu besserer Interpretation weitere Ergänzungen und handschriftliche Beschreibungen notwendig sind.

Baustelle:												Beginn:		7:00 U		Ausführung:		A B C E F G H I K L M N O P Q R S T U V W X Y Z												
Datum:		30.09.2009										Ende:		12:00 E																
AN-kürzel:		AN 2 UIR Nr.: 17										Pause:																		
Tätigkeit	Haupt-tätigkeit	Stunde		1 1:00-2:00					2 2:00-3:00					3 3:00-4:00					4 4:00-5:00					5 5:00-6:00						
		Minute	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30
Tätigkeit	Neben-tätigkeit	Mauern		Abdichtung auflegen																										
		Herrichten		Auf-Wegräumen																										
Tätigkeit	zusätzl. Tätigkeit	Vorbereitende Tätigkeiten		Besprechung, Planbespr																										
		Ablaufbeding																												
Unterbrechung	Störungsbeding	Erholungsbeding																												
		Persönlich beding		Pause (Trinken)																										
Nicht erkennbar	Wärmestr.	Luftgeschw.																												
		rel Luftf.																												
Nicht erkennbar	Temp	Puls																												
		Körpertemp		FOTOS																										

→ PARTIE: # (HT, grübeln, abblen) 1. zentral MIT WARM ENHÄNDEN
 GEGÄNDE 2:
 Baustelle:
 inges. 29 Grad / 3.5 m/h/h
 Luftgeschw.: 2.00-4.00 m/s
 Pause: 3.00-3.30
 inoff. + Bierpause: 11.45-12.00

Bild 5-4 Ausgefüllter Datenerhebungsbogen auf einer Baustelle für den Zeitraum Stunde 1 bis 5

Diese Daten werden in das Programm MS EXCEL²⁷⁴ übertragen. Somit ergibt sich das Endergebnis eines DEB, welcher Daten für die weiteren Auswertungen zur Verfügung stellt (siehe Bild 5-4).

Modul 1: Multi-Moment-Aufnahme 1

		07:00					08:00						
		0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50
Tätigkeit	Haupttätigkeit	Mauern						1	1	1	1	1	1
		Parapet mauern											
		Deckenausgleich herstellen											
		Abdichtung auflegen											
	Nebentätigkeit	Herrichten	1	1									
		Auf-Wegräumen											
		Ziegel schneiden											
		Einmessen Deckenausgleich											
		Einm. mit Niveller/Ansichtlatte											
		Einm. mit Zahnstab											
zusätzl. Tätigkeit	Ziegelpalette mit Kran einheben												
	Mörtel mit Kran einheben												
Unterbrechung	Ablaufbeding	Kranbetrie											
		Störungsbeding											
	Persönlich beding	erigte Pause											
		vorgegebene Pause											
Nicht erkennbar	Bagger fahren	Sanierung anderes Gebäude											
		Randbalken setzen and. Geb.											
Summe		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
MEBT	Luftgeschw.												
	rel Luftf.	85,4					85,0					82,7	
	Temp	7,8					7,5					8,2	
Puls		85,44	85,11	78,33	75,89	82,11	85,56	88,89	79,89	76,67	80,44	83,67	

Modul 4: Pulsdaten 4

Bild 5-5 Ausschnitt eines EDV-bearbeiteten Datenerhebungsbogens

²⁷⁴ MS EXCEL (Microsoft Corp., USA).

Wie oben bereits ausgeführt, enthält dieser DEB bereits die Daten der Herzfrequenzmessung. Für die weiterführende Verwendung wurde dieser DEB in eine MS ACCESS²⁷⁵ Datenbank exportiert.

5.4.2 Digitale Bilderfassung (DBE)

Die digitale Bilderfassung, also das Fotografieren bzw. Filmen der ausgeführten Tätigkeiten, wurde für die Erhebung der Leistungsdaten sowie für die Auswertung der Einzelzeitaufnahmen eingesetzt.

Dabei wurde im Abstand von einer halben Stunde aus einer annähernd gleichen Position der Arbeitsbereich des beobachteten Bauarbeiters festgehalten, um eine Leistungsermittlung durchzuführen.

Zusätzlich zu diesen Hauptanwendungen der DBE können mit diesem Werkzeug nachträglich Eintragungen in den DEB kontrolliert werden.

5.4.3 Pulsmessgurt und Pulsuhr

Die kontinuierliche Aufzeichnung der Herzfrequenz erfolgte mit Hilfe eines Pulsmessgurtes²⁷⁶. Es wurde jeweils in einem Abstand von 15 Sekunden ein Herzfrequenzwert automatisch auf der Pulsuhr gespeichert. Mit Hilfe der dazugehörigen Software²⁷⁷ können die Messdaten aus der Pulsuhr ausgelesen und so für die weitere Datenauswertung in der Datenbank zur Verfügung gestellt werden.

5.4.4 Spiroergometrie (SE)

Zur Durchführung der Spiroergometrien wurde von Pretis, der einen Teil der Baustellenuntersuchungen in seiner Diplomarbeit aus sportwissenschaftlicher Sicht ausgewertet hat, folgendes ausgeführt:

„Die Spiroergometrien wurden am Zentrum für Bewegungswissenschaften und Sportmedizinische Forschung – Human Performance Research^{Graz} durchgeführt. Ein Arzt und eine wissenschaftliche Assistentin waren ständig anwesend und für Voruntersuchung, Laktatabnahme und etwaige Notfälle zuständig. Nach einem medizinischen Grundcheck und der Überprüfung der körperlichen Kenngrößen wurde eine Spiroergometrie durchgeführt.“²⁷⁸

²⁷⁵ MS ACCESS (Microsoft Corp., USA).

²⁷⁶ Messgerät: Polar S 810 (Polar Elektro, Finnland).

²⁷⁷ Polar Precision Performance SW, Version 4.03.050 (Polar, Finnland).

²⁷⁸ Pretis, M.: Die Analyse von Leistungsfähigkeit, Belastung und Beanspruchung von Bauarbeitern unter definierten Arbeitsabläufen auf Baustellen, Diplomarbeit, KFU Graz, Graz 2008, S.66.

Für die weitere Auswertung wurden die Messdaten durch Mitarbeiter des HPR aufbereitet und mittels eines Untersuchungsprotokolls zur Verfügung gestellt.

Seite 1

Human Performance Research Graz
Karl-Franzens-Universität & Medizinische Universität Graz
Univ. Prof. Peter Hofmann

PERSONENDATEN

Name AN 1
Adresse
Geb. Datum 1962
Größe 190 cm
Gewicht 85 kg
Training Stunden/Woche
Ruhepuls 1/min
Bemerkung

UNTERSUCHUNGSDATEN

Test CO-FR + La + Gluc + Spiro
Datum 31.03.2008
Startzeit 06:43:40
Bemerkung TU-Projekt Baustelle
Bemerkung

BERECHNETE WERTE

P soll 252.9 Watt
P soll/kg 03.0 Watt/kg
P max 252.0 Watt
P max/kg 03.0 Watt/kg
rel. Leistungsvermögen 100 %
HRschwelle/HRmax 86 %
Pschwelle/Pmax 65 %
Schwelle = LTP 2

SCHWELLEN UND MAXIMALWERTE

	HR 1/min	P Watt	Laktat mmol/l	VE [l/min]	sVO2 [l/min]	sVCO2 [l/min]	VT [l]	AF [1/min]
Maximum	198	252	11.5	105.65	3.59	4.16	3.35	31.58
LTP 1	136	67	2	35.05	1.45	1.37	2.89	11.72
LTP 2	170	164	4.2	54.26	2.14	2.21	2.57	21.15

TRAININGSTABELLE

Intensität %	HR 1/min	P Watt	Laktat mmol/l	
60 - 70	146 - 150	98 - 115	2.4 - 2.7	Regeneration
70 - 80	150 - 158	115 - 131	2.7 - 3	Ausdauer niedrig
80 - 90	158 - 163	131 - 147	3 - 3.5	Ausdauer mittel
90 - 97	163 - 168	147 - 159	3.5 - 4	Ausdauer intensiv
97 - 105	168 - 172	159 - 172	4 - 4.5	extensive Intervalle
100 % = LTP 2				

Bild 5-6 Beispiel für ein Untersuchungsprotokoll (Seite 1) mit Markierungen von ausgewählten Daten

Für die weitere Datenauswertung wurden dabei aus dem Untersuchungsprotokoll die in Bild 5-6 und Bild 5-7 farbig markierten Werte für folgende Kategorien entnommen:

- Personendaten
 - ◆ Alter
 - ◆ Größe
 - ◆ Gewicht
- Schwellen und Maximalwerte
 - ◆ Herzfrequenz an den Herzfrequenzschwellenwerten: Maximum, LTP₁ und LTP₂
 - ◆ Sauerstoffaufnahme für Maximum, LTP₁ und LTP₂
 - ◆ Kohlendioxidabgabe für Maximum, LTP₁ und LTP₂
 - ◆ Leistung für Maximum, LTP₁ und LTP₂

Mit diesen Werten als Eingangsgröße können nun in weiterer Folge die Beanspruchungserscheinungen infolge der Arbeitsbelastung auf der Baustelle zwischen Bauarbeitern verglichen werden. In dieser Form erfolgt eine „Eichung“ der Bauarbeiter.

Seite 2

Human Performance Research Graz
Karl-Franzens-Universität & Medizinische Universität Graz
Univ. Prof. Peter Hofmann

AN 1 CO-FR + La + Gluc + Spiro 31.03.2008 (d:leigene-1|psp-fi-1|tu-bau-1|tu.1)

ZWISCHENZEITWERTE

Zeit	P	HR	Laktat	$\dot{V}E$	$s\dot{V}O_2$	$s\dot{V}CO_2$	Daten der Spiro-Ergometrie
hh:mm:ss	Watt	1/min	mmol/l	[l/min]	[l/min]	[l/min]	
00:00:00	0	94	1.91	0	0	0	
00:03:00	0	105	0	12.85	.55	.43	
00:06:00	20	112	1.81	21.43	.98	.82	
00:07:01	35	119	1.87	25.19	1.01	.93	
00:08:01	50	131	1.94	25.17	1.13	1.06	
00:09:01	65	135	2.17	34.73	1.43	1.35	
00:10:01	80	142	2.3	36.97	1.58	1.47	
00:11:01	95	146	2.58	36.29	1.59	1.49	
00:12:01	110	147	2.87	42.17	1.84	1.78	
00:13:01	125	156	3.2	49.65	2.01	1.97	
00:14:01	140	161	3.63	45.18	1.83	1.83	
00:15:01	155	166	4.07	53.1	2.08	2.1	
00:16:01	170	172	4.54	55.07	2.19	2.29	
00:17:01	185	175	5.21	69.2	2.72	2.9	
00:18:01	200	185	5.86	80.04	2.84	3.13	
00:19:08	215	190	7.09	70.35	2.75	3.07	
00:20:01	230	196	8.56	91.72	3.08	4.03	
00:21:01	245	198	9.68	105.65	3.59	4.16	
00:21:33	252	195	10.56	88.26	2.72	3.27	
00:24:37	20	163	11.54	0	0	0	
00:24:50	0	162	0	0	0	0	

Bild 5-7 Ausschnitt des Untersuchungsprotokolls (Seite 2) mit Markierungen von ausgewählten Daten

Weiters finden sich im Untersuchungsprotokoll, dargestellt in Bild 5-7, die Aufzeichnungen des Verlaufs der Leistung (P), der Herzfrequenz (HF), der Laktatkonzentration, der Ventilation ($\dot{V}E$), der Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_2$) und der Kohlendioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$).

5.5 Praktische Durchführung der Untersuchung

Nachdem alle Werkzeuge und die einzelnen Module für die Erstellung der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve vorgestellt wurden, erfolgt eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs der Untersuchung.

5.5.1 Praktische Durchführung auf der Baustelle

Im ersten Schritt der Untersuchung wurden Vorgespräche mit den jeweiligen Geschäftsführern bzw. den Firmenchefs von Baufirmen mit geeigneten Baustellen²⁷⁹ geführt. Darauf aufbauend erfolgten Informationsge-

²⁷⁹ 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.

sprache über den Inhalt und den Ablauf des Forschungsprojektes mit dem zuständigen Polieren und den Bauarbeitern vor Ort.²⁸⁰

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.

5.5.2 Praktische 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^{Graz} 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.

²⁸⁰ Zusätzlich wurden nochmals die Richtlinien hinsichtlich der Auswertung der Daten in Bezug auf den Datenschutz dargestellt. Diese Information erfolgte mittels des im Anhang A.1.1 dargestellten Probandeninformationsblattes, welches in Anlehnung an die Probandeninformationen, die bei Untersuchungen, die durch die Ethikkommission genehmigt werden müssen, zum Einsatz kommen.

6 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 Ergebnisse der einzelnen Module sowie die kombinierte Auswertung von zusammenhängenden Datenreihen.

6.1 Grundlagen der Datenauswertung

Da im Weiteren zur Auswertung der erhobenen individuellen physiologischen Daten, aber auch der auf den Baustellen erhobenen Daten statistische Methoden zum Einsatz kommen, werden diese nachfolgend kurz erläutert. Die Durchführung der statistischen Auswertung erfolgte mit den Programmen MS EXCEL²⁸¹ und WINSTAT.²⁸²

6.1.1 Auswertung bei eindimensionalem Datenmaterial

Eindimensionales Datenmaterial bedeutet, dass es ein quantitatives oder quantifizierbares Merkmal gibt, das innerhalb einer Datenreihe an Merkmalsträgern beobachtet wird.²⁸³

Im Rahmen dieser Arbeit gibt es verschiedene Datenreihen, die ein eindimensionales Datenmaterial darstellen. In diese Kategorie fallen:

- Physiologische Kenngrößen
 - ♦ Alter
 - ♦ Gewicht
 - ♦ BMI
- Anzahl einer beobachteten Tätigkeiten
- Anzahl von Tätigkeiten in einer Kategorie oder Unterkategorie
- Herzfrequenz einer Tätigkeit

²⁸¹ MS EXCEL (Microsoft Corp., USA).

²⁸² WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

²⁸³ Vgl. Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009, S. 11.

Für diese Art der erhobenen Daten stehen für die statistische Betrachtung verschiedene Untersuchungsmethoden zur Verfügung²⁸⁴:

- Häufigkeitsverteilung
- Lageparameter
 - ◆ Median
 - ◆ Arithmetisches Mittel
- Streuungsparameter
 - ◆ Standardabweichung
 - ◆ Variationskoeffizient

6.1.2 Auswertung bei zweidimensionalem Datenmaterial

Da in vielen Fällen einzelne Merkmale voneinander abhängen, wie zum Beispiel Alter und Herzfrequenz, müssen diese mit Auswertungsmethoden für mehrdimensionales Datenmaterial analysiert werden. Mehrdimensionales Datenmaterial bedeutet, dass m verschiedene quantitative oder qualitative Merkmale bei n Probanden erhoben werden, wobei für jedes n jeweils m Merkmale vorhanden sind.²⁸⁵

Als Analysetools für den Vergleich von zwei ($m=2$) oder mehreren unterschiedlichen Merkmalen ($m>2$) stehen folgende Methoden der Softwarelösung WINSTAT²⁸⁶ zur Verfügung:

- Streuungsdiagramm
- Korrelationsanalyse nach Pearson
- Bestimmung des Signifikanzniveaus

6.1.3 Korrelationsanalysen für ausgewählte Parameter

Zur Anwendung kommt der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient²⁸⁷ aufgrund der kardinalen Skalierung der zu vergleichenden Datenreihen.

²⁸⁴ Vgl. Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009.

²⁸⁵ Vgl. Bamberg, G.: a.a.O., S. 29ff.

²⁸⁶ WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

²⁸⁷ Vgl. Bamberg, G. et al.: a.a.O., S. 34f.

Im Zuge der Korrelationsanalyse wird der mathematische Zusammenhang der Daten-Paare überprüft, z.B. der des Alters auf die Herzfrequenz.

Der Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient wird mit Hilfe der Gleichung (6.1) bestimmt:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6.1)$$

Dabei sind

r ...Bravais-Pearson-Korrelationskoeffizient

x_i ...Wert für x

\bar{x} ...arithmetischer Mittelwert aller x-Werte

y_i ...Wert für y

\bar{y} ...arithmetischer Mittelwert aller y-Werte

Der Koeffizient r kann dabei einen Wert zwischen -1 und +1 annehmen, wobei hier gilt, je näher der Wert an -1 oder +1 liegt, desto stärker korrelieren die beiden Datenreihen. Das Vorzeichen sagt in diesem Fall aus, ob eine positive oder negative Korrelation vorhanden ist.²⁸⁹

Einstufung der Korrelation:²⁸⁸

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

6.1.4 Bestimmung des Signifikanzniveaus

Neben einer Aussage über die Zusammenhänge zweier oder mehrerer Datenreihen ist die Angabe der Signifikanz die wesentliche Kenngröße. Die Ermittlung des Signifikanzniveaus (α) erfolgt mit Hilfe der Softwarelösungen, wobei in folgende Signifikanzniveaus unterschieden wird:²⁹⁰

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

Signifikanzniveaus:

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

²⁸⁸ Bühl, A.: SPSS 16, Einführung in die moderne Datenanalyse, 11. Auflage, Pearson Studium, München [u.a.] 2008, S. 269.

²⁸⁹ Bühl, A.: a.a.O., S. 269.

²⁹⁰ 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, 08.01.2011, 19:32

6.1.5 Regressionsrechnung der ausgewählten Parameter

Nach der Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs durch die Korrelationsanalyse und Bestimmung des Signifikanzniveaus²⁹¹ erfolgt mit Hilfe der Regressionsanalyse die Darstellung dieses Zusammenhangs.

Dies erfolgt im ersten Ansatz mit Hilfe der linearen Regression, bei der eine Gerade mit der Gleichung ermittelt wird:

$$y = a + bx \quad (6.2)$$

Ausgewählt wird jene Geradengleichung, bei der die Quadratsumme der Fehler der einzelnen Datenpunkte ein Minimum wird.

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (6.3)$$

Das Ergebnis ist eine Gerade, die dem Verlauf des Streudiagrammes am besten angepaßt ist.²⁹²

Die Ermittlung der Regressionskoeffizienten \hat{a} und \hat{b} erfolgt dabei mit Hilfe folgender Gleichungen:

$$\hat{a} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (6.4)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6.5)$$

Dabei sind

x_i ... Wert für x

\bar{x} ... arithmetischer Mittelwert aller x-Werte

y_i ... Wert für y

\bar{y} ... arithmetischer Mittelwert aller y-Werte

Neben der linearen Regression kann auch eine Regression mit Hilfe von polynomischen Gleichungen oder e-Funktionen durchgeführt werden, wenn die vorgefundenen Daten auf einen nichtlinearen Zusammenhang schließen lassen.²⁹³

Die Auswertung der Daten erfolgt mit Hilfe der Softwarelösungen (WINSTAT²⁹⁴ und MS EXCEL²⁹⁵).

²⁹¹ Auch als Irrtumswahrscheinlichkeit α bezeichnet.

²⁹² Vgl. Bamberg, G. et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009, S 39f.

²⁹³ Vgl Bamberg, G. et al.: a.a.O., S. 39f.

²⁹⁴ WINSTAT (Kalmia Corp., USA).

²⁹⁵ MS EXCEL (Microsoft Corp., USA).

6.1.6 Graphische Darstellungsmethoden

Neben den mathematischen Berechnungen werden zur Datenauswertung auch graphische Darstellungen verwendet. Diese sind das Histogramm, der Boxplot und das bereits erwähnte Streudiagramm sowie weitere Kurvendiagramme.

6.1.7 Beurteilungsmöglichkeiten für die statistische Aussagekraft eindimensionaler Daten

Der Untersuchungsaufbau geht davon aus, dass die hier anhand einer Stichprobe gewonnenen Erkenntnisse auf die Grundgesamtheit aller Bauarbeiter im Mauerwerksbau des Baumeistergewerbes angewendet werden kann. Daher werden nachfolgend die Möglichkeiten dargestellt, wie in der beurteilenden Statistik diese Kenngrößen überprüft werden.

Stichprobengröße und statistische Kenngrößen der Sicherheit

Bei dieser Übertragung einer Aussage von einer kleinen Teilmenge auf die Grundgesamtheit tritt in aller Regel ein Stichprobenfehler auf. Je nach Stichprobengröße und Auswahl der Stichprobe verändert sich dieser Fehler, wobei sich dieser bzw. die Qualität des Stichprobenergebnisses mittels zweier Kriterien messen lässt.²⁹⁶

Das erste Kriterium ist die Streuung (oder Varianz), das zweite Kriterium die Irrtumswahrscheinlichkeit (Konfidenzniveau). Streuung bedeutet in diesem Fall die Abweichung vom (wahren) Wert. Zusätzlich wird mittels der Wahrscheinlichkeit angegeben inwieweit die angegebene Streuung zutrifft.²⁹⁷

Grundsätzlich müssen zwei verschiedene Situationen betrachtet werden:

- Große Stichproben
- Kleine Stichproben

6.1.7.1 Große Stichproben

Bei großen Stichproben ($N \geq 30$) kann nach Bortz²⁹⁸ davon ausgegangen werden, dass für die Verteilung der Stichprobenkennwerte (Parameter) eine Normalverteilung vorliegt und daher eine valide Schätzung der Parameter der Grundgesamtheit auf Basis der Stichprobe vorgenommen

²⁹⁶ Masser, K.: Bestimmung Stichprobengröße für repräsentative Befragungen, <http://www.arnsberg.de/buergerpanel/bestimmung-stichprobengroesse.pdf>, Datum des Zugriffs: 19.09.2007 9:34 Uhr.

²⁹⁷ Vgl. Masser, K.: a.a.O.

²⁹⁸ Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010.

werden kann. Mit Hilfe der folgenden Formel kann auf Basis eines angenommenen Konfidenzniveaus die Varianz berechnet werden:

$$\varepsilon = \pm t * \sqrt{\frac{p*q}{N}} \quad (6.6)$$

In dieser Formel stellt ε die Varianz, t der aus der zentralen Wahrscheinlichkeit der Standardnormalverteilung berechnete Wert der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit ($t = 1,64$ für 90 %, $t = 1,96$ für 95 % und $t = 2,575$ für 99 % Eintrittswahrscheinlichkeit), p den prozentualen Anteilswert an der Grundgesamtheit ($0 \leq p \leq 1$), $q = 1 - p$ und N die Anzahl der Stichproben dar.²⁹⁹

6.1.7.2 Kleine Stichproben

Die vorhergehenden Berechnungen wurden immer unter der Prämisse durchgeführt, dass die Grundgesamtheit N größer als 30 ist. So kann in diesem Fall der Standardfehler des Stichprobenfehlers mit Hilfe der Stichprobenvarianz geschätzt werden. Auf Grund der Stichprobengröße ist die t -Verteilung unbedeutend, da bei großen Stichproben ein Übergang von der t -Verteilung zur Standardnormalverteilung stattfindet.³⁰⁰

Bei kleineren Stichproben ist diese t -Verteilung allerdings zu beachten, wodurch sich die Berechnung der Varianz ε mit Hilfe der Werte für die gewählte Sicherheitswahrscheinlichkeit ($t = 1,64$ für 90 %, $t = 1,96$ für 95 % und $t = 2,575$ für 99 % Eintrittswahrscheinlichkeit) folgendermaßen darstellt:

1. Ermittlung des Mittelwertes \bar{x}

$$\bar{x} = \sum x_i / N \quad (6.7)$$

2. Ermittlung der Standardabweichung $\hat{\sigma}$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (6.8)$$

3. Ermittlung des Standardfehlers $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \hat{\sigma} / \sqrt{N} \quad (6.9)$$

4. Ermittlung der Abweichung Δ_{crit}

$$\Delta_{crit} = \pm t * \hat{\sigma}_{\bar{x}} \quad (6.10)$$

²⁹⁹ Vgl. Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S. 103ff.

³⁰⁰ Vgl. Bortz, J.; Schuster, C.: a.a.O., S.103ff.

6.2 Auswertung der persönlichen Daten der untersuchten Bauarbeiter

Aus den Auswertungsbögen der Spiroergometrien werden die wesentlichen persönlichen Daten (siehe Bild 5-6) der Bauarbeiter entnommen, welche für die weitere Datenauswertung verwendet werden.

6.2.1 Übersicht über die physiologische Kenngrößen der Bauarbeiter

Die von den Bauarbeitern erhobenen Daten werden nun im Einzelnen betrachtet. In der nachfolgenden Tabelle werden alle erhobenen Daten aufgelistet.

Tabelle 6-1 Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter

Proband Nr.	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	P _{max} [Watt]	P _{LTP1} [Watt]	P _{LTP2} [Watt]	HF _{max} [S/min]	HF _{LPT 1} [S/min]	HF _{LPT 2} [S/min]	VO _{2,max} [L/min]
TU 1	46	190,0	85,0	23,55	252	67	164	198	136	170	3,59
TU 2	47	182,0	119,0	35,93	215	112	172	164	122	140	3,13
TU 3	41	178,5	76,5	24,01	300	121	222	180	119	157	3,84
TU 4	39	181,5	93,0	28,23	260	112	190	177	122	155	3,56
TU 5	29	178,0	85,0	26,83	245	52	164	205	110	147	3,44
TU 6	35	176,0	87,0	28,09	230	66	144	190	116	149	3,42
TU 7	25	186,5	76,0	21,85	275	82	186	198	124	160	3,27
TU 8	25	167,0	85,0	30,48	245	70	162	212	125	169	3,44
TU 9	33	191,0	145,0	39,75	275	111	191	169	117	137	4,34
TU 10	35	189,0	124,0	34,71	230	84	155	153	124	137	3,97
TU 11	55	176,5	72,0	23,11	200	51	129	149	89	99	2,74
TU 12	48	178,0	99,0	31,25	170	52	115	178	110	130	2,80
TU 13	17	178,5	77,5	24,32	245	66	161	192	103	148	3,55
TU 14	22	171,0	66,0	22,57	215	54	144	190	107	151	3,92
TU 15	22	178,0	94,5	29,83	200	54	131	182	114	140	3,71
TU 16	21	188,0	121,2	34,29	230	69	161	187	116	154	3,86
TU 17	21	176,5	66,0	21,19	275	115	203	188	124	160	4,60
TU 18	25	182,0	81,0	24,45	215	67	145	191	118	165	2,96
TU 19	25	190,5	105,0	28,93	275	81	188	195	144	176	4,28
TU 20	34	182,0	118,0	35,62	275	80	192	182	123	159	4,41
TU 21	20	175,0	84,5	27,59	245	52	163	191	119	164	3,37
\bar{x}	31,7	180,7	93,3	28,41	242	77	166	184	118	151	3,63
SD	10,9	6,5	21,3	5,30	32	24	27	16	11	17	0,51

6.2.2 Alter

Aus der Auswertung der Geburtsdaten ergibt sich, bezogen auf das Jahr 2008³⁰¹, 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 Einteilung der Bauarbeiter Urlaubs- und Abfertigungskasse (BUAK)³⁰², 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 Jahre³⁰³ und ist somit um 6,2 Jahre höher als in der Untersuchungsgruppe.

Durchschnittsalter eines Bauarbeiters in Österreich beträgt 37,9 Jahre

Weiters wurde ein Vergleich der Altersverteilung entsprechend der BUAK-Klassifizierung durchgeführt. Die Untersuchungsdaten und die von der BUAK zur Verfügung gestellten Daten³⁰⁴ sind in Tabelle 6-2 und Tabelle 6-3 sowie Bild 6-1 dargestellt.

Tabelle 6-2 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%

³⁰¹ In diesem Jahr wurde der überwiegende Teil der Untersuchungen durchgeführt.

³⁰² Bau-Arbeiter-Urlaubs-und Abfertigungskasse, <http://www.buak.at>.

³⁰³ Auskunft der BUAK, Durchschnittsalter_BauarbeiterInnen_2008.pdf, per email am 16.08.2010, 9:48 Uhr.

³⁰⁴ Vgl. 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.

Tabelle 6-3 Altersverteilung aller Bauarbeiter in Österreich³⁰⁵

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%

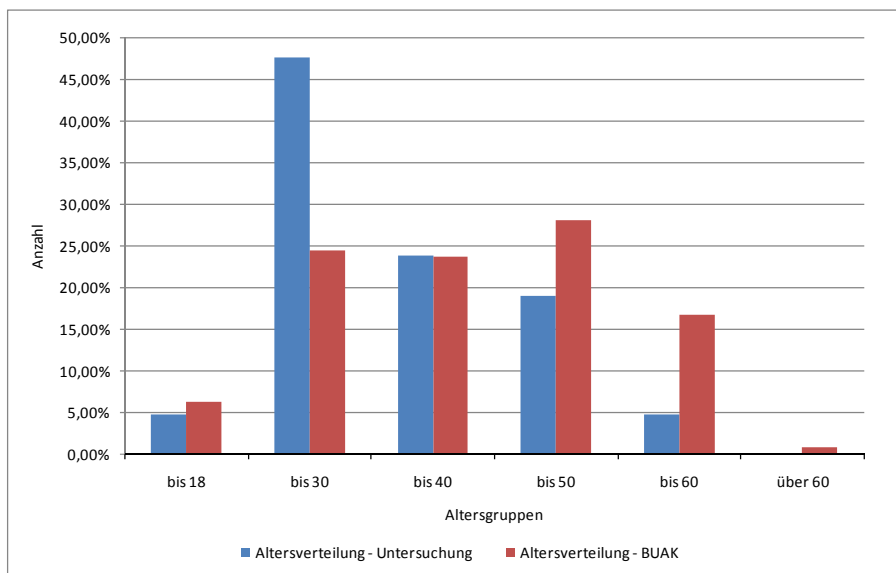


Bild 6-1 Häufigkeitsverteilung des Alter der BauarbeiterInnen der Untersuchung und in Österreich (gesamt)

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.

6.2.3 Gewicht

Bei der Analyse der Datenreihe für das Gewicht der Bauarbeiter ergaben sich folgende Werte:

³⁰⁵ Vgl. 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.

Der schwerste Bauarbeiter hatte zum Untersuchungszeitpunkt 145 kg, der leichteste 66 kg. Als arithmetisches Mittel ergab sich ein Gewicht von $93,3 \pm 21,3$ kg.

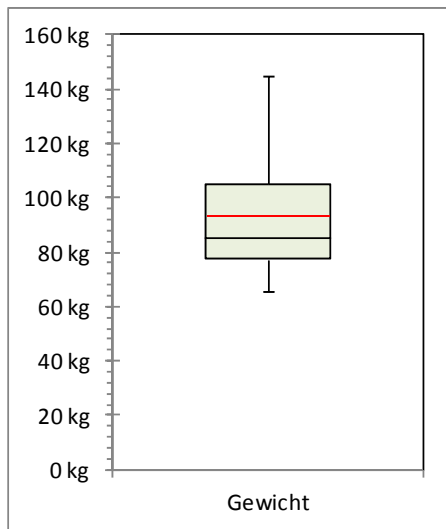


Bild 6-2 Boxplot-Darstellung des Gewichts der Probanden [kg]

Aus Bild 6-2 ist ersichtlich, dass der Mittelwert der erhobenen Gewichte über dem Median von 85 kg liegt. Dementsprechend haben einzelne Bauarbeiter durch ihr höheres Gewicht eine Mittelwertverschiebung nach oben hervorgerufen.

6.2.4 Body-Mass-Index (BMI)

Der Body-Mass-Index (BMI) kann mit Hilfe der folgenden Gleichung aus dem Gewicht und der Körpergröße aus Tabelle 6-1 ermittelt werden:

$$BMI [kg/m^2] = \frac{\text{Gewicht [kg]}}{\text{Körpergröße}^2 [m^2]} \quad (6.11)$$

Demnach ergaben sich für den BMI der minimale Wert von 21,19 kg/m², der maximale Wert von 39,75 kg/m² sowie ein arithmetisches Mittel von $28,41 \pm 5,30$ kg/m².

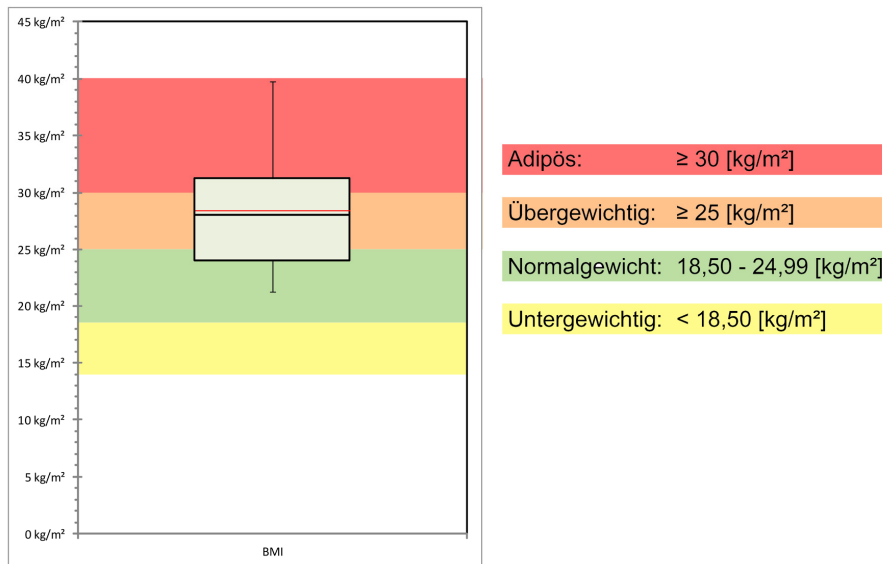


Bild 6-3 Boxplot-Darstellung des BMI der Probanden [kg/m²] sowie der BMI Schwellenwerte³⁰⁶

Entsprechend Bild 6-3 sind der arithmetische Mittelwert (28,41 kg/m²) und der Median (28,09 kg/m²) nahezu deckungsgleich. Auch die Box (24,01 – 31,25 kg/m²) ist nahezu gleichverteilt um den Mittelwert angeordnet. Stellt man die Verteilung des BMI in den einzelnen Bereichen dar, ergibt dies:

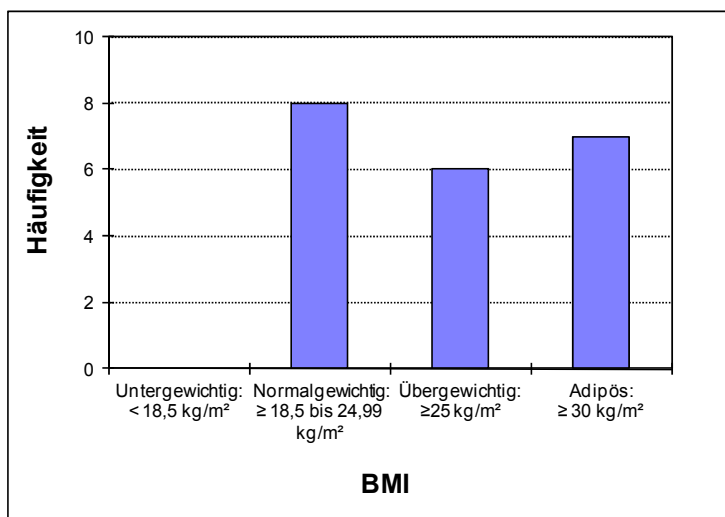


Bild 6-4 Verteilung der untersuchten Bauarbeiter in den BMI-Klassen

³⁰⁶ BMI-Klassifizierung entsprechend der WHO: Vgl. http://apps.who.int/bmi/index.jsp?introPage=intro_3.html, 16.10.2011, 11:00.

6.3 Aussagekraft der erhobenen eindimensionalen Daten

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.

6.3.1 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 6-4 ersichtlich.

Tabelle 6-4 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 6-4 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.³⁰⁷

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.

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 6-5 Übersicht untersuchter Baustellen mit Mauerwerksarbeiten

Baustelle	Baufirma	Anzahl Bauarbeiter		Tätigkeitsaufzeichnungen	Beobachtungstage		
		Gesamt	mit Laboruntersuchung		Gesamt	mit Herzfrequenzmessung	mit Herzfrequenzmessung und Leistungsaufzeichnung
		[#]	[#]	[#]	[d]	[d]	[d]
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

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.

³⁰⁷ 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.

- Datenreihen mit einer großen Stichprobe

Ein Stichprobenumfang von mehr als 30 Datensätzen ($N > 30$) liegt bei folgenden Datenreihen vor:

- ♦ Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der Tätigkeitskategorien ($N = 15.803$ bzw. $N = 6.381$)
- ♦ Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der Tätigkeitsunterkategorien ($N = 15.803$ bzw. $N = 6.381$)
- ♦ Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der einzelnen Tätigkeiten ($N = 15.803$ bzw. $N = 6.381$)
- ♦ Datenreihen bezogen ausschließlich auf Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau ($N=4.113$)
- ♦ Beobachtungs-Mann-Tagen ($N = 217$ bzw. $N = 94$)
- ♦ Beobachtungen des Leistungsverlaufs im Mauerwerksbau ($N = 59$)

- Datenreihen mit einer kleinen Stichprobe

Datenreihen mit einer Grundgesamtheit von weniger als 30 ($N < 30$) sind die Ergebnisse aus der Laboruntersuchung ($N = 21$)

6.3.2 Große Stichproben ($N > 30$)

Wie in den Grundlagen dargestellt, kann mit Hilfe der folgenden Formel (6.12) auf Basis eines angenommenen Konfidenzniveaus (t) und dem erwarteten prozentualen Anteilswert der zu prüfenden Kategorien einer Datenreihe (p), die Varianz (ε) für Datenreihen mit einem großen Stichprobenumfang (N) berechnet werden:

$$\varepsilon = \pm t * \sqrt{\frac{p*q}{N}} \quad (6.12)$$

Im Folgenden wird nur explizit auf den Datenumfang der Mauerwerksarbeiten eingegangen, da für diesen Aufgabenbereich auch die weiteren Datenanalysen durchgeführt wurden.

6.3.2.1 Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der Tätigkeitskategorien (N = 6.381)

Durch Einsetzen in Gleichung (6.12) ergibt sich folgendes Ergebnis für die Varianz für die Kategorien Tätigkeit und Unterbrechung bei festgelegtem Konfidenzniveau und der Annahme $p = 0,70$ und $q = 0,30$.

Die Annahme der p - und q -Anteile ergibt sich aus der Literatur (Zimmermann³⁰⁸ Hofstadler³⁰⁹, Bergmann / Motzko³¹⁰ und Blasch³¹¹) sowie aus den Ergebnissen der Auswertung der Tätigkeitsverteilung, bei denen ein Anteil von ca. 70 % bei Tätigkeiten und ca. 30 % bei Unterbrechungen vorgefunden wurde. Hieraus ergibt sich eine Varianz von 0,941 bis 1,477 % je nach vorgegebener Eintrittswahrscheinlichkeit

Tabelle 6-6 Varianzen ε der Ergebnisse für die Kategorien Tätigkeit und Unterbrechung

Eintrittswahrscheinlichkeit	Sicherheitswahrscheinlichkeit (t) ³¹²	Varianz ε
90 %	1,64	0,941 %
95 %	1,96	1,124 %
99 %	2,575	1,477 %

6.3.2.2 Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der Tätigkeitsunterkategorien (N = 6.381)

Da die Anzahl der Tätigkeitsbeobachtungen sich nicht verändert, unabhängig von der Betrachtung der Tätigkeitskategorien oder Tätigkeitsunterkategorien, ergibt sich die Veränderung der Varianz nur infolge der Veränderung der Werte von p und q .

Hierbei wurde der Wert für p für die Unterkategorien aufgrund der Ergebnisse der Datenauswertung folgendermaßen angenommen:

- ♦ Haupttätigkeit $p = 0,40$
- ♦ Nebentätigkeit $p = 0,20$
- ♦ Zusätzliche Tätigkeit $p = 0,10$

³⁰⁸ Zimmermann, J.; Haas, B.: Baulogistik: Motivation - Definition - Konzeptentwicklung, in: Tiefbau, Nr. 01 (2009), S. 11–16.

³⁰⁹ Wagner, J.: REFA-Untersuchungen zu Bewehrungsarbeiten bei Ortbetondecken, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2010 gefunden in Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, S. 191.

³¹⁰ Bergmann, M.; Motzko, C.: Ergonomiegetützte Multiagentensimulation im Baubetrieb, in: Bauportal, Nr. 5 (2010), S. 280–283.

³¹¹ Blasch, G.: 20. Kassel-Darmstädter Baubetriebsseminar Schalungstechnik, in: Bauportal, Nr. 03 (2011), S. 42–44.

³¹² Die Wert t wurden entsprechend der gewählten Eintrittswahrscheinlichkeit aus Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S. 587ff entnommen.

- ♦ Ablaufbedingt $p = 0,10$
- ♦ Störungsbedingt $p = 0,10$
- ♦ Erholungsbedingt $p = 0,05$
- ♦ Persönlich bedingt $p = 0,05$

Diese Ergebnisse werden auch durch die einschlägige Literatur, wie beispielsweise Zimmermann³¹³ Hofstadler³¹⁴, Bergmann / Motzko³¹⁵ und Blasch³¹⁶ bestätigt.

Aus diesen Annahmen ergeben sich die in Tabelle 6-7 abgebildeten Werte für die Varianz.

Tabelle 6-7 Varianzen ε der Ergebnisse für die Unterkategorien

Anteilswert (p)	Eintrittswahrscheinlichkeit	Sicherheitswahrscheinlichkeit (t)	Varianz ε
0,40	90 %	1,64	1,006%
	95 %	1,96	1,202%
	99 %	2,575	1,579%
0,20	90 %	1,64	0,821%
	95 %	1,96	0,981%
	99 %	2,575	1,289%
0,10	90 %	1,64	0,616%
	95 %	1,96	0,736%
	99 %	2,575	0,967%
0,05	90 %	1,64	0,447%
	95 %	1,96	0,535%
	99 %	2,575	0,703%

Dementsprechend nimmt die Varianz der Unterkategorien Werte von 0,447 bis 1,579 % je nach vorgegebener Eintrittswahrscheinlichkeit an.

³¹³ Zimmermann, J. ; Haas, B.: Baugestaltung: Motivation - Definition - Konzeptentwicklung, in: Tiefbau, Nr. 01 (2009), S. 11–16.

³¹⁴ Wagner, J.: REFA-Untersuchungen zu Bewehrungsarbeiten bei Ortbetondecken, Diplomarbeit TU Graz, Graz 2010 gefunden in Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, S. 191.

³¹⁵ Bergmann, M.; Motzko, C.: Ergonomiegetützte Multiagentensimulation im Baubetrieb, in: Bauportal, Nr. 5 (2010), S. 280–283.

³¹⁶ Blasch, G.: 20. Kassel-Darmstädter Baubetriebsseminar Schalungstechnik, in: Bauportal, Nr. 03 (2011), S. 42–44.

6.3.2.3 Datenreihen der Tätigkeitsbeobachtungen der einzelnen Tätigkeiten (N = 6.381)

Wie schon für die Unterkategorien ausgeführt, bleibt auch für die Auswertung der einzelnen Tätigkeiten der Beobachtungsumfang gleich und es ändert sich einzig die Erwartungshaltung des Anteilswertes. Da in diesem Fall die Möglichkeiten des Auftretens zwischen 0,99 und 0,01 liegen³¹⁷, wird die Varianz nicht mehr in Form einer Tabelle sondern gemäß Bild 6-5 abgebildet.

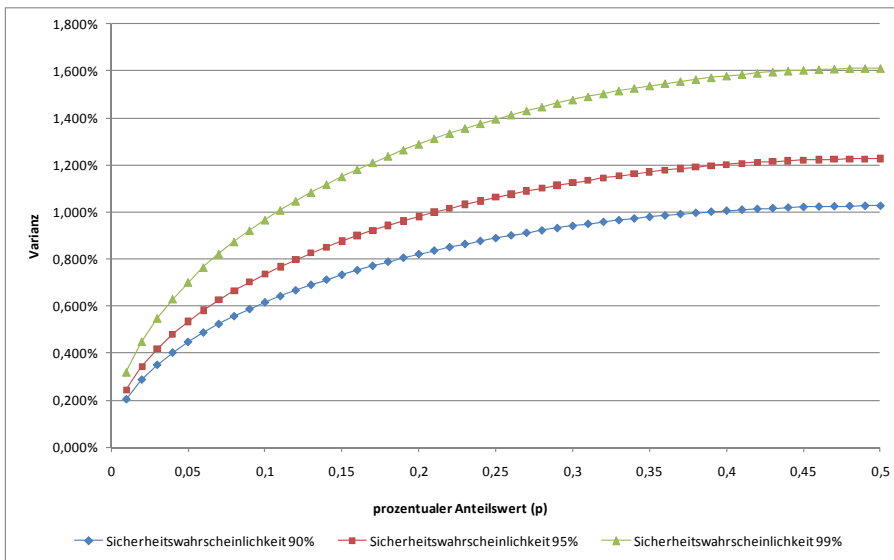


Bild 6-5 Varianz ε für einzelne Tätigkeiten in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p)

Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 99 % entsteht infolge der großen Anzahl von Einzelaufzeichnungen lediglich eine Varianz der Tätigkeitsverteilung von $\varepsilon < 1,65 \%$ (siehe Bild 6-5).

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

Aufgrund dieser Überlegungen 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.

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

³¹⁷ Dargestellt wird in der Grafik der Bereich zwischen 0,01 und 0,50 da sich aufgrund der Gleichung (6.6) und der Voraussetzung $q=1-p$ für alle Werte $p>0,50$ der Wert der Varianz wieder abnehmen würde und die Kurve um eine vertikale Linie durch $p=0,50$ gespiegelt werden kann.

6.3.2.4 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 0,01.³¹⁸ Die Varianz wird erneut graphisch dargestellt:

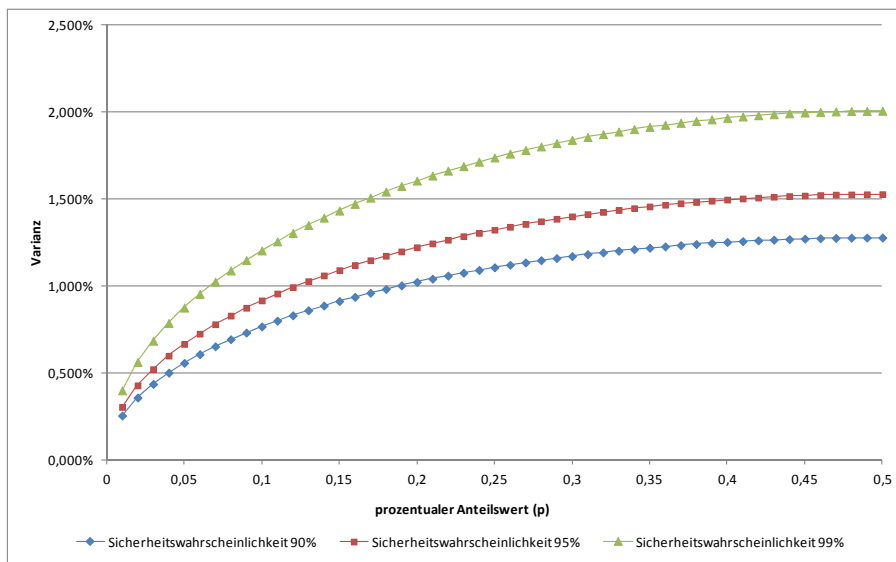


Bild 6-6 Varianz ε für einzelne Tätigkeiten des Maurers im mehrgeschossigen Wohnbau in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p)

Bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 99 % entsteht infolge der großen Anzahl von Einzelaufzeichnungen lediglich eine Varianz der Tätigkeitsverteilung von $\varepsilon < 2,01$ % (siehe Bild 6-6).

6.3.2.5 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.

Dargestellt wird wiederum das Ergebnis der Varianzberechnungen für die drei Eintrittswahrscheinlichkeiten von 90 %, 95 % und 99 %, wobei in

³¹⁸ Die Darstellung erfolgt analog zu Bild 6-5 nur bis zum Wert $p=0,50$.

diesem Fall der erwartete prozentuelle Anteil ebenso zwischen 0,01 und 0,99 liegen kann.³¹⁹

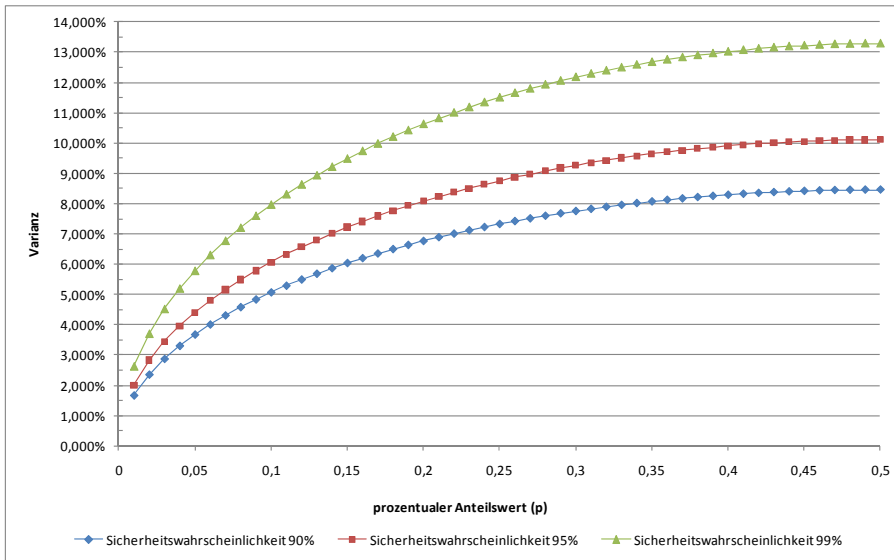


Bild 6-7 Varianz ε für die Verteilung der Tätigkeiten eines Arbeitstages in Abhängigkeit des erwarteten prozentuellen Anteils (p)

Auf Grund der geringeren Grundgesamtheit resultiert bei dieser Betrachtung eine größere Varianz der Ergebnisse als bei den vorhergehenden Datenreihen (siehe Bild 6-7). 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 $p < 10 \%$

³¹⁹ Die Darstellung erfolgt analog zu Bild 6-5 nur bis zum Wert $p=0,50$.

6.3.2.6 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 6-8 dargestellten Werte.

Tabelle 6-8 Varianzen ε der Ergebnisse der Leistungswerte (N = 59)

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

Hier zeigt sich, dass sich auf Grund der geringeren Grundgesamtheit ($N=59$) bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 90 % eine Varianz ε im Bereich von 10,675 % bis 16,762 % ergibt.

Aus diesen Überlegungen zu Datenreihen mit Grundgesamtheiten $N > 30$ geht hervor, dass die Ergebnisse der Tätigkeitsverteilungen der gesamten Baustellenbeobachtung, wie auch der Tätigkeitsverteilung eines Arbeitstages, je nach Anteil der Tätigkeiten gering signifikante bis hoch signifikante Ergebnisse liefern.

6.3.3 Kleine Stichproben (N < 30)

Die Ermittlung der Aussagekraft bei einer Stichprobe von weniger als 30 erfolgt durch das Einsetzen in nachstehende vier Gleichungen:

1. Ermittlung des Mittelwertes \bar{x}

$$\bar{x} = \sum x_i / N \quad (6.13)$$

2. Ermittlung der Standardabweichung $\hat{\sigma}$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (6.14)$$

3. Ermittlung des Standardfehlers $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \hat{\sigma} / \sqrt{N} \quad (6.15)$$

4. Ermittlung der Abweichung Δ_{crit}

$$\Delta_{crit} = \pm t * \hat{\sigma}_{\bar{x}} \quad (6.16)$$

6.3.4 Ergebnisse der Spiroergometrie (N=21)

Die Datenanalyse der einzelnen personenabhängigen Daten wird anhand des Alters beispielhaft erklärt. Für die weiteren Kenngrößen werden hier nur die Ergebnisse der Varianzuntersuchung dargestellt.

6.3.4.1 Detaillierte Auswertung für die Datenreihe „Alter“

Da die Untersuchung - und vor allem die Spiroergometrien - überwiegend im Jahr 2008 durchgeführt wurden, werden alle Altersangaben auf das Jahr 2008 bezogen. Somit ergibt sich aus den einzelnen Angaben folgende Tabelle:

Tabelle 6-9 Altersverteilung der untersuchten Bauarbeiter

Proband Nr.	Geburtsjahr	Alter
TU 1	1962	46
TU 2	1961	47
TU 3	1967	41
TU 4	1969	39
TU 5	1979	29
TU 6	1973	35
TU 7	1983	25
TU 8	1983	25
TU 9	1975	33
TU 10	1973	35
TU 11	1953	55
TU 12	1960	48
TU 13	1991	17
TU 14	1986	22
TU 15	1986	22
TU 16	1987	21
TU 17	1987	21
TU 18	1983	25
TU 19	1983	25
TU 20	1974	34
TU 21	1988	20

1. Ermittlung des Mittelwertes \bar{x} durch Einsetzen in die Gleichung (6.17)

$$\bar{x} = \sum x_i / N = 665 / 21 = 31,7 \text{ Jahre} \quad (6.17)$$

2. Ermittlung der Standardabweichung $\hat{\sigma}$ durch Einsetzen in die Gleichung (6.18)

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{2372,69}{20}} = 10,89 \quad (6.18)$$

3. Ermittlung des Standardfehlers $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ durch Einsetzen in die Gleichung (6.19)

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \hat{\sigma} / \sqrt{N} = 10,89 / \sqrt{21} = 2,377 \quad (6.19)$$

4. Abweichungen Δ_{crit} durch Einsetzen in die Gleichung (6.20) bis (6.22)

$$\Delta_{crit90\%} = \pm t * \hat{\sigma}_{\bar{x}} = \pm 1,64 * 2,376 = \pm 3,90 \text{ Jahre} \quad (6.20)$$

$$\Delta_{crit95\%} = \pm t * \hat{\sigma}_{\bar{x}} = \pm 1,96 * 2,376 = \pm 4,66 \text{ Jahre} \quad (6.21)$$

$$\Delta_{crit99\%} = \pm t * \hat{\sigma}_{\bar{x}} = \pm 2,575 * 2,376 = \pm 6,12 \text{ Jahre} \quad (6.22)$$

Anhand dieser Auswertungen der erhobenen Daten wird die gesamte Spannweite des möglichen Beschäftigungsalters abgedeckt. Daher zeigt sich bei der Analyse eine entsprechende Streuung der Werte um den Mittelwert, woraus sich die Varianz für die Altersangaben berechnet:

- ♦ $\varepsilon_{90\%} = 3,90 / 31,7 = 12,31\%$
- ♦ $\varepsilon_{95\%} = 4,66 / 31,7 = 14,71\%$
- ♦ $\varepsilon_{99\%} = 6,11 / 31,7 = 19,33\%$

6.3.4.2 Zusammenstellung aller Spiroergometriedaten

Tabelle 6-10 Abweichung und Varianzangaben für die Körperkennwerte

	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	BMI [kg/m ²]	P _{max} [Watt]	P _{LTP1} [Watt]	P _{LTP2} [Watt]	HF _{max} [1/min]	HF _{LTP1} [1/min]	HF _{LTP2} [1/min]	VO _{2 max} [L/min]
\bar{x}	31,7	180,7	93,3	28,41	241,5	77,0	165,8	184,3	118,2	150,8	3,63
$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$	2,377	1,425	4,651	1,157	7,003	5,175	5,796	3,421	2,467	3,706	0,112
$\Delta_{crit90\%}$	± 3,9	± 2,3	± 7,6	± 1,90	± 11,5	± 8,5	± 9,5	± 5,6	± 4,0	± 6,1	± 0,18
$\Delta_{crit95\%}$	± 4,7	± 2,8	± 9,1	± 2,27	± 13,7	± 10,1	± 11,4	± 6,7	± 4,8	± 7,3	± 0,22
$\Delta_{crit99\%}$	± 6,1	± 3,7	± 12,0	± 2,98	± 18,0	± 13,3	± 14,9	± 8,8	± 6,4	± 9,5	± 0,29
$\varepsilon_{90\%}$	12,31%	1,29%	8,17%	6,68%	4,75%	11,02%	5,73%	3,04%	3,42%	4,03%	5,07%
$\varepsilon_{95\%}$	14,71%	1,55%	9,77%	7,98%	5,68%	13,17%	6,85%	3,64%	4,09%	4,82%	6,06%
$\varepsilon_{99\%}$	19,33%	2,03%	12,83%	10,49%	7,47%	17,30%	9,00%	4,78%	5,37%	6,33%	7,96%

Die Unterschiede in der körperlichen Verfassung der einzelnen Probanden zeigen sich in einer großen Streuung der Werte beim Gewicht und infolgedessen auch beim BMI.

6.3.5 Aussagekraft der durchgeführten Datenerhebung

Aus diesen Darstellungen der Varianz und der Standardabweichung kann somit festgestellt werden, dass für die Tätigkeitsbeobachtungen und der Verteilung der täglichen Arbeitszeit sowie der Beobachtung des Leistungsverlaufes Stichproben mit einer Grundgesamtheit mit mehr als 30 Einzelwerten erhoben werden konnten. Damit sind hierfür genügend Daten für statistisch fundierte Aussagen vorhanden.

Die Varianz der Ergebnisse liegt bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 90 % bei

- der Tätigkeitsbeobachtung aller untersuchten Bauarbeiter im Mauerwerksbau bei 0,94 %,
- der Tätigkeitsverteilung während eines Arbeitstages mit Mauerwerkstätigkeiten bei ca. 8,50 % und
- dem Leistungsverlauf bei 10,68 %.

Die weiteren Daten umfassen ausschließlich 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. Dennoch wurden auch hier eindimensionale statistische Kenngrößen ermittelt, um mögliche Zusammenhänge darzustellen.

Auf eine vertiefte Untersuchung dieser persönlichen Kennwerte als eindimensionale Datenreihen wird allerdings verzichtet, da bei diesen Kennwerten die Untersuchung möglicher Zusammenhänge untereinander für die weitere Anwendung wesentlicher ist.

6.4 Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den persönlichen Parametern

Nach der Darstellung der einzelnen Parameter werden im Weiteren die Zusammenhänge zwischen einzelnen personenbezogenen Parametern wie Alter, Gewicht, BMI, Herzfrequenz-, und Leistungswerte auf einen nachweisbaren Zusammenhang überprüft.

Dabei wird mit Hilfe des Programms WINSTAT eine Korrelationsprüfungen durchgeführt und der Korrelationskoeffizient r sowie das Signifikanzniveau (p -Wert) bestimmt. Im nächsten Schritt wird für jene Datenreihen, bei denen eine Korrelation und eine Signifikanz festgestellt wurde, Regressionsrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse in einem Streu-

ungsdiagramm mit der Angabe der statistischen Kennwerte abgebildet. Die Daten für die dargestellten Datenreihen wurden Tabelle 6-1 entnommen.

6.4.1 Alter und Gewicht

Im Diagramm wurden auf der horizontalen Achse das Alter und auf der vertikalen Achse das jeweilige Gewicht des Bauarbeiters dargestellt. Dadurch ergibt sich das in Tabelle 6-8 dargestellte Ergebnis.

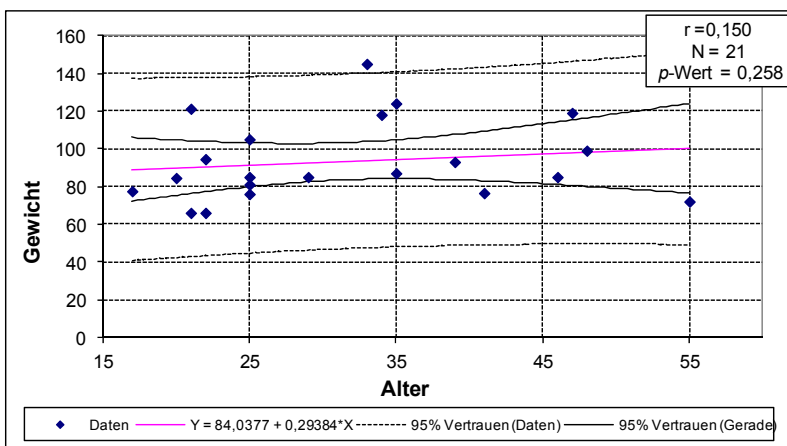


Bild 6-8 Auswertungsdiagramm für Alter und Gewicht

Aus der Darstellung und den statistischen Kennwerten ist erkennbar, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und Gewicht bei den untersuchten Bauarbeitern besteht.

Da auch in der Literatur (z.B. Åstrand, Hettinger, Spitzer, Rohmert, Rutenfranz) kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Alter und Gewicht einer Person beschrieben wurde, wird auf eine weitere Analyse dieses Datenpaares verzichtet.

6.4.2 Alter und BMI

Im Diagramm wurden auf der horizontalen Achse das Alter und auf der vertikalen Achse der jeweilige BMI des Bauarbeiters aufgetragen, wodurch sich Tabelle 6-9 ergibt:

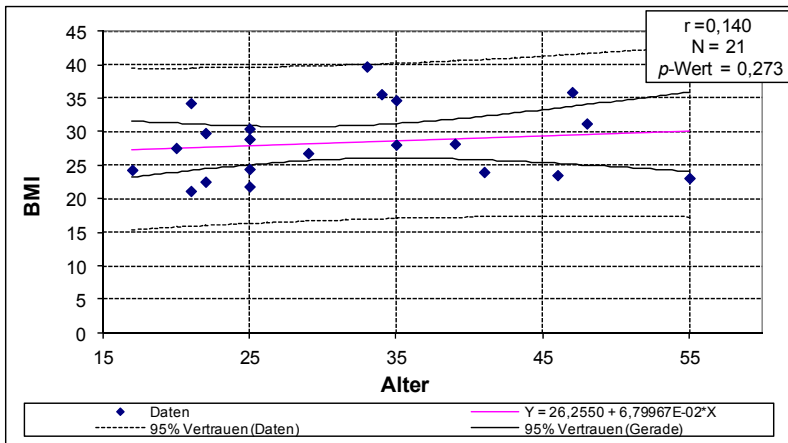


Bild 6-9 Auswertungsdiagramm für Alter und BMI

Die dargestellten Daten sowie die statistischen Kennwerte lassen auch bei diesen beiden Datenreihen keinen signifikanten Zusammenhang erkennen.

6.4.3 Alter und HF_{max}

Für die Darstellung wurde auf der horizontalen Achse das Alter und auf der vertikalen Achse die jeweilige maximale Herzfrequenz des Bauarbeiters abgebildet:

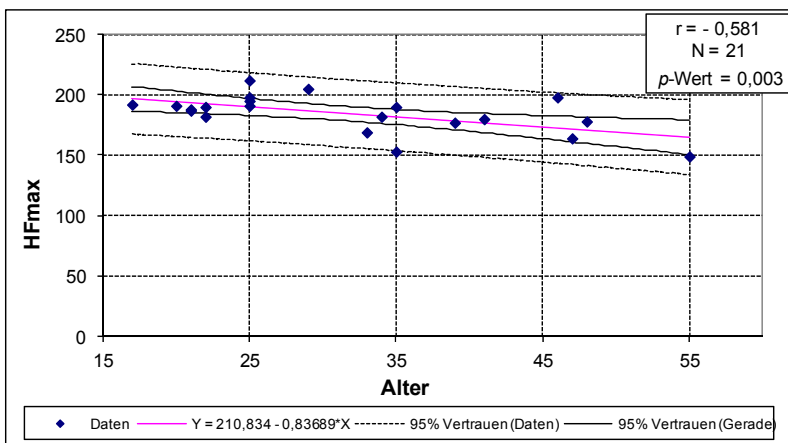


Bild 6-10 Auswertungsdiagramm für Alter und HF_{max}

Bereits in den Grundlagen wurde dargestellt, dass ein Zusammenhang zwischen dem Alter und der maximalen Herzfrequenz besteht. Dieser zeigt sich auch in der untersuchten Bauarbeitergruppe. Der hoch signifikante Zusammenhang (p -Wert < 0,01) kann durch nachfolgende Gleichung dargestellt werden:

$$HF_{max} = 210,834 - 0,8369 * Alter \quad (6.23)$$

6.4.4 Alter und HF_{LTP1}

Neben der maximalen Herzfrequenz wird auch die Herzfrequenz am LTP₁ dem Alter gegenübergestellt:

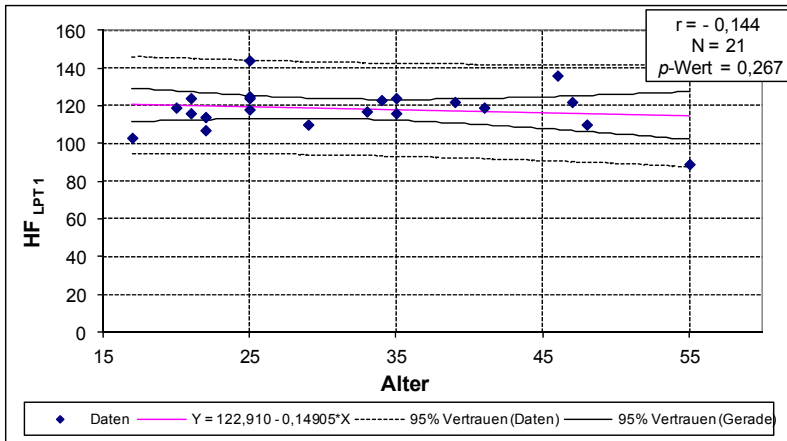


Bild 6-11 Auswertungsdiagramm für Alter und HF_{LTP1}

Im Gegensatz zur maximalen Herzfrequenz zeigt sich für die Herzfrequenz am LTP₁ kein signifikanter Zusammenhang zum jeweiligen Alter der Bauarbeiter.

6.4.5 Alter und HF_{LTP2}

Die abschließende Prüfung der Herzfrequenzwerte in Verbindung mit dem jeweiligen Alter stellt die Analyse des Zusammenhangs zwischen Alter und HF_{LTP2} dar.

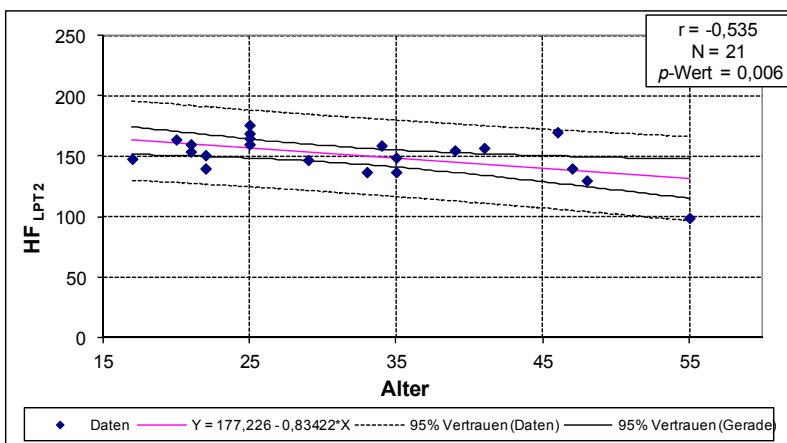


Bild 6-12 Auswertungsdiagramm für Alter und HF_{LTP2}

Aus der Datenauswertung zeigt sich, dass ein hoch signifikanter Zusammenhang (p -Wert $< 0,01$) zwischen Alter und der Herzfrequenz am LPT_2 besteht. Dieser wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$HF_{max} = 177,226 - 0,8342 * Alter \quad (6.24)$$

6.4.6 Alter und P_{max}

Im nächsten Schritt wurde der Zusammenhang zwischen dem Alter und der maximalen Leistung am Fahrradergometer dargestellt:

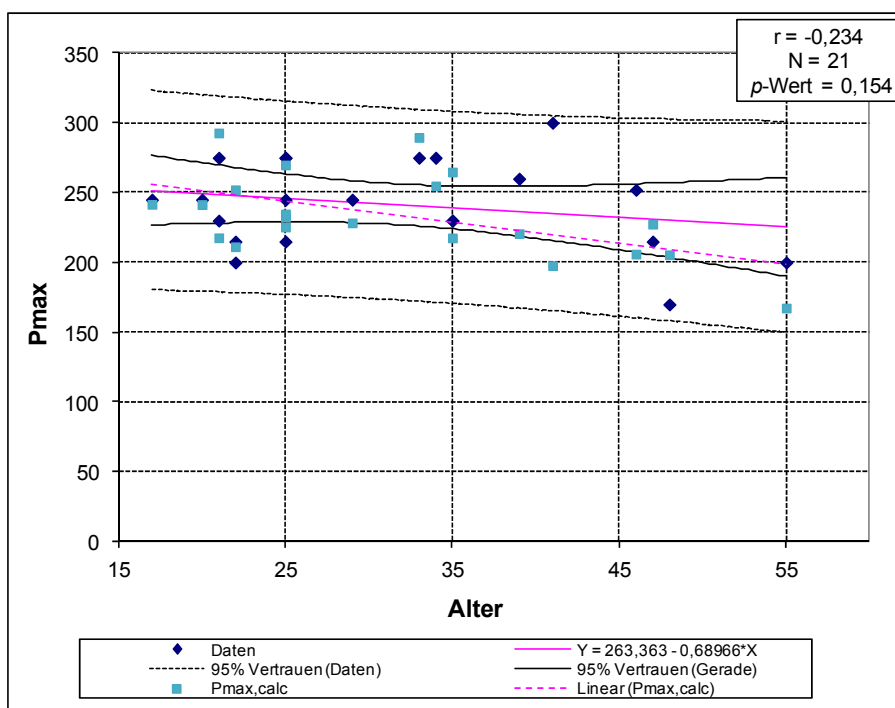


Bild 6-13 Auswertungsdiagramm für Alter und P_{max} ergänzt um $P_{max,calc}$

Es zeigt sich aus dieser Analyse, dass zwischen dem Alter und der maximalen Leistung der untersuchten Bauarbeitergruppe kein signifikanter Zusammenhang besteht.

Durch die ergänzende Darstellung der $P_{max,calc}$ entsprechend der Gleichung aus Kapitel 3.2.2 erkennt man, dass die erreichten P_{max} Werte mit zunehmendem Alter über den zu erwartenden Werten liegen.

6.4.7 P_{max} und HF_{max}

Ergänzend zum Vergleich ausgewählter Datenreihen mit dem Alter erfolgt auch die Analyse maximalen Leistung und maximalen Herzfrequenz in Bild 6-14.

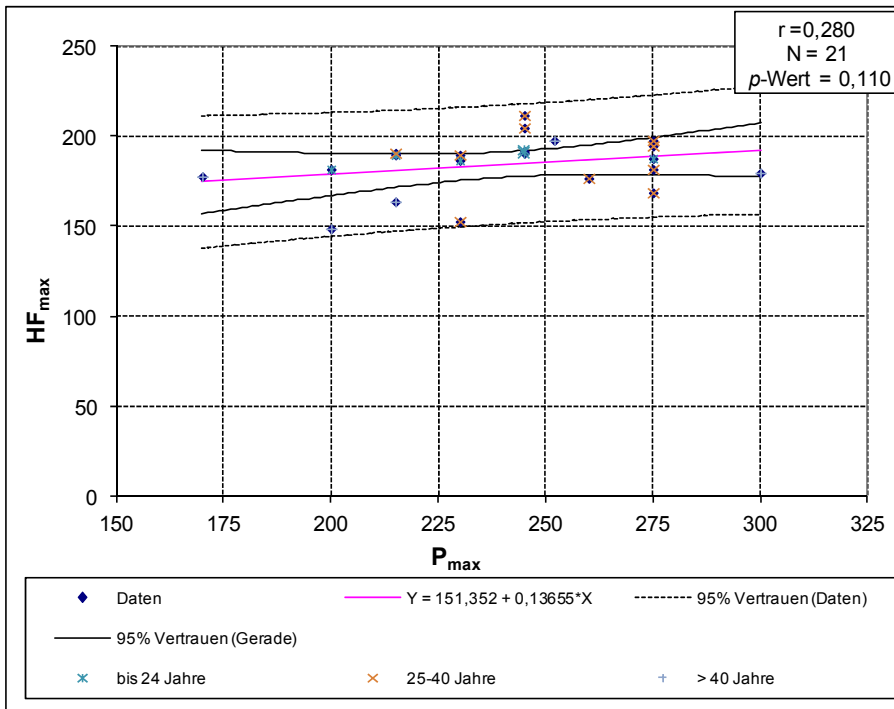


Bild 6-14 Auswertungsdiagramm für P_{max} und HF_{max} mit Darstellung der Altersgruppen

Die Auswertung zeigt, dass zwischen den beiden Maximalwerten der Herzfrequenz und der Leistung kein signifikanter Zusammenhang besteht.

6.4.8 P_{max} und HF_{LTP1}

Ergänzend wird überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen der maximalen Leistung und der Herzfrequenz am LTP₁ besteht. Die Ergebnisse sind in Bild 6-15 dargestellt:

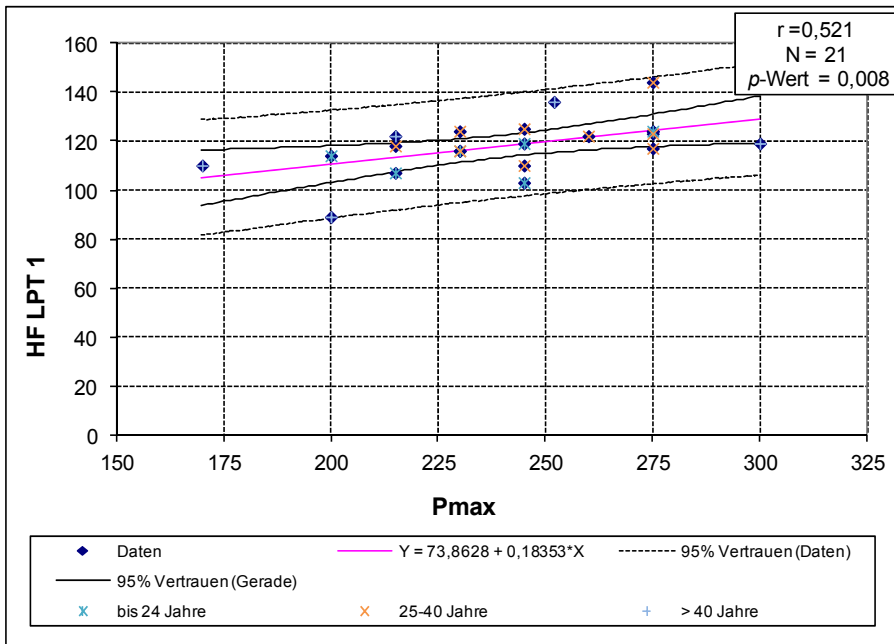


Bild 6-15 Auswertungsdiagramm für P_{max} und HF_{LPT1} mit Darstellung der Altersgruppen

Aus der Datenanalyse ist ersichtlich, dass zwischen der maximalen Leistung am Fahrradergometer und der Herzfrequenz am LPT₁ ein hoch signifikanter Zusammenhang (p-Wert < 0,01) besteht, wie dies auch bereits in den Grundlagen bei Studien in der Literatur vorgefunden wurde.³²⁰

Die ergänzende Darstellung des Alters sollte in dieser Abbildung herausstreichen, dass das Alter einen Einfluss auf HF_{max} und P_{max} hat. Auf diesen Umstand kann auch aus Bild 6-15 der untersuchten Gruppe geschlossen werden, wenn auch ein Bauarbeiter aus der ältesten Gruppe die höchste maximale Leistung erbracht hat.³²¹

6.4.9 VO_{2 max} und HF_{max}

Neben der Leistung stellt die maximale Sauerstoffaufnahme eine weitere wichtige leistungsphysiologische Kenngröße dar, die ebenso wie zuvor der maximalen Herzfrequenz gegenüber gestellt wird.

³²⁰ Die Auswertungen der Studien findet sich im Anhang unter A.1.3.

³²¹ Dieser Umstand ist auf sein Hobby, das Rennradfahren, zurück zu führen.

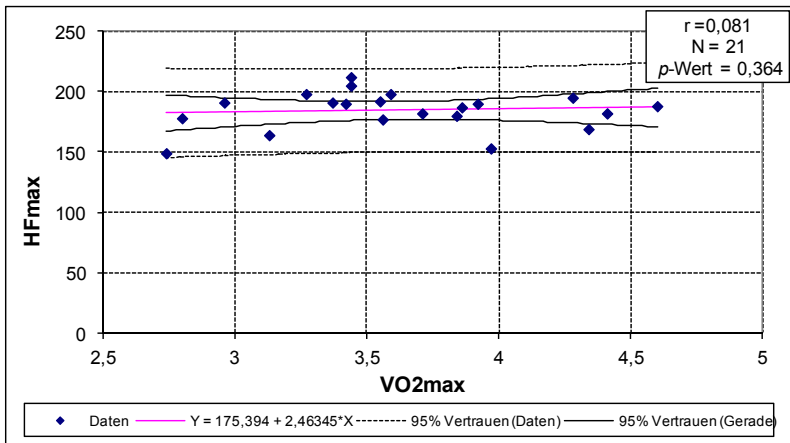


Bild 6-16 Auswertungsdiagramm für VO_{2 max} und HF_{max}

Es zeigt sich auch in diesem Fall, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und der maximalen Herzfrequenz bei den untersuchten Bauarbeitern aufgezeigt werden konnte.

6.4.10 HF_{max} und HF_{LTP1}

In den Grundlagen wurde bereits dargestellt, dass ein Zusammenhang zwischen der maximalen Herzfrequenz und der Herzfrequenz am LTP₁ in mehreren Studien vorgefunden wurde. Diesen Zusammenhang zeigt auch die Analyse der untersuchten Bauarbeiter:

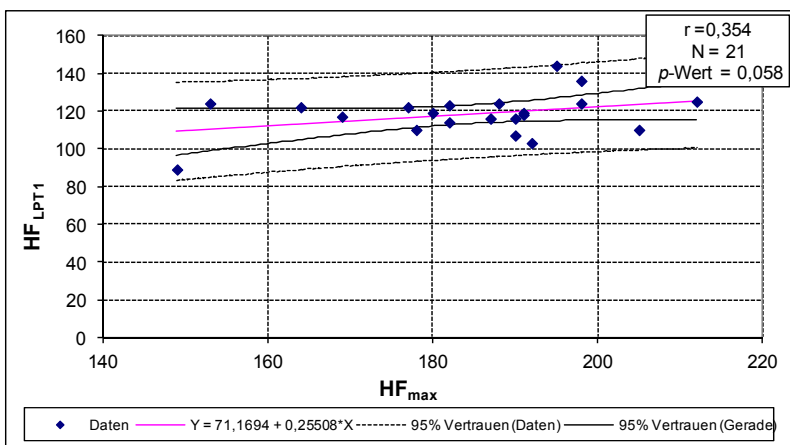


Bild 6-17 Auswertungsdiagramm HF_{max} und HF_{LTP1}

Die Auswertung der selbst erhobenen Daten zeigt im Gegensatz zu Literaturdaten keinen signifikanten Zusammenhang. Dies könnte jedoch auch aus dem geringen Untersuchungsumfang resultieren, weshalb in

weiteren Forschungsvorhaben dieser Zusammenhang weiterführend untersucht werden sollte.

6.4.11 % HF_{LTP1/max} und HF_{max}

Neben dem direkten Zusammenhang zwischen der maximalen Herzfrequenz und der Herzfrequenz am LTP₁ wird überprüft, ob der Anteil von HF_{LTP1} an HF_{max} (%HF_{LTP1/max}) einen Zusammenhang mit HF_{max} aufweist:

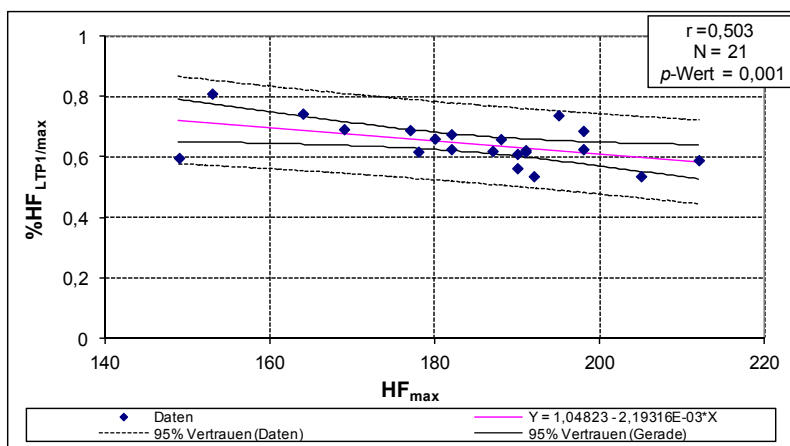


Bild 6-18 Auswertungsdiagramm HF_{max} und %HF_{LTP1/max}

Aus der Analyse dieser Datenreihen ergibt sich ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen dem Anteil der Herzfrequenz am LTP₁ an der maximalen Herzfrequenz in Relation zur maximalen Herzfrequenz. Da dieser signifikante Zusammenhang in den weiteren untersuchten Studien nicht vorgefunden wurde, kann er für die weitere Anwendung nur eingeschränkt verwendet werden.

6.4.12 HF_{LTP1} und HF_{max}, P_{max}

Die abschließenden Datenanalysen umfassen multiple Zusammenhänge, da diese auch in den Analysen der vorhandenen Studien für die rechnerische Bestimmung des HF_{LTP1} gefunden wurden.

Im ersten Schritt wird der Zusammenhang der maximalen Herzfrequenz und der maximalen Leistung mit der Herzfrequenz am LTP₁ untersucht.³²²

³²² Die Parameter P_{max} und HF_{max} wurden ausgewählt, da es für diese allgemeine Berechnungsformeln gibt, wie dies schon in den Grundlagen beschrieben wurde.

Aus der Datenanalyse ergibt sich ein signifikanter Zusammenhang (p -Wert = 0,032) und folgender Berechnungsformel:

$$HF_{LTP1} = 49,225 + 0,161 * P_{max} + 0,163 * HF_{max} \quad (6.25)$$

6.4.13 % $HF_{LTP1/max}$ und HF_{max} , P_{max}

Der zweite Schritt besteht aus der multiplen Analyse des Anteils von HF_{LTP1} an HF_{max} ($\%HF_{LTP1/max}$) und den Datenreihen für HF_{max} und P_{max} . Die Auswertung ergibt einen hoch signifikanten Zusammenhang (p -Wert = 0,009) und folgende Berechnungsformel:

$$\%HF_{LTP1/max} = 0,9273 + 0,000878 * P_{max} - 0,0027 * HF_{max} \quad (6.26)$$

Die Auswertung 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.

6.5 Tätigkeitsanalyse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Datenerhebungen der jeweiligen Module dargestellt. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung in Hinblick auf den Beobachtungszeitraum und auf die Anzahl der beobachteten Bauarbeiter. Aufbauend aus den Aufzeichnungen des Datenerhebungsbogens werden die Daten gemäß den Kategorien der Tabelle 3-5 unterteilt.

6.5.1 Verteilung der beobachteten Tätigkeiten in der ersten Kategorieebene

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

Ebene I:
Tätigkeitsanalyse

II

Die Datenauswertung erfolgt danach durch Auswertung der Verteilung an

- einem Arbeitstag eines Bauarbeiters,
- einem Arbeitstag aller auf einer Baustelle beobachteten Bauarbeiter,
- allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters,
- allen Arbeitstagen aller auf einer Baustelle beobachteten Bauarbeiter
- allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter.

Nachfolgende Beispiele zeigen die Ergebnisse der Baustellenaufnahmen.

Tabelle 6-11 Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag eines Bauarbeiters (TU 1)

Kategorie	Anteil
Tätigkeit	80,0 %
Unterbrechung	18,3 %
Nicht erkennbar	1,7 %

Ebenso wie bei der Auswertung eines Arbeitstages eines Bauarbeiters, erfolgt auch die gemeinsame Auswertung aller Bauarbeiter einer Arbeitspartie.

Tabelle 6-12 Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag aller beobachteten Bauarbeiter einer Partie (TU1, TU 2, TU 22)

Kategorie	TU 1	TU 2	TU 22	Mittelwert der drei Bauarbeiter
Tätigkeit	80 %	78 %	70 %	76,1 %
Unterbrechung	18 %	18 %	25 %	20,6 %
Nicht erkennbar	2 %	3 %	5 %	3,3 %

Tabelle 6-13 Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters (TU 1)

Kategorie	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6	AT 7	AT 8	Mittelwert
Tätigkeit	80,0 %	71,7 %	73,3 %	78,4 %	75,0 %	77,1 %	66,7 %	72,2 %	74,3 %
Unterbrechung	18,3 %	28,3 %	26,7 %	21,6 %	22,9 %	22,9 %	33,3 %	1,9 %	22,0 %
Nicht erkennbar	1,7 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	2,1 %	0,0 %	0,0 %	25,9 %	3,7 %

Anschaulich dargestellt:

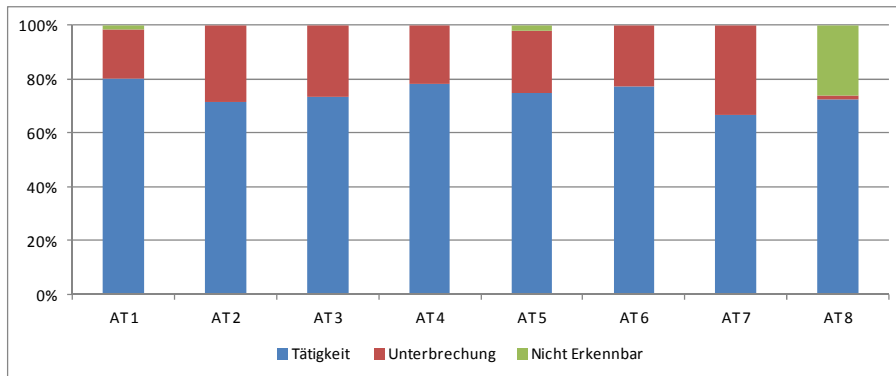


Bild 6-19 Verteilung der ersten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters (TU 1)

Abschließend wird die Verteilung aller beobachteten Bauarbeiter auf allen Baustellen dargestellt. In Tabelle 6-14 sind die jeweiligen maximalen, minimalen und durchschnittlichen Anteilswerte der jeweiligen Kategorie am Arbeitstag dargestellt.

Tabelle 6-14 Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter

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 %

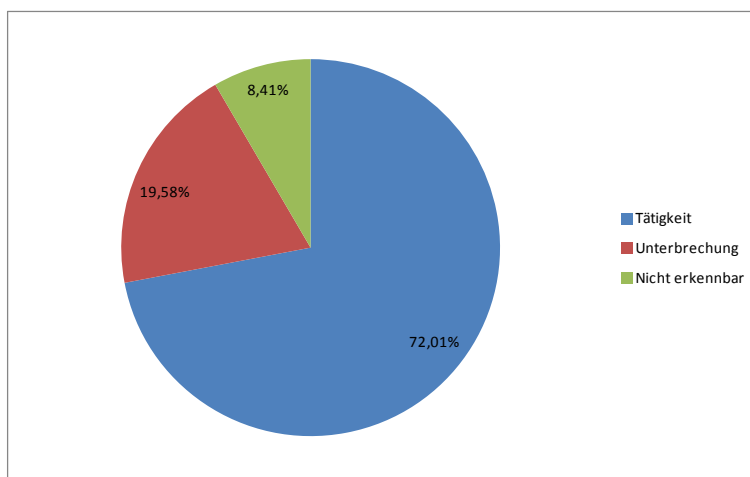


Bild 6-20 Mittelwert der Verteilung der ersten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803)

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.

6.5.2 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 und ergibt die in den folgenden Tabellen und Bildern beispielhaft dargestellten Ergebnisse.

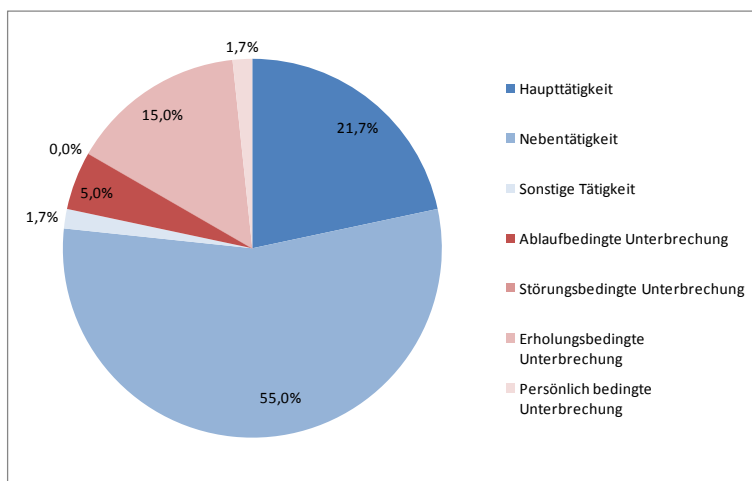


Bild 6-21 Verteilung der zweiten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an einem Arbeitstag eines Bauarbeiters (TU 2)

Ebenso wie bei der Auswertung aller Arbeitstage eines Bauarbeiters erfolgt auch die gemeinsame Auswertung aller Bauarbeiter einer Arbeitspartie.

Tabelle 6-15 Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Beispiel für die Verteilung an allen Arbeitstagen eines Bauarbeiters

Kategorie	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6	AT 7	AT 8	Mittelwert
Haupttätigkeit	35 %	22 %	32 %	59 %	46 %	60 %	42 %	37 %	41,5 %
Nebentätigkeit	43 %	55 %	43 %	22 %	33 %	23 %	25 %	41 %	35,8 %
Sonstige Tätigkeit	0 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,2 %
Ablaufbedingte Unterbrechung	3 %	5 %	7 %	5 %	0 %	0 %	6 %	2 %	3,6 %
Störungsbedingte Unterbrechung	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0,0 %
Erholungsbedingte Unterbrechung	15 %	15 %	17 %	14 %	21 %	17 %	23 %	17 %	17,2 %
Persönlich bedingte Unterbrechung	0 %	2 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	0,7 %

In Tabelle 6-16 sind die jeweiligen maximalen, minimalen und durchschnittlichen Anteilswerte der jeweiligen Unterkategorie Verteilung aller beobachteten Bauarbeiter auf allen Baustellen dargestellt.

Tabelle 6-16 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 %

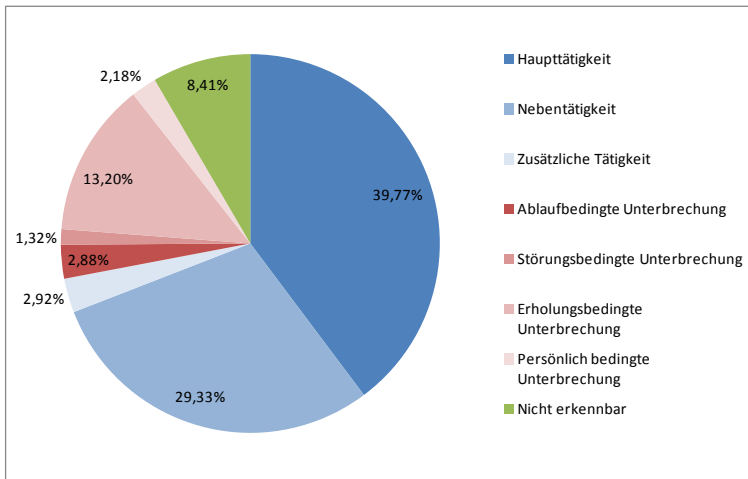


Bild 6-22 Tätigkeitsverteilung der zweiten Kategorieebene – Verteilung an allen Arbeitstagen aller beobachteten Bauarbeiter (N=15.803)

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.

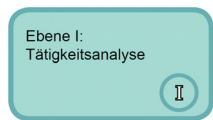
6.6 Tätigkeitsverteilung der Bauarbeiter im Mauerwerksbau

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.

6.6.1 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 waren³²³.

³²³ 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.



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.

Tabelle 6-17 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 6-18 und Tabelle 6-19.

Tabelle 6-18 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 6-19 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% aufweist³²⁴. Nach dieser Korrektur ergibt sich ein Beobachtungsumfang von 4.956 Einzelbeobachtungen bzw. 63 Beobachtungstagen.

Tabelle 6-20 Verteilung der Vorgänge aller Bauarbeiter mit Tätigkeiten im Mauerwerksbau – Auswertung korrigierter Datensätze („Nicht erkennbar < 20 % des Beobachtungstages“) (N=4.956)

Kategorie	Maximum	Minimum	Mittelwert	ϵ (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	ϵ (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 %

³²⁴ Der Wert von 20 % wurde gewählt, um eine ausreichend stabile Aussage über die tatsächlichen Tätigkeiten treffen zu können.

Aus Tabelle 6-20 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.³²⁵

6.6.2 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“³²⁶ und „Vorgegebene Pausen“³²⁷.

³²⁵ 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.

³²⁶ „Eigene Pausen“ sind Pausen, bei denen der jeweilige Arbeiter selbst entscheidet, wann er diese macht und wie lange diese dauern; Vlg. 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.

³²⁷ „Vorgegebene Pausen“ sind Pausen, die dem jeweiligen Bauarbeiter durch seinen Vorgesetzten, den Arbeitsvertrag und allen weiteren Gesetzen, welche die Arbeitszeit betreffen, vorgegeben werden; Vlg. 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.

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

Tabelle 6-21 Häufigkeit der Tätigkeiten eines Maurers (Facharbeiters) im mehrgeschossigen Wohnbau (N=4.113)

Tätigkeits-kategorie	Tätigkeits-unterkategorie	Tätigkeitsgruppe	Durchschnittlicher Anteil	ε (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 6-21 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 „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.

6.6.3 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.³²⁸

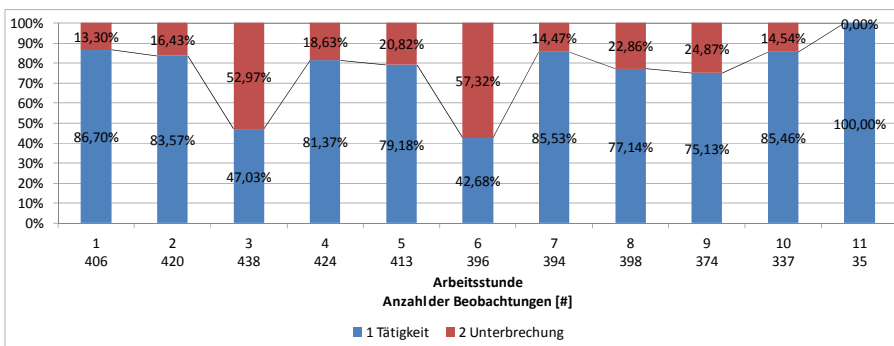


Bild 6-23 Verteilung der Tätigkeitskategorien in den einzelnen Arbeitsstunden

Nach Bild 6-23 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.

³²⁸ 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 6-22 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 6-24). Dieser Umstand ist mit dem erhöhten Anteil an Vorbereitungstätigkeiten (Tätigkeitsgruppe „Herrichten“) sowie Tagesabschlussstätigkeiten (Tätigkeitsgruppe „Aufräumen“) zu erklären.

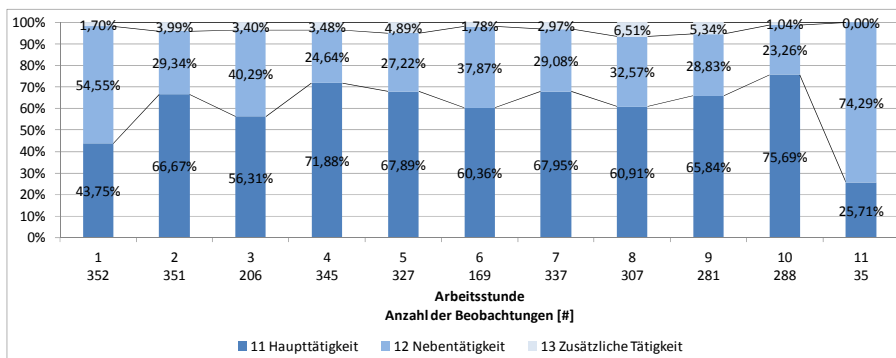


Bild 6-24 Anteile der Unterkategorien an der Kategorie "Tätigkeit" in der jeweiligen Arbeitsstunde

Tabelle 6-23 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 6-24 dargestellt.

Tabelle 6-24 Verteilung der Tätigkeitskategoriegruppen in den einzelnen Arbeitsstunden mit Zusammenlegung der 10^{ten} und 11^{ten} 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 %

6.7 Herzfrequenzverlauf während des Arbeitstages

Für die Auswertung des Herzfrequenzverlaufs während eines Arbeitstages werden die mit den Pulsmessuhren aufgezeichneten Daten mittels Herstellersoftware³²⁹ eingelesen und zur weiteren Bearbeitung vorbereitet.

Ebene II:
Belastung &
Beanspruchung

III

Es wurde für jeden Beobachtungstag und jeden Bauarbeiter ein Tabellenblatt erstellt (siehe exemplarisch Tabelle 6-25).

³²⁹ Polar Precision Performance SW, Version 4.03.050.

Tabelle 6-25 Herzfrequenztafel Bauarbeiter TU25– Ausschnitt

Uhrzeit	HF [S/min]	Mittelwert 2 min	Max.	Min.
09:48		93,67	102,00	77,00
09:48				
09:48	77			
09:48	102			
09:49	102			
09:49	110			
09:49	108			
09:49	121			
09:50	115			
09:50	105			
09:50	103			
09:50	97	93,13	115,00	75,00
09:51	85			
09:51	77			
09:51	88			
09:51	75			
09:52	73			
09:52	77			
09:52	74			
09:52	78			
09:53	94			
09:53	94			
09:53	89			
09:53	89			
09:54	96			
09:54	85			
09:54	81			
09:54	92			
09:55	88			
09:55	86			
09:55	87			
09:55	84	87,88	97,00	80,00
09:56	95			

In der Tabelle wurden folgende Spalten angelegt:

- Uhrzeit: In dieser Spalte wird die Uhrzeit der Pulsmessung eingetragen, um diese den Tätigkeiten aus dem DEB zuordnen zu können. Die Datenaufzeichnung erfolgt im Abstand von 15 Sekunden.

- HF [S/min]: In dieser Spalte wird die jeweilige gemessene Herzfrequenz eingetragen und so einer genauen Uhrzeit zugeordnet.
- Mittelwert 2 min: In dieser Spalte wird der Mittelwert der Herzfrequenz eine Minute vor und eine Minute nach dem Zeitpunkt der jeweiligen Tätigkeitsnotierung eingetragen.
- Max: In dieser Spalte wird der Maximalwert der Pulsschläge eine Minute vor und eine Minute nach dem Zeitpunkt der jeweiligen Tätigkeitsnotierung eingetragen.
- Min: In dieser Spalte wird der Minimalwert der Pulsschläge eine Minute vor und eine Minute nach dem Zeitpunkt der jeweiligen Tätigkeitsnotierung eingetragen.

Mit Hilfe dieser Datensätze kann der Pulsverlauf der Bauarbeiter analysiert und auf Ausreißer geprüft werden.

6.7.1 Herzfrequenzverlauf eines Bauarbeiters

Nach der oben erklärten Mittel-, Maximal- und Minimalwertbildung für den Beobachtungszeitpunkt der Tätigkeitsaufzeichnung erfolgt im nächsten Schritt eine Korrektur der Ausreißer infolge von Messfehlern³³⁰, wobei offensichtlich fehlerhafte Werte gelöscht wurden.

Tabelle 6-26 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

³³⁰ Messfehler entstanden durch die äußere Einwirkungen (z.B. Handstrahlung) auf die Datenübertragung zwischen Pulsmessgurt und Pulsuhr. Diese Fehler verursachten dabei eine singuläre, unnatürlich hohe Herzfrequenz mit bis zu 260 S/min.

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 6-25, Verlauf der HF-Werte im Zeitraum von 8:10 bis 9:50).

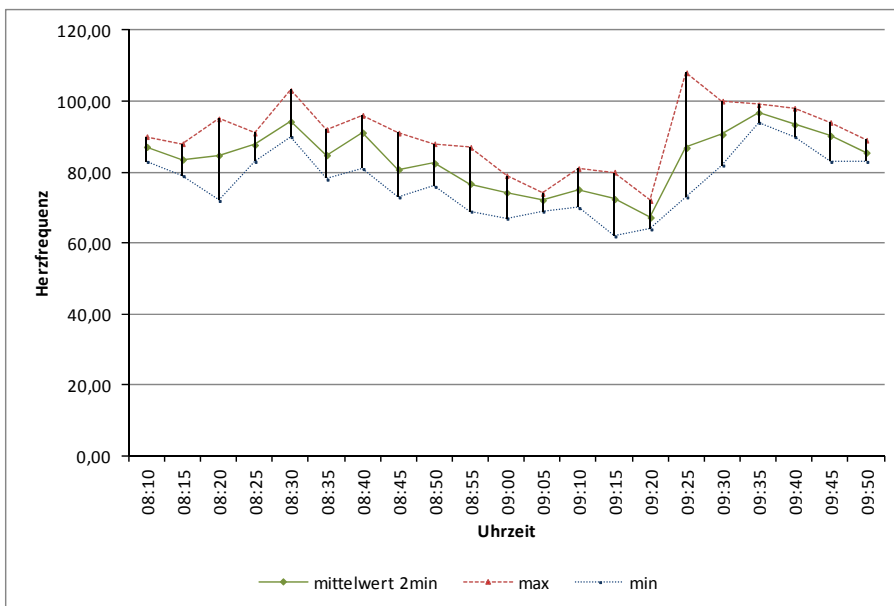


Bild 6-25 Bauarbeiter TU25 - Herzfrequenzwerte eines Arbeitstages

Der dargestellte Mittelwert wird in weiterer Folge für die Ermittlung der Beanspruchung der Tätigkeit verwendet. Die Darstellung der Bandbreite fungiert als Kontrolle, um etwaige Abweichungen durch extrem hohe oder niedrige Werte im Zuordnungsbereich erkennen und korrigieren zu können.

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

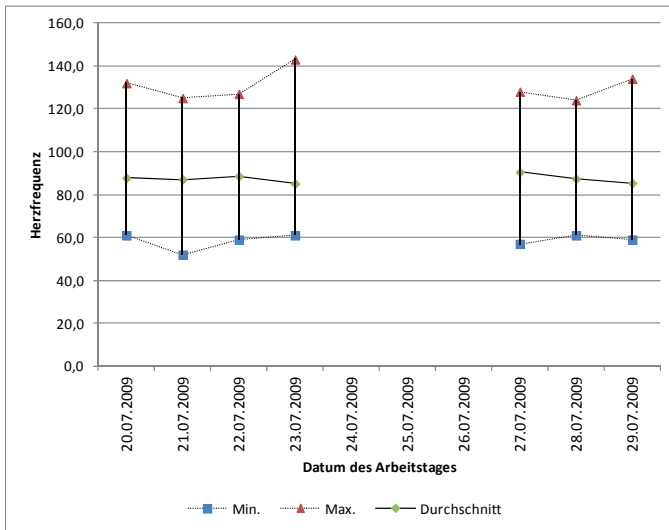


Bild 6-26 Herzfrequenzwerte für TU25 - Maximal-, Minimal- und Mittelwerte der Arbeitstage

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.

6.7.2 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. Die Ergebnisse dieser Auswertungen finden sich im Anhang unter A.1.5.

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.³³¹

³³¹ Im Rahmen dieser Datenaufbereitung wurden Beobachtungstage mit zu geringem Beobachtungsumfang bei Bauarbeiter TU9 (15.04.2008 und 18.04.2008), TU 14 (29.05.2009) und TU 19 (18.11.2008) aus der Auswertung herausgenommen.

Tabelle 6-27 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 6-28 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

Für jene Bauarbeiter mit überwiegender Tätigkeit im Mauerwerksbau wurden der Mittelwert der Herzfrequenz und die dazugehörige Standardabweichung gesondert ermittelt.

Tabelle 6-29 Mittlere Herzfrequenz (HF_{mittel}) und Standardabweichung (SD)

Bauarbeiter	HF_{mittel}	SD
TU3	93,62	7,03
TU4	99,38	6,90
TU7	110,24	5,02
TU8	95,74	4,58
TU9	96,69	7,99
TU10	98,42	3,14
TU14	97,31	4,89
TU15	101,20	6,15
Alle	98,67	7,05

Aus der Tabelle 6-29 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 möglich ist. Erst durch die Kombination mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen kann ein Vergleich hergestellt werden.

6.7.3 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:

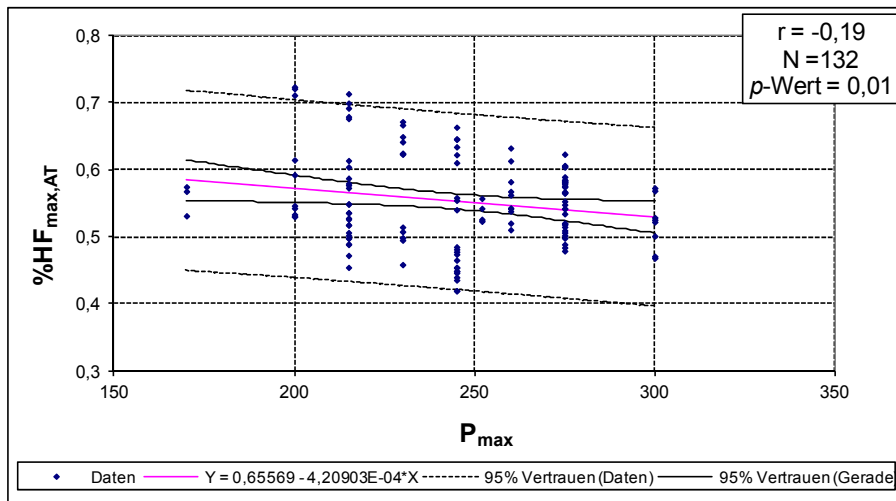


Bild 6-27 Verteilung von $\%HF_{max,AT}$ in Abhängigkeit von P_{max}

Aus Bild 6-27 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.

6.8 Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten

Aus den Untersuchungen in Kapitel 6.6 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 6-28).

Ebene II:
Belastung &
Beanspruchung



Modul 1:
Multi-Moment-Aufnahme

1

		07-00										
		0	10	20	30	40	50	0	10	20		
Tätigkeit	Haupttätigkeit	Mauern					1	1	1	1	1	
		Farapet mauern										
		Deckenausgleich herstellen										
		Abdichtung auflegen			1							
	Nebentätigkeit	Herrichten	1	1								
		Auf- Wegräumen										
		Ziegel schneiden										
		Einmessen Deckenausgleich										
		Einm. mit Nivellier/Anstichlatte										
		Einm. mit Zahnstab										
		Ziegelpalette mit Kran einheben										
		Mörtel mit Kran einheben										
		Mörtel mit Scheibtruhe holen										
		Schnur spannen										
		Gerüst auf-umbauen										
Besprechung, Planbespr				1								
zusätzl. Tätigkeit	Sauberket betonieren											
	Bewehren											
Unterbrechung	Ablaufbedingt											
	Störungsbedingt											
	Erholungsbedingt											
	Persönlich bedingt											
Nicht erkennbar	Bagger fahren											
	Sanierung anderes Gebäude											
	Randbalken setzen and. Geb. Fundieren											
Summe		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
WBGT	Luftgeschw.			0			0			0		
	rel Luftf.			85,4			88,9			85,5		
	Temp.			7,8			7,5			7,9		
	Puls			85,44	85,11	78,33	75,89	82,11	85,56	88,89	79,11	

Modul 4:
Pulsdaten

4

Bild 6-28 Ausschnitt Datenerhebungsbogen mit eingetragenen Herzfrequenzwerten

6.8.1 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 6-30 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.

6.8.2 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 Zu-

sammenhang mit der Arbeitszeit gesetzt und folgende Auswertungen vorgenommen:

- Mittlere Herzfrequenz einer Tätigkeitsgruppe in der jeweiligen Arbeitsstunde.
- Mittlere Herzfrequenz einer Tätigkeitsgruppe in Abhängigkeit der Vorbelastung³³² 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 6-29 dargestellte mittlere Herzfrequenz und die zugehörige Standardabweichung für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ während aller Beobachtungstage.

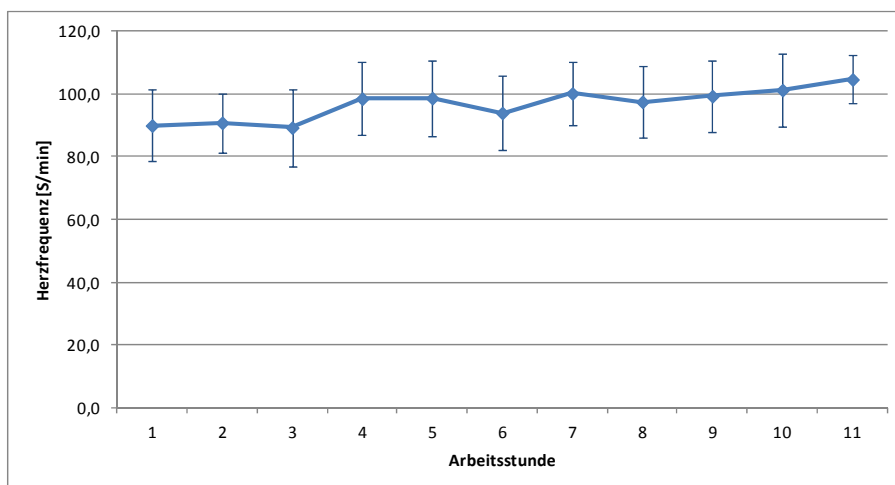


Bild 6-29 Mittlere Herzfrequenz (HF_{Mittel}) und Standardabweichung (SD) der einzelnen Arbeitsstunden aller beobachteten Bauarbeiter für die Tätigkeitsgruppe "Mauern"

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 Relativwerte³³³ ein aussagekräftiger Ver-

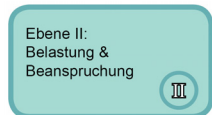
³³² Die Vorbelastung errechnet sich aus dem Mittelwert der Herzfrequenzen aller vom Arbeitsbeginn bis zum Beobachtungszeitraum durchgeführten Tätigkeiten multipliziert mit der Arbeitszeit in Minuten.

³³³ In Relation zur individuellen maximalen Herzfrequenz oder Dauerleistungsgrenze des Bauarbeiters.

gleich durchgeführt werden kann. Gleiches gilt für die Auswertungen der absoluten Herzfrequenzwerte in Bezug auf die Vorbelastung.

6.8.3 Klima und Herzfrequenz während des Arbeitstages

Aus den Grundlagen (Kapitel 3.2.7) 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 ($\%HF_{max}$)³³⁴ in Abhängigkeit der Außentemperatur in unterschiedlichen Vorbelastungsherzfrequenzbereichen³³⁵.



Die Vorbelastungsbereiche wurden, wie in Tabelle 6-31 ersichtlich, festgelegt:

Tabelle 6-31 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 6-30 und Bild 6-31 dargestellten Streudiagramme.³³⁶

Tabelle 6-32 Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p-Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen $\%HF_{max}$ 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 ^{ns}	0,028 *	0,002 **	0,001 ***	0,024 *	0,075 ^{ns}	0,297 ^{ns}

³³⁴ $\%HF_{max}$: Anteil der jeweiligen Herzfrequenz an der maximalen Herzfrequenz der Spiroergometrie.

³³⁵ Die Vorbelastungsherzfrequenz ist mittlere Herzfrequenz von Arbeitsbeginn bis zum Messzeitpunkt der beobachteten Tätigkeitsausführung.

³³⁶ Die weiteren Darstellungen finden sich im Anhang unter A.1.6.

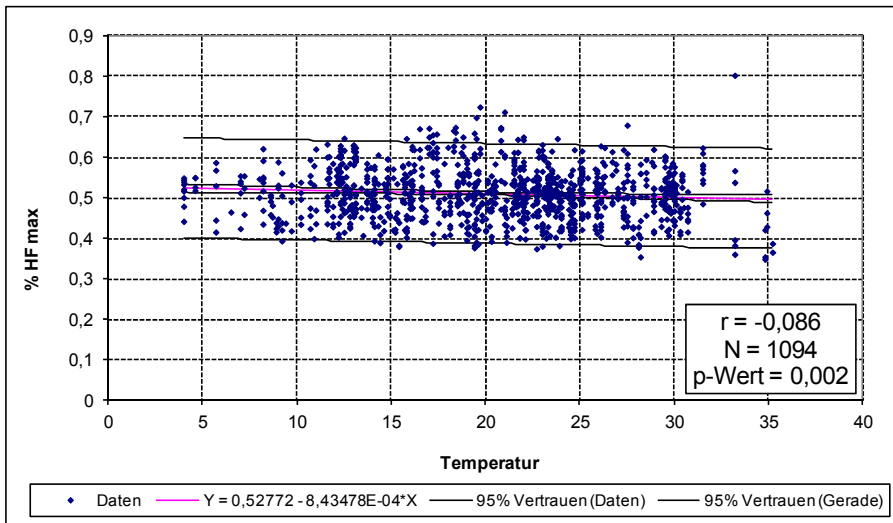


Bild 6-30 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C

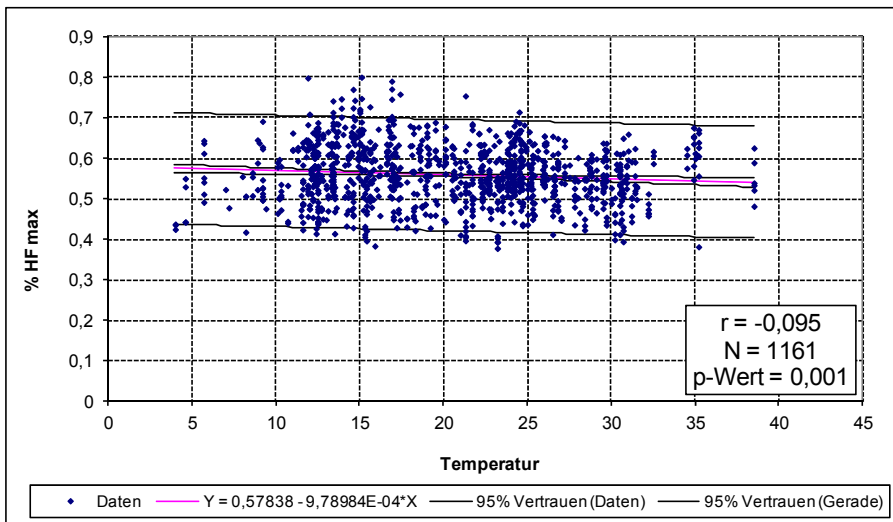


Bild 6-31 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D

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.

Keine Korrelation zwischen der Herzfrequenz und der Temperatur

Wird statt der gemessenen Außentemperatur die Normal-Effektiv-Temperatur (NET)³³⁷, welche auch die Luftfeuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit berücksichtigt, eingesetzt, ergeben sich die folgenden statistischen Kennwerte:

Tabelle 6-33 Korrelationskoeffizient (r), Anzahl der Messungen (N) und Signifikanzniveau (p -Wert) der Vorbelastungsbereiche für die Datenreihen %HF_{max} 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 ^{ns}	0,003 ^{**}	0,000 ^{***}	0,000 ^{***}	0,007 ^{**}	0,042 [*]	0,055 ^{ns}

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.³³⁸

In anderen Industriebereichen, im Speziellen im Bergbau, wurden umfassende Untersuchungen³³⁹ zum Zusammenhang zwischen der Leistung bzw. Leistungsfähigkeit der Arbeiter und dem Grubenklima³⁴⁰ 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 Luftfeuchtigkeit³⁴¹ 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.

³³⁷ „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.

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

³³⁸ Die Darstellungen aller Vorbelastungsbereiche findet sich im Anhang unter A.1.6.

³³⁹ 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.

³⁴⁰ Das Grubenklima wird beschrieben durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegungsgeschwindigkeit.

³⁴¹ Temperaturen über 28°C und Luftfeuchtigkeit im Bereich von 95 %.

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.³⁴²

6.9 Ergebnisse der Spiroergometrien

Die Ergebnisse der Spiroergometrien bilden die Grundlage für einen Vergleich der einzelnen Bauarbeiter untereinander. Dies ermöglicht, die zuvor dargestellten Herzfrequenz-Absolutwerte mit Hilfe der Herzfrequenzschwellenwerte in Relativwerte umzurechnen.

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

6.9.1 Absolute Messwerte der Probanden

Für diese Transformation werden aus der Spiroergometrie folgende absolute Messwerte der einzelnen Probanden benötigt:

- Maximale Herzfrequenz (HF_{max})
- Herzfrequenz an der aeroben Grenze (HF_{LTP1})
- Herzfrequenz an der anaeroben Grenze (HF_{LTP2})

Zusätzlich werden die maximale Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2,max}$) und die maximale Leistung (P_{max}) für die weitere Auswertung benötigt (siehe Tabelle 6-34).

³⁴² 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.

Tabelle 6-34 Ergebnisse der Spiroergometrie für alle untersuchten Bauarbeiter

Proband Nr.	HF _{max} [S/min]	HF _{LTP 1} [S/min]	HF _{LTP 2} [S/min]	P _{max} [Watt]	P _{LTP1} [Watt]	P _{LTP2} [Watt]	$\dot{V}O_{2max}$ [S/min]	$\dot{V}O_{2LTP1}$ [S/min]	$\dot{V}O_{2LTP2}$ [S/min]
TU 1	198	136	170	252	67	164	3,59	1,45	2,14
TU 2	164	122	140	215	112	172	3,13	1,99	2,97
TU 3	180	119	157	300	121	222	3,84	1,80	2,83
TU 4	177	155	159	260	112	190	3,56	1,90	2,61
TU 5	205	110	147	245	52	164	3,44	1,32	2,50
TU 6	190	116	149	230	66	144	3,42	1,20	2,33
TU 7	198	124	160	275	82	186	3,27	1,20	2,32
TU 8	212	125	169	245	70	162	3,44	1,56	2,49
TU 9	169	117	137	275	111	191	4,34	1,95	3,21
TU 10	153	124	137	230	84	155	3,97	2,23	2,75
TU 11	149	89	99	200	51	129	2,74	1,17	1,75
TU 12	178	110	130	170	52	115	2,80	1,39	2,12
TU 13	192	103	148	245	66	161	3,55	1,33	2,35
TU 14	190	107	151	215	54	144	3,92	1,04	2,21
TU 15	182	114	140	200	54	131	3,71	1,22	2,27
TU 16	187	116	154	230	69	161	3,86	1,29	2,39
TU 17	188	124	160	275	115	203	4,60	2,34	3,42
TU 18	191	118	165	215	67	158	2,96	1,53	2,65
TU 19	195	144	176	275	81	188	4,28	1,89	3,03
TU 20	182	123	159	275	80	192	4,41	2,03	3,30
TU 21	191	119	164	245	52	119	3,37	1,37	2,56
\bar{x}	184,33	119,76	151,00	242	77	164	3,63	1,58	2,58
SD	15,30	13,53	16,64	31,32	23,14	27,49	0,50	0,37	0,42

Neben diesen absoluten Datensätzen ist es notwendig, die individuelle Abhängigkeit der Sauerstoffaufnahme und des Energieumsatzes von der Herzfrequenz für jeden Bauarbeiter zu bestimmen.

6.9.2 Verlauf der Sauerstoffaufnahme und des Energieumsatzes

Die Herzfrequenz stellt jene Messgröße dar, über die eine Übertragung der im Labor ermittelten Kenngrößen für die Sauerstoffaufnahme und den Energieumsatz möglich ist. Aus diesem Grund muss in den Laborergebnissen für jeden Bauarbeiter separat ein Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme bzw. Energieumsatz hergestellt werden. Die Darstellung dieser Zusammenhänge erfolgt mit Hilfe von polynomischen Geradengleichungen, die durch die Anwendung der nicht linearen Regressionsrechnung ermittelt werden.

Da die Sauerstoffaufnahme direkt von der Herzfrequenz abhängt, erfolgt dies exemplarisch für Bauarbeiter TU 1.

Der Ausgangspunkt sind die Datenaufzeichnungen der Spiroergometrie, welche in der nachfolgenden Tabelle 6-35 dargestellt sind:

- Zeit: Untersuchungszeit, gemessen ab Untersuchungsbeginn bis zum Abbruch durch den Probanden.
- Leistung (P): Leistung am Fahrradergometer. Diese wurde nach einer Ruhezeit von 6 Minuten beginnend bei 20 Watt alle 3 Minuten um 15 Watt gesteigert.
- Herzfrequenz (HF): Herzfrequenz zum jeweiligen Messzeitpunkt.
- Ventilation ($\dot{V}E$): „Das Atemminutenvolumen oder die Ventilation ($\dot{V}E$) ist das Volumen an Luft, welches in die bzw. aus der Lunge geatmet wird, und wird in l/min angegeben.“³⁴³
- Sauerstoffaufnahmevermögen ($\dot{V}O_2$): Sauerstoffaufnahmevermögen zum jeweiligen Messzeitpunkt.³⁴⁴
- Kohlendioxidabgabe ($\dot{V}CO_2$): ausgeatmetes Kohlendioxidvolumen zum jeweiligen Messzeitpunkt.³⁴⁵
- Respiratorischer Quotient (RQ): Verhältnis von Sauerstoffaufnahmevermögen und Kohlendioxidausatemvolumen.³⁴⁶
- Kalorisches Äquivalent: „Unter dem kalorischen Äquivalent (kalAeq) versteht man diejenige Energiemenge, die pro Liter verbrauchten Sauerstoffs bei der Verbrennung einer Substanz (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiß) im Körper freigesetzt wird. Respiratorischer Quotient und kalorisches Äquivalent sind näherungsweise miteinander linear verknüpft, so dass sich jedem RQ-Wert ein bestimmtes kalorisches Äquivalent zuordnen lässt(...).“³⁴⁷
- Energieumsatz (EU): „Durch Multiplikation des kalorischen Äquivalentes mit dem gemessenen Sauerstoffverbrauch ergibt sich der Energieumsatz in kJ/min“³⁴⁸

³⁴³ Wonisch, M.et al.: Spiroergometrie in der Kardiologie - Grundlagen der Physiologie und Terminologie, in: Journal für Kardiologie, Nr. 10 (2003), S. 383–390.

³⁴⁴ Vgl. Wonisch, M.et al.: a.a.O., S. 383–390.

³⁴⁵ Vgl. Wonisch, M.et al.: a.a.O., S. 383–390.

³⁴⁶ Vgl. Wonisch, M.et al.: a.a.O., S. 383–390.

³⁴⁷ Heinle, H.: Praktikumsskriptum Nr. 8, S.9 des Institute of Physiology Tübingen, <http://www.physiologie.uni-tuebingen.de/lehre/home>, Datum des Zugriffs: 04.01.2011, 22:13.

³⁴⁸ Heinle, H.: a.a.O., S. 9.

Tabelle 6-35 Daten der Spiroergometrie für TU1

Zeit	P	HF	$\dot{V}E$	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}CO_2$	RQ	kalAeq	EU
hh:mm:ss	Watt	1/min	[l/min]	[l/min]	[l/min]	$= \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$	$= 16 + 5,14 * RQ$ [kJ/min]	[kJ/min]
00:00:00	0	94	0	0	0			
00:03:00	0	105	12,85	0,55	0,43	0,7818	20,02	11,01
00:06:00	20	112	21,43	0,98	0,82	0,8367	20,30	19,89
00:07:01	35	119	25,19	1,01	0,93	0,9208	20,73	20,94
00:08:01	50	131	25,17	1,13	1,06	0,9381	20,82	23,53
00:09:01	65	135	34,73	1,43	1,35	0,9441	20,85	29,82
00:10:01	80	142	36,97	1,58	1,47	0,9304	20,78	32,84
00:11:01	95	146	36,29	1,59	1,49	0,9371	20,82	33,10
00:12:01	110	147	42,17	1,84	1,78	0,9674	20,97	38,59
00:13:01	125	156	49,65	2,01	1,97	0,9801	21,04	42,29
00:14:01	140	161	45,18	1,83	1,83	1,0000	21,14	38,69
00:15:01	155	166	53,1	2,08	2,1	1,0096	21,19	44,07
00:16:01	170	172	55,07	2,19	2,29	1,0457	21,37	46,81
00:17:01	185	175	69,2	2,72	2,9	1,0662	21,48	58,43
00:18:01	200	185	80,04	2,84	3,13	1,1021	21,66	61,53
00:19:08	215	190	70,35	2,75	3,07	1,1164	21,74	59,78
00:20:01	230	196	91,72	3,08	4,03	1,3084	22,73	69,99
00:21:01	245	198	105,65	3,59	4,16	1,1588	21,96	78,82
00:21:33	252	195	88,26	2,72	3,27	1,2022	22,18	60,33
00:24:37	20	163	0	0	0			
00:24:50	0	162	0	0	0			

Im ersten Schritt wird mit Hilfe dieser Daten durch Anwendung der nicht linearen Regression folgende polynomische Geradengleichung für den Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahmevolumen ermittelt:

$$\dot{V}O_2(HF) = 2,00913 * 10^{-6} * HF^3 - 8,50332 * 10^{-4} * HF^2 + 1,42874 * 10^{-1} * HF - 7,32968 \quad (6.27)$$

Um darauf aufbauend den Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und dem Energieumsatz zu ermitteln, ist es notwendig, einen Zwischenschritt einzubauen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen dem respiratorischen Quotienten und der Herzfrequenz bestimmt:

$$RQ(HF) = 1,24018 * 10^{-6} * HF^3 - 5,45308 * 10^{-4} * HF^2 + 8,18740 * 10^{-2} - 3,22674 \quad (6.28)$$

Durch Einsetzen in die Gleichungen 4.35 und 4.36 wird der Energieumsatz für die jeweilige Herzfrequenz ermittelt:

$$kal\ddot{A}qu(HF) = 16 + 5,14 * RQ(HF) \quad (6.29)$$

$$EU f(HF) = kal\ddot{A}qu(HF) * \dot{V}O_2(HF) \quad (6.30)$$

Wendet man diese Gleichungen auf die Daten aus Tabelle 6-35 an, ergeben sich folgende, in Tabelle 6-36 dargestellten Rechenwerte für die Sauerstoffaufnahme und den Energieumsatz.

Tabelle 6-36 Mess- und Rechenwerte für Sauerstoffaufnahme und Energieumsatz in Abhängigkeit von der Herzfrequenz für TU1

Zeit	Messwerte				Rechenwerte			
	HF	$\dot{V}O_2$	RQ	Energieumsatz	$\dot{V}O_2$ f(HF)	RQ f(HF)	kalAeq	EU f(HF)
hh:mm:ss	1/min	[l/min]	= $sVCO_2/sVO_2$	[kJ/min]	[l/min]	[-]	= $16+5,14 \cdot RQ$ [kJ/min]	[kJ/min]
00:00:00	94	0						
00:03:00	105	0,55	0,7818	11,01	0,62	0,794	20,08	12,51
00:06:00	112	0,98	0,8367	19,89	0,83	0,845	20,34	16,85
00:07:01	119	1,01	0,9208	20,94	1,02	0,884	20,54	20,88
00:08:01	131	1,13	0,9381	23,53	1,31	0,929	20,77	27,23
00:09:01	135	1,43	0,9441	29,82	1,40	0,939	20,83	29,25
00:10:01	142	1,58	0,9304	32,84	1,57	0,955	20,91	32,72
00:11:01	146	1,59	0,9371	33,10	1,66	0,963	20,95	34,71
00:12:01	147	1,84	0,9674	38,59	1,68	0,965	20,96	35,21
00:13:01	156	2,01	0,9801	42,29	1,89	0,983	21,05	39,84
00:14:01	161	1,83	1,0000	38,69	2,02	0,996	21,12	42,58
00:15:01	166	2,08	1,0096	44,07	2,15	1,011	21,20	45,49
00:16:01	172	2,19	1,0457	46,81	2,31	1,034	21,31	49,27
00:17:01	175	2,72	1,0662	58,43	2,40	1,048	21,39	51,32
00:18:01	185	2,84	1,1021	61,53	2,72	1,109	21,70	59,04
00:19:08	190	2,75	1,1164	59,78	2,90	1,150	21,91	63,54
00:20:01	196	3,08	1,3084	69,99	3,14	1,210	22,22	69,66
00:21:01	198	3,59	1,1588	78,82	3,22	1,233	22,34	71,89
00:21:33	195	2,72	1,2022	60,33	3,09	1,199	22,16	68,58

Ein Vergleich der Mess- und Rechenwerte für die Sauerstoffaufnahme und den Energieumsätze zeigt eine gute Näherung (siehe Bild 6-32).

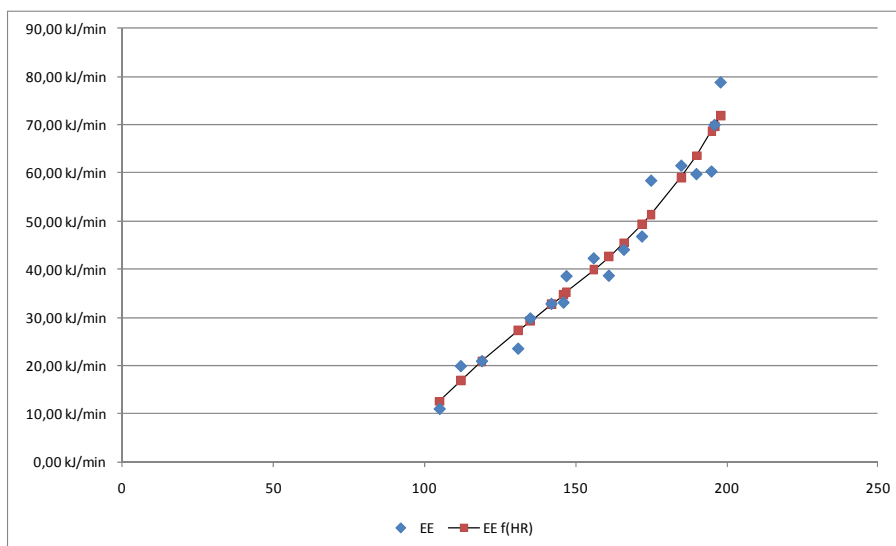


Bild 6-32 Mess- und Rechenwerte des Energieumsatzes (EU) in Abhängigkeit der Herzfrequenz - Bauarbeiter TU 1

Analog zum hier beschriebenen Vorgehen erfolgte die Bestimmung der einzelnen Gleichungen für alle weiteren untersuchten Bauarbeiter und stellt somit die Grundlage dar, um aus den auf der Baustelle gemessenen Herzfrequenzwerten die dazugehörigen Sauerstoffaufnahmewerte und den Energieumsatz zu ermitteln.

6.10 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. Ein Vergleich der erhobenen Daten mit der Anwendung der nachstehend ermittelten Zusammenhänge erfolgt in Kapitel 7.2.3.

6.10.1 Relative Herzfrequenzwerte auf Basis eines Parameters

Als einzelne Vergleichsparameter dienen hierbei die maximale Herzfrequenz (HF_{max}) und die Herzfrequenz der aeroben Schwelle (HF_{LTP1}), die mittels der Spiroergometrien im Labor bestimmt wurden. Auf Basis der durchgeführten Korrelations- und Regressionsanalysen werden die Datenreihen der einzelnen Tätigkeitskategoriegruppen auf Zusammenhänge überprüft.

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

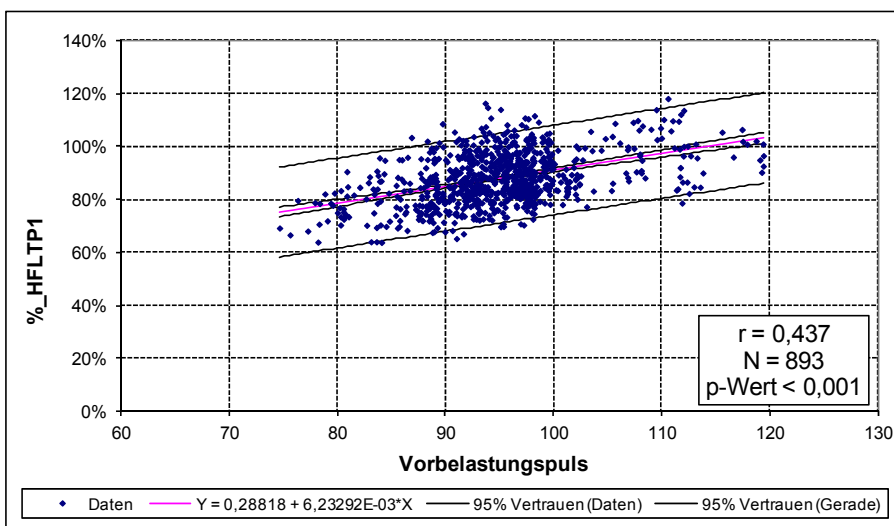
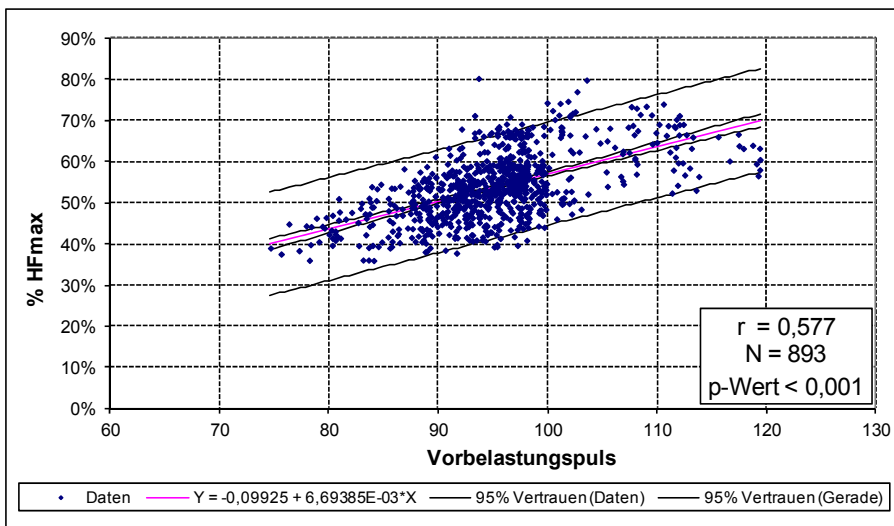


Bild 6-33 Verlauf von $\%HF_{max}$ und $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

Aus den Datensätzen ergeben sich folgende statistische Kennwerte für die einzelnen Tätigkeitskategoriegruppen:

Tabelle 6-37 Anzahl (N), Korrelationskoeffizient (r) und Signifikanzniveau (p-Wert) für die Datenreihen %HF_{max} und Vorbelastungsherzfrequenz

Tätigkeitskategoriegruppe	N	r	p-Wert
111 Mauern	893	0,577	0,000 ***
112 Schalen	165	0,166	0,016 *
113 Bewehren	5 ⁺	-0,790	0,056 ^{ns}
114 Betonieren	43	0,568	0,000 ***
115 Sonstiges	3 ⁺	0,934	0,116 ^{ns}
121 Vorbereiten Mauern	435	0,458	0,000 ***
122 Vorbereiten Schalen	64	0,261	0,019 *
124 Vorbereiten Betonieren	8 ⁺	0,441	0,137 ^{ns}
125 Vorbereiten Sonstiges	2 ⁺	-1,000	0,000 ***
126 Vorbereiten allgemein	108	0,508	0,000 ***
127 Herrichten	33	0,003	0,493 ^{ns}
128 Aufräumen	105	0,233	0,008 **
129 Besprechung	109	0,441	0,000 ***
131 Zusätzliche Tätigkeiten	168	0,480	0,000 ***
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	57	-0,002	0,493 ^{ns}
221 Störungsbedingte Unterbrechung	23 ⁺	0,010	0,481 ^{ns}
231 Pause	394	0,338	0,000 ***
232 Eigene Pause	141	0,381	0,000 ***
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	82	0,444	0,000 ***
311 Nicht erkennbar	382	0,539	0,000 ***

- ⁺ ... 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, $p \leq 0,001$

Tabelle 6-38 Anzahl (N), Korrelationsgrad (r) und Signifikanzniveau (p -Wert) für die Datenreihen %HF_{LTP1} und Vorbelastungsherzfrequenz

Tätigkeitskategoriegruppe	N	r	p -Wert
111 Mauern	893	0,437	0,000 ***
112 Schalen	165	0,425	0,000 ***
113 Bewehren	5 ⁺	-0,875	0,026 *
114 Betonieren	43	0,709	0,000 ***
115 Sonstiges	3 ⁺	0,934	0,116 ^{ns}
121 Vorbereiten Mauern	435	0,440	0,000 ***
122 Vorbereiten Schalen	64	0,159	0,104 ^{ns}
124 Vorbereiten Betonieren	8 ⁺	0,650	0,041 *
125 Vorbereiten Sonstiges	2 ⁺	-1,000	0,000 ***
126 Vorbereiten allgemein	108	0,542	0,000 ***
127 Herrichten	33	-0,075	0,340 ^{ns}
128 Aufräumen	105	0,229	0,009 **
129 Besprechung	109	0,320	0,000 ***
131 Zusätzliche Tätigkeiten	168	0,422	0,000 ***
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	57	0,151	0,131 ^{ns}
221 Störungsbedingte Unterbrechung	23 ⁺	-0,077	0,363 ^{ns}
231 Pause	394	0,268	0,000 ***
232 Eigene Pause	141	0,187	0,013 *
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	82	0,586	0,000 ***
311 Nicht erkennbar	382	0,583	0,000 ***

- ⁺ ... 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, $p \leq 0,001$

Wie aus Tabellen erkennbar, konnte für mehrere Datenreihen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Vorbelastungsherzfrequenz und der relativen Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeitsgruppe hergestellt werden.

Anzumerken ist, dass auf Grund der zu geringen Datenmenge die Ergebnisse der Tätigkeitsgruppen „Bewehren“, „Sonstiges“, „Vorbereiten Betonieren“ und „Vorbereiten Sonstiges“ nicht weiter verwendet werden können. Die Datenreihe „Störungsbedingte Unterbrechung“ weist ebenfalls eine geringe Datenmenge auf. Ein signifikanter Zusammenhang konnte für diese Tätigkeitsgruppe nicht festgestellt werden.

Für die weitere Entwicklung der Arbeitsleistungskurve werden daher folgende Unterscheidungen getroffen:

- Relative Herzfrequenzwerte von HF_{max} , die zumindest einen signifikanten Zusammenhang mit der Vorbelastungsherzfrequenz (HF_{Vorb}) aufweisen:

Für diese relativen Herzfrequenzwerte wird der Wert mit Hilfe der Regressionsgeradengleichung

$$\%HF_{max} = A + B * HF_{Vorb} \quad (6.31)$$

der jeweiligen Tätigkeitskategoriegruppe bestimmt.

Tabelle 6-39 Faktoren der Regressionsgleichung für Gleichung (6.31)

Tätigkeitskategoriegruppe	A	B
111 Mauern	-0,09926	0,00669
112 Schalen	0,43445	0,00124
114 Betonieren	-0,07596	0,00651
121 Vorbereiten Mauern	0,21062	0,00339
122 Vorbereiten Schalen	0,37782	0,00185
126 Vorbereiten allgemein	-0,07446	0,00640
128 Aufräumen	0,33334	0,00233
129 Besprechung	0,16786	0,00396
131 Zusätzliche Tätigkeiten	0,00368	0,00543
231 Pause	0,18196	0,00348
232 Eigene Pause	0,17293	0,00367
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,08749	0,00448
311 Nicht erkennbar	-0,02972	0,00577

- Relative Herzfrequenzwerte von HF_{max} , die keinen signifikanten Zusammenhang mit der Vorbelastung aufweisen:

Für diese relativen Herzfrequenzwerte wird der Herzfrequenzmittelwert der Tätigkeitskategoriegruppe verwendet.

Tabelle 6-40 Mittlere relative Herzfrequenzwerte zu HF_{max} der Tätigkeitskategorien ohne Zusammenhang zur Vorbelastungsherzfrequenz

Tätigkeitskategoriegruppe	$\%HF_{max,mittel}$	SD
127 Herrichten	49,03%	6,08%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	54,31%	5,42%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	53,53%	6,48%

6.10.2 Regressionsanalysen mit mehreren unabhängigen Eingangsparametern

Nach der Korrelation von %HF_{max} mit der Vorbelastungsherzfrequenz werden im Weiteren die Zusammenhänge der Werte von %HF_{max} mit mehreren unabhängigen Eingangsparametern untersucht. Diese Eingangsparameter sind:

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

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.

Durch die Anwendung dieser Parameter sind die in Tabelle 6-41 dargestellten Kombinationen möglich:

Tabelle 6-41 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 wird mit Hilfe des Programms „WinStat“ das Signifikanzniveau bestimmt. In Tabelle 6-42 sind diese Werte und der Korrelationskoeffizient für die einzelnen Tätigkeitsgruppen dargestellt.

Tabelle 6-42 Anzahl (N), Korrelationsgrad (r) und Signifikanzniveau (p -Wert) für die Datenreihe %HF_{max} 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:

$$\%HF_{max} = k + a * HF_{Vorbereitung} + b * HF_{max} + c * BMI \quad (6.32)$$

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 6-43 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.

6.11 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 (siehe Kapitel 3.2.5.1 und 3.2.5.2).

Da für die einzelnen Beanspruchungskenngrößen verschiedene Datenreihen die Grundlage bilden, muss zwischen Beanspruchungskenngrößen, die auf eine Tätigkeitsgruppe angewendet werden können, und jenen, die den gesamten Arbeitstag abbilden, unterschieden werden.

- Beanspruchungskenngrößen für Tätigkeitsgruppen
 - ♦ $\%HF_{ind.Grenz,I} = \% HF_{LTP1}$: Das Verhältnis der gemessenen Vorbelastungs-Herzfrequenz³⁴⁹ zur Herzfrequenz bei LTP_1 des jeweiligen Bauarbeiters.
 - ♦ $\%HF_{ind.Grenz,II} = \% (HF_{rest} + 40 S/min)$: Das Verhältnis der gemessenen Herzfrequenz zur Ruheherzfrequenz + 40 Herzschläge
 - ♦ $\%AEU_{ind.Grenz} = \% AEU(t)$: Das Verhältnis des aus der Vorbelastungs-Herzfrequenz ermittelten Arbeitsenergieumsatzes mit dem individuellen maximalen Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit.
- Beanspruchungskenngrößen eines Arbeitstages
 - ♦ $\%\dot{V}O_{2,ind.Grenz,8h} = \% (40\% VO_{2,max})$: Das Verhältnis der aus der mittleren Herzfrequenz eines Arbeitstages ermittelten Sauerstoffaufnahme zur individuellen Grenze von $40\% \dot{V}O_{2,max}$.
 - ♦ $\%AEU_{ind.Grenz,8h} = \% AEU(t)$: Das Verhältnis des aus der Vorbelastungs-Herzfrequenz ermittelten Arbeitsenergieumsatzes mit dem individuellen maximalen Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit von der Arbeitszeit.
 - ♦ $\%HF_{abs.Grenz,8h} = \% 110 bpm$: Das Verhältnis der gemessenen Herzfrequenz zur Herzfrequenz von 110 Schlägen pro Minute.
 - ♦ $\%\dot{V}O_{2,abs.Grenz,8h} = \% 1 L/min$: Das Verhältnis der aus der mittleren Herzfrequenz eines Arbeitstages ermittelten Sauerstoffaufnahme zur Sauerstoffaufnahme von $1 L/min$.

³⁴⁹ Die Vorbelastungsherzfrequenz ist die mittlere Herzfrequenz vom Arbeitsbeginn bis zum Zeitpunkt der Beobachtung.

- ♦ $\%AEU_{abs.Grenz,8h} = \% 4,6 \frac{kcal}{min}$: Das Verhältnis des aus der mittleren Herzfrequenz eines Arbeitstages ermittelten Arbeitsenergieumsatzes mit dem maximalen Arbeitsenergieumsatz von $4,6 \frac{kcal}{min}$.
- ♦ $\%AEU_{abs.Grenz} = \% maxAEU(t)$: Das Verhältnis des aus der Vorbelastungs-Herzfrequenz ermittelten Arbeitsenergieumsatzes mit dem absoluten maximalen Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit.

Es erfolgt die Darstellung ausgewählter Beanspruchungskenngrößen der Tätigkeitsgruppe „Mauern“. Aus den weiteren aufgeführten Beanspruchungskenngrößen, die nur auf den gesamten Arbeitsablauf angewandt werden können, wird lediglich die Auswertung des Arbeitsenergieumsatzes in Abhängigkeit der Arbeitszeit durchgeführt. Hiermit können weitere Informationen für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve gewonnen werden.³⁵⁰

6.11.1 Beanspruchungsauswertung der Tätigkeitsgruppe „Mauern“

Für die Auswertung der Beanspruchungskenngrößen stehen aus den Beobachtungen der acht Bauarbeiter³⁵¹ für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ 1.144 Einzelnotierungen mit zugeordnetem Herzfrequenzwert an 44 Beobachtungstagen zur Verfügung.

6.11.1.1 $\%HF_{ind.Grenz,I} = \% HF_{LTP1}$

Zur Ermittlung der ersten relativen Beanspruchungskenngröße $\%HF_{ind.Grenz,I} = \% HF_{LTP1}$ erfolgt der Vergleich der gemessenen mit der im Labor ermittelten Herzfrequenz an der aeroben Schwelle (HF_{LTP1}):

³⁵⁰ Für die weitere Verwendung wurden die Grenzwerte der aeroben Schwelle (HF_{LTP1}) und der Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit (AEU(t) nach Bink bzw. AEU(t) nach Lehmann) ausgewählt. Ein Vergleich mit der Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze ist durch die direkte Herzfrequenzaufzeichnung während der Beobachtung und der Bestimmung der Dauerleistungsgrenze im Labor gut realisierbar. Ebenso ist die Bestimmung des Arbeitsenergieumsatzes mit Hilfe der im Untersuchungsumfang erhobenen Daten ohne weiteren Erhebungsaufwand möglich und bietet somit die Chance, drei individuelle Grenzwerte (HF_{LTP1} , AEU(t) nach Bink bzw. AEU(t) nach Lehmann) für die Beanspruchungsprüfung heranzuziehen.

³⁵¹ TU3, TU4 TU7, TU8, TU9, TU10, TU14 und TU 15.

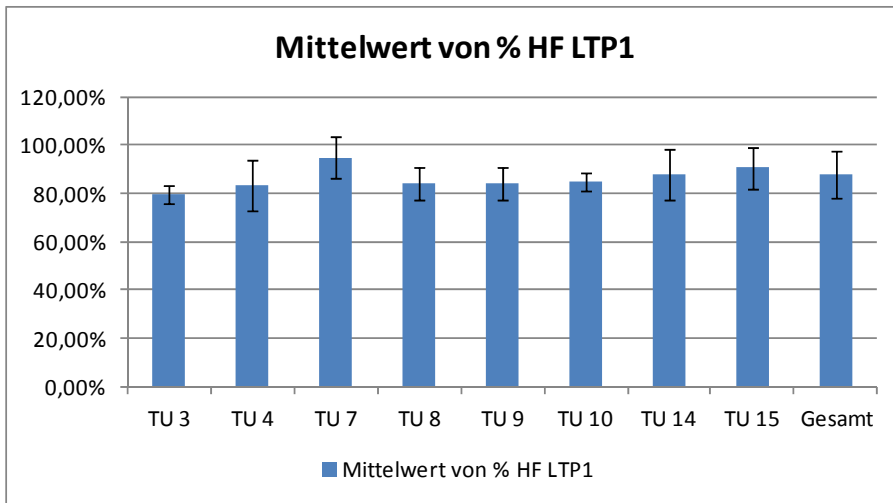


Bild 6-34 Mittelwert und Standardabweichung für % HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“

Die Auswertung zeigt, dass die körperliche Beanspruchung der Bauarbeiter in einem Bereich von 79,93 % bis 94,75 % liegt. Diese Unterschiede sind auf die individuelle Leistungsfähigkeit zurückzuführen.

Neben der Auswertung des Mittelwertes eines Arbeitstages, welcher für den Vergleich mit ähnlichen Studien³⁵² herangezogen werden kann, ist die Auswertung der Beanspruchung in der jeweiligen Arbeitsstunde der Wert, der für die weiteren Überlegungen verwendet wird.

Als Beispiel für die stundenbezogene Auswertung werden die Ergebnisse für Bauarbeiter TU 14 exemplarisch dargestellt.

Körperliche Beanspruchung der Bauarbeiter zwischen 65,64 und 94,75 % der HF_{LTP1}

³⁵² Beispielhaft Abdelhamid, T. S.; Everett, J. G.: Physiological Demands during Construction Work, in: Journal of Engineering and Management Jg.128 (2002) S. 427-437.

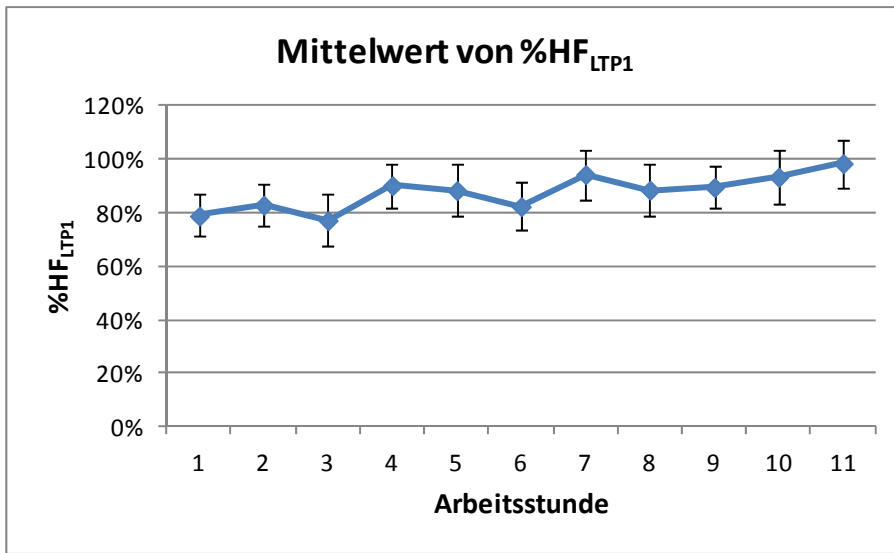


Bild 6-35 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 14 in der jeweiligen Arbeitsstunde

Die Auswertung mit der Betrachtung des stündlichen Verlaufs veranschaulicht den Anstieg der Herzfrequenz, welcher in den Arbeitsstunden mit Pausen (3 und 6) eine Abnahme aufweist. Die Auswertung der weiteren Bauarbeiter findet sich im Anhang unter Punkt A.1.7.

Anstieg der Belastung im Verlauf des Arbeitstages

6.11.1.2 $\%AEU_{ind.Grenz} = \%AEU(t)$ nach Bink

Zur Bestimmung dieses Beanspruchungskennwertes ist es erforderlich aus den Spiroergometriedaten und mit Hilfe des in Bild 6-36 dargestellten Diagramms von Åstrand die „aerobic capacity“ zu bestimmen.

Tabelle 6-44 „aerobic capacity“ der einzelnen Bauarbeiter

Proband Nr.	Alter	Gewicht	Ablesewert aus Bild 6-36	aerobic capacity
	[a]	[kg]	[kcal/(min*kg)]	[kcal/min]
TU 3	41	76,50	0,197	15,071
TU 4	39	93,00	0,201	18,693
TU 7	25	76,00	0,235	17,860
TU 8	25	85,00	0,235	19,975
TU 9	33	145,00	0,213	30,885
TU 10	35	124,00	0,209	25,916
TU 14	22	66,00	0,242	15,972
TU 15	22	94,50	0,242	22,869

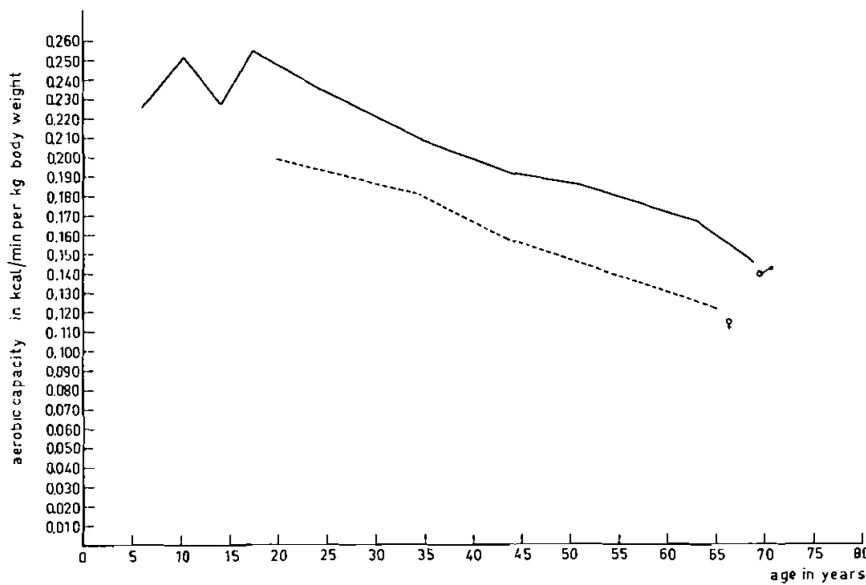


Bild 6-36 Zusammenhang zwischen Alter und der "aerobic capacity" nach Åstrand³⁵³

Mit Hilfe der Formel von Bink³⁵⁴ kann der maximale Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit ermittelt werden.

$$AEU_{ind.Grenz} = \dot{A} = \frac{\log 5700 - \log t}{3,1} * a \quad (6.33)$$

- ♦ Dabei bedeuten:
- ♦ \dot{A} ... physical working capacity in kcal/min
- ♦ t ... Arbeitszeit in min
- ♦ a ... „Aerobic capacity“ nach Åstrand entsprechend Tabelle 6-44

Die Bestimmung des mittleren Beanspruchungswertes jedes Bauarbeiters erfolgt durch die Division des individuellen Energieumsatzes - auf Basis der Vorbelastungs-Herzfrequenz ermittelt - bei Ausführung von Tätigkeiten der Tätigkeitsgruppe „Mauern“ durch den maximalen Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitsdauer des jeweiligen Arbeitstages. Zur Berechnung dieser mittleren Beanspruchungswerte steht ein Datenumfang von 824 Einzelbeobachtungen an 31 Beobachtungsta-

³⁵³ Åstrand, I.: Aerobic working capacity in men and women with special refercenc to age, in: Acta physiol. Scand., 49 (1960) gefunden in Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in : Ergonomics, 5 (1962).

³⁵⁴ Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and age, in : Ergonomics, 5 (1962).

gen zur Verfügung. Auf Grund von Messfehlern musste der Beobachtungsumfang auf 821 Einzelbeobachtungen reduziert werden.³⁵⁵

Die Daten werden graphisch abgebildet, wobei in diesem Fall auf die Darstellung der elften Arbeitsstunde verzichtet wird. Durch den geringen Beobachtungsumfang werden nur die Ergebnisse der Arbeitsstunden 1-10 für die weitere Verwendung berücksichtigt.

Die auffällig geringe Zahl an Notierungen in der ersten, dritten und sechsten Stunde lässt sich mit den erhöhten Nebentätigkeiten zu Arbeitsbeginn und bei Arbeitsunterbrechungen durch Pausen in der dritten und sechsten Stunde begründen.

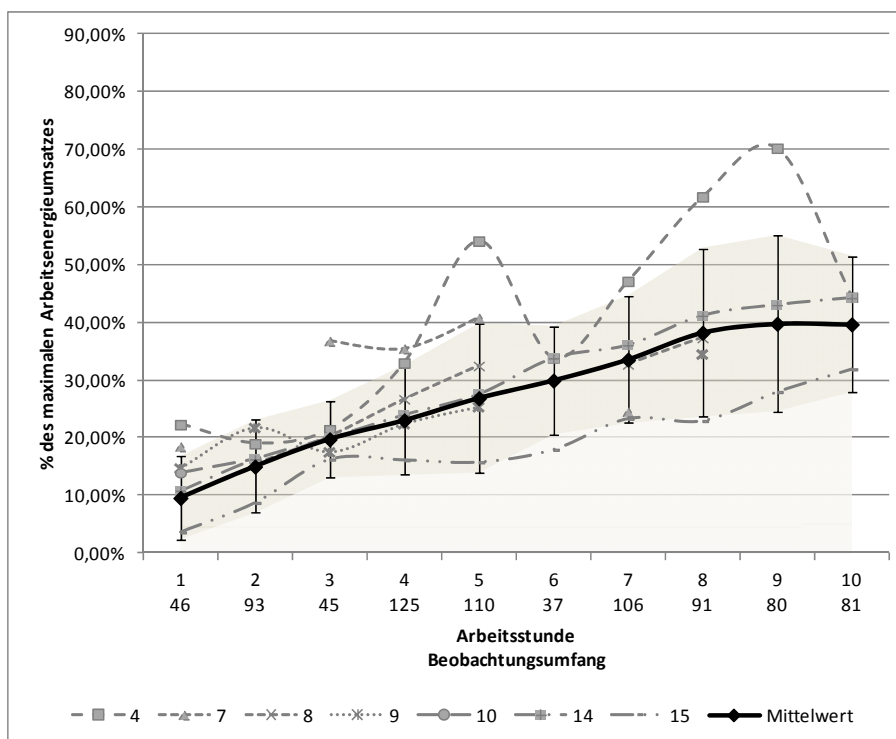


Bild 6-37 Beanspruchungskennwerte der einzelnen Arbeitsstunden für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“

Anhand der in Bild 6-37 dargestellten Auswertung der Tätigkeitsgruppe „Mauern“ ist festzustellen, dass bei keinem Bauarbeiter der maximale Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit überschritten wurde.

Weiters ist es möglich, den Beanspruchungswert jedes Arbeitstages unter Berücksichtigung aller Beobachtungsdaten mit dem dazugehörigen

³⁵⁵ Die berechneten Werte der vierten Arbeitsstunde des Bauarbeiters TU 3 sowie der fünften Arbeitsstunde des Bauarbeiters TU 5 lagen weit über bzw. unter den anderen Werten. Somit mussten diese als Ausreißer infolge von Mess- oder Rechenfehlern angesehen werden.

maximalen Arbeitsenergieumsatz zu vergleichen. Für diese Auswertung stehen 2.991 Datensätze zur Verfügung.³⁵⁶

Auffallend bei der graphischen Darstellung sind signifikant hohen Ausreißer der Werte für die Bauarbeiter TU 3 und TU 4, welche um ca. 10 Jahre älter sind als die übrigen Bauarbeiter.

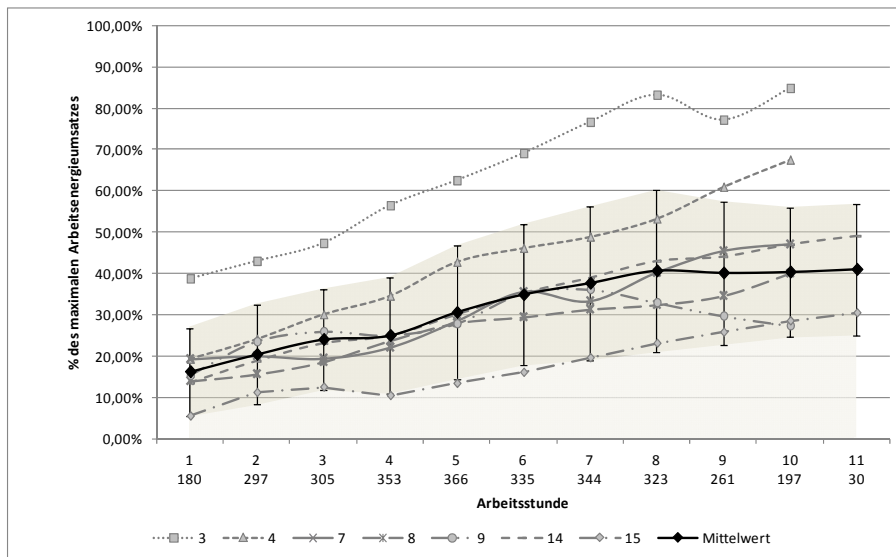


Bild 6-38 Beanspruchungskennwerte für die einzelnen Arbeitsstunden aller Beobachtungen

Auch bei der Betrachtung aller Tätigkeiten der Facharbeiter zeigt sich, dass bei keinem der maximale Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit überschritten wurde.

6.11.2 Beanspruchungsauswertung des gesamten Arbeitstages mit $\%AEU_{abs.Grenz,I} = \% maxAEU(t)$ nach Lehmann

Nach der Betrachtung der einzelnen Arbeitsstunden erfolgt nun die Analyse des gesamten Arbeitstages. Lehmann gibt abhängig von der Arbeitsdauer unterschiedliche maximale Energieumsätze an, welche in Tabelle 3-2 dargestellt wurden.

³⁵⁶ Die Datenreihen des Bauarbeiters 10 mussten aus der Auswertung herausgenommen werden, da für diesen nur Aufzeichnungen bis zur vierten Arbeitsstunde vorhanden sind.

6.11.2.1 Maximaler Arbeitsenergieumsatz für eine Stunde

Der Prozentsatz des Grenzwertes wird für den einzelnen aufgenommenen Beanspruchungswert in Bezug auf den Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) bestimmt.

Für die Auswertung stehen unter der Berücksichtigung von Ausreißern insgesamt 2.759 Datensätzen an 47 Beobachtungstagen zur Verfügung.

Exemplarisch ist die graphische Abbildung der Auswertung für den Bauarbeiter TU 15 dargestellt. Die Datentabelle sowie die weiteren Auswertungen sind im Anhang (0) ersichtlich.

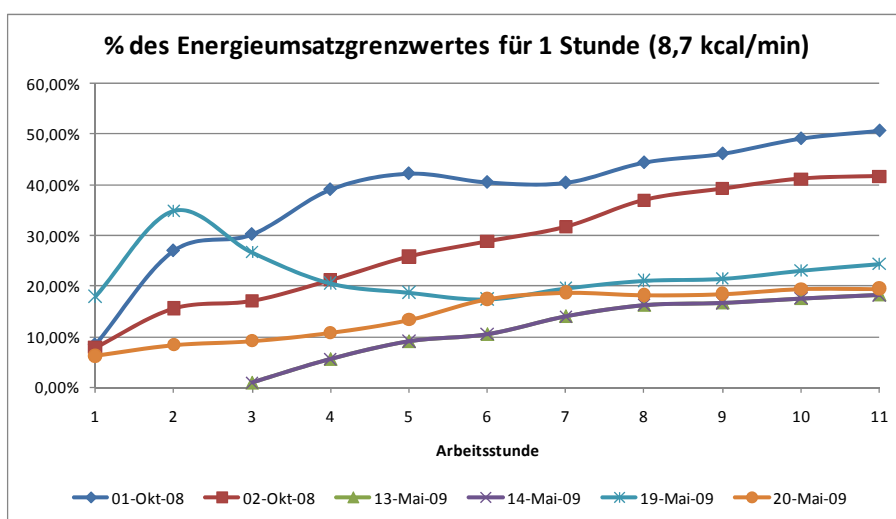


Bild 6-39 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 15

Die untersuchten Tätigkeiten liegen überwiegend im Bereich von 10 % bis 40 % des Grenzwertes des Energieumsatzes einer Arbeitsstunde. Lediglich bei zwei Stunden an zwei Arbeitstagen liegen die Beanspruchungskennwerte unter 10 % und an einem Tag werden Beanspruchungskennwerte bis zu 50 % erreicht. Insgesamt zeigt sich, dass bei Bauarbeiter TU 15 zu keinem Zeitpunkt der Grenzwert des Energieumsatzes für eine Stunde überschritten wird.

6.11.2.2 Maximaler Arbeitsenergieumsatz für größere Zeiträume

Neben dieser Auswertung in Bezug auf eine Stunde ist es möglich, den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes der neunten, zehnten und elften Arbeitsstunde in Bezug auf den Grenzwert eines Tages (6,4 kcal/min), einer Woche (5,5 kcal/min) oder eines Monats (5,1 (kcal/min) zu bestimmen.

Tabelle 6-45 Vergleich des Arbeitsenergieumsatzes am Ende des Arbeitstages mit dem Grenzwert eines Tages (6,4 kcal/min), einer Woche (5,5 kcal/min) und eines Monats (5,1 kcal/min)

Proband Nr.	Mittelwert der Arbeitsstunde von %max AEU (Tag (6,4 kcal/min))			Mittelwert der Arbeitsstunde von %max AEU (Woche (5,5 kcal/min))			Mittelwert der Arbeitsstunde von %max AEU (Monat (5,1 kcal/min))		
	9	10	11	9	10	11	9	10	11
TU 3	52,22%	65,91%		60,77%	76,69%		65,54%	82,71%	
TU 4	70,10%	64,64%		81,57%	75,21%		87,97%	81,11%	
TU 7	42,88%	42,65%		49,90%	49,63%		53,81%	53,52%	
TU 8	40,26%	43,64%		46,85%	50,78%		50,53%	54,76%	
TU 9	41,63%	43,27%		48,45%	50,35%		52,25%	54,30%	
TU 14	37,17%	37,93%	38,44%	43,25%	44,13%	44,73%	46,64%	47,60%	48,24%
TU 15	31,88%	32,99%	34,28%	37,09%	38,39%	39,88%	40,00%	41,40%	43,01%

Die dargestellten Ergebnisse in Tabelle 6-45 zeigen, dass bei den untersuchten Bauarbeitern zu keinem Zeitpunkt die Werte für den maximalen Arbeitsenergieumsatz eines Tages, einer Arbeitswoche oder eines Monats überschritten werden. Demnach können aus physiologischer Sicht die erhobenen Tätigkeiten über mehr als einen Monat ausgeführt werden.

6.11.2.3 Ergebnisse der Beanspruchungsanalysen

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 Berücksichtigung³⁵⁷ des Einflusses der Arbeitsbeanspruchung vorgenommen.

6.12 Leistungsverlauf während des Arbeitstages

Zur Ermittlung des Leistungsverlaufs werden die entsprechend Kapitel 5.4.2 erhobene Leistungsfortschritt ausgewertet.

³⁵⁷ 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.

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 Bruttoleistungswerten vorgenommen werden müssen, um diese für die tätigkeitsabhängige Leistungsverlustermittlung entsprechend der vorgestellten Systematik anwenden zu können.

6.12.1 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 Auswertung dieser Aufwands- und Leistungswerte ergibt dabei das in der nachfolgenden Tabelle dargestellte Ergebnis.

Im Zuge der Datenauswertung wurden 11 Messreihen als nicht plausibel eingestuft, da diese Werte bis zu einem Maximum von 83,33 Std/m³ aufwiesen und damit weit über den anderen aufgezeichneten Werten lagen. Im Rahmen der weiteren Betrachtung erfolgt die Darstellung ohne die Berücksichtigung dieser offensichtlichen Ausreißer. Das Ergebnis dieser Bereinigung ergibt folgende Werte und Boxplots:

Tabelle 6-46 Auswertung der aufgezeichneten Beobachtungsdaten für Aufwands- und Leistungswerte ohne Ausreißer

Beobachtungstage	27 Tage	
Anzahl Aufzeichnungen	125 Notierungen	
	Aufwandswert	Leistungswert
	[Std/m ³]	[m ³ /Std]
Mittelwert	4,58	0,30
Standardabweichung	2,91	0,18
Median	3,57	0,28
1. Quartil	2,68	0,18
3. Quartil	5,43	0,37
Minimum	0,89	0,07
Maximum	15,00	1,12

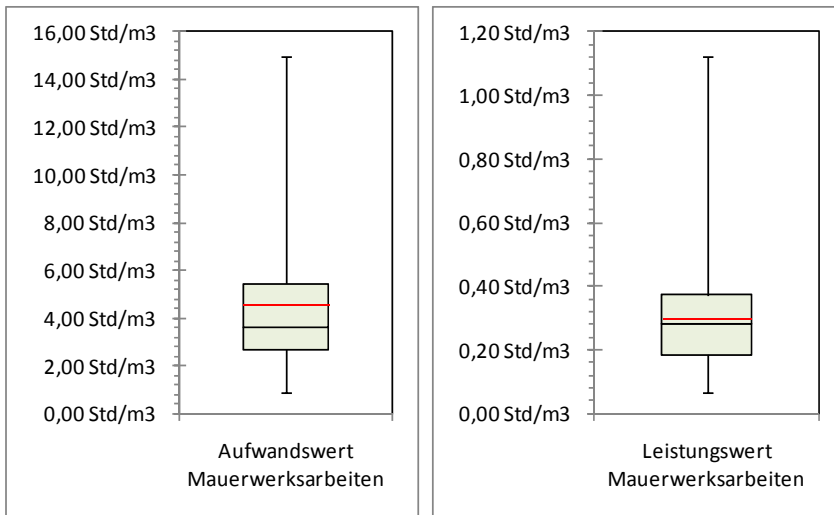


Bild 6-40 Boxplot der modifizierten aufgezeichneten Beobachtungsdaten für Aufwands- und Leistungswerte

Für die weitere Bearbeitung werden die Ergebnisse aus Bild 6-40 und Tabelle 6-46 herangezogen. Somit ergibt sich ein Brutto-Aufwandswert von 3,57 Std/m³ (=Median) bzw. ein Brutto-Leistungswert von 0,28 m³/Std.

Brutto-Aufwandswert = 3,57 Std/m³

Brutto-Leistungswert = 0,28 m³/Std

Ebenso zeigt sich bei der Analyse der Verteilung im Verlauf des Arbeitstages keine auffallende Veränderung des Leistungswertes:

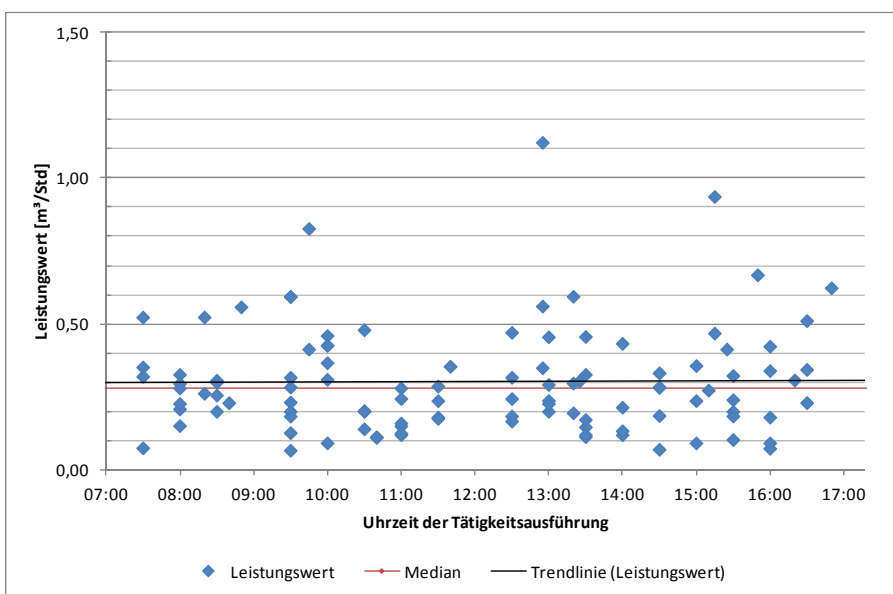


Bild 6-41 Verlauf des Leistungswertes im Verlauf des Arbeitstages

6.12.2 Vergleich der erhobenen Leistungswerten mit Leistungswerten aus der Literatur

Um die ermittelten Aufwands- und Leistungswerte zu plausibilisieren, wird ein Vergleich mit der einschlägigen Literatur vorgenommen.

Tabelle 6-47 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/m ³]	[Std/m ³]
ARH ³⁵⁸	3,30 – 3,45 ³⁵⁹	3,70 – 3,90
Plümecke ³⁶⁰	3,33 – 4,00	*
AUER ³⁶¹	3,50	*
Levesen / Zahn ³⁶²	6,20 – 7,00 ³⁶³	*
Lugner / Stimpfl ³⁶⁴	8,30 – 8,80	*
Olesen ³⁶⁵	3,60 – 4,15 ³⁶⁶	*
ZTV ³⁶⁷	3,25 - 3,45 (3,45 - 4,05 ^{o.K.}) ³⁶⁸	3,50 - 3,65 (3,70 - 4,25 ^{o.K.})

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 6-47 dargestellten Werten erfolgt im nachstehenden Bild.

³⁵⁸ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984, Tafel M6.227.

³⁵⁹ 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.

³⁶⁰ Plümecke, K. ; Kuhne, V.: Preisermittlung für Bauarbeiten, 26. Auflage, Müller, Köln 2008, S. 256.

³⁶¹ Auer, H.: Kalkulation Hochbau: Baumeisterarbeiten, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 2004, S. 349.

³⁶² Levesen, P. ; Zahn, E.: Hochbau, 7. Auflage, Schiele & Schön, Berlin 1973, S. 59.

³⁶³ Bei Levesen/Zahn wird nach dem Herstellungsgeschoß unterschieden, weitere Anmerkungen, welche Zeiten in diesem Aufwandswert beinhaltet sind wurden nicht vorgefunden.

³⁶⁴ Lugner, R; Stimpfl, H. ; Lenz, G.: Richtlinien, Zeitaufwand, Materialbedarf für die Kalkulation im Hochbau, 13. Auflage, Lugner, Wien 1983, S. 202-203.

³⁶⁵ Olesen, G.: Kalkulationstabellen Hochbau: Hochbau, Erdarbeiten, Rohrleitungen, Aussenanlagen, 11. Auflage, Schiele und Schön, Berlin 1994, S. 291.

³⁶⁶ 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.

³⁶⁷ Autorengemeinschaft Hochbau: Handbuch Arbeitsorganisation Bau, Heft 1.06 Mauerarbeiten Richtzeiten, ztv-Verlag 1981, S 59f.

³⁶⁸ Im Handbuch Arbeitsorganisation Bau wird nach dem Ausführungsgeschoß unterschieden. Zusätzlich finden sich weitere Zulagen, um die Arbeitsaufgabe bestmöglich abzubilden.

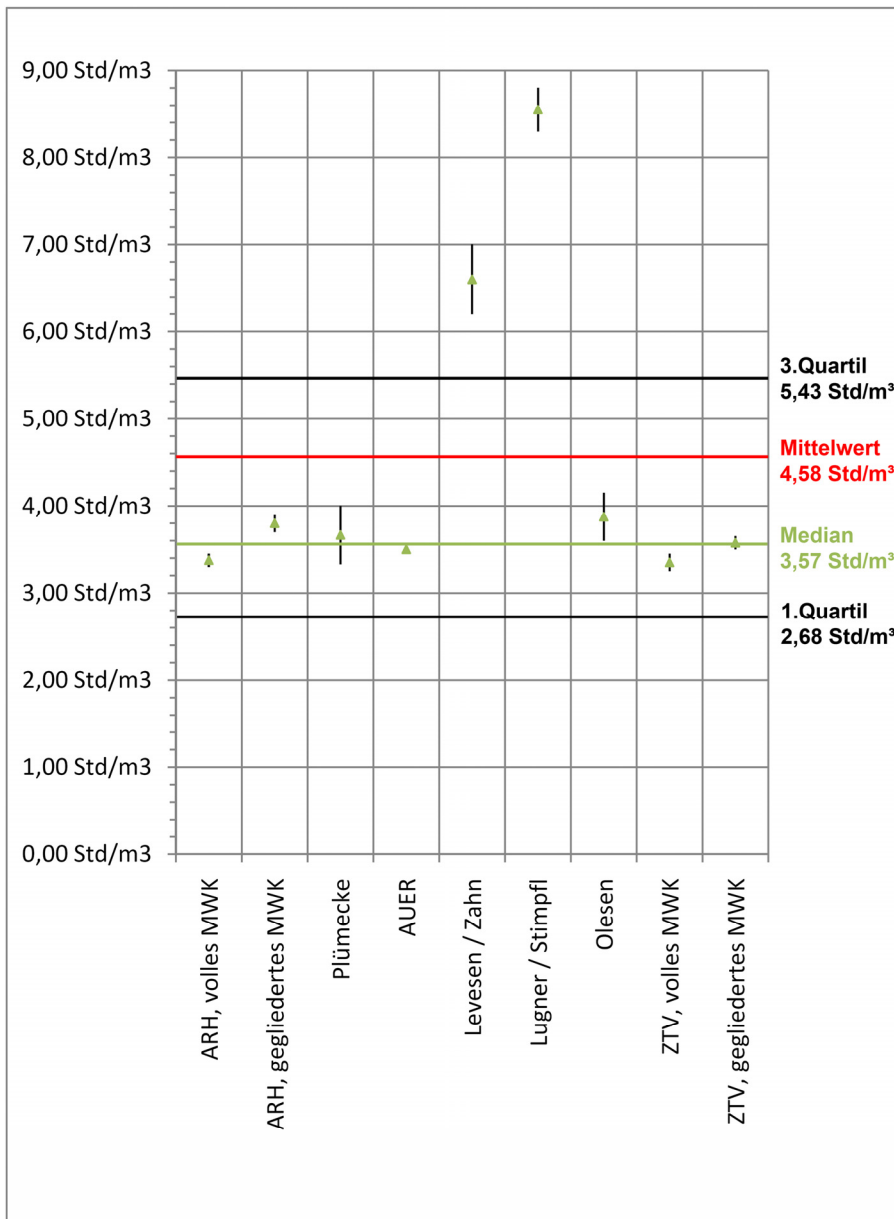


Bild 6-42 Vergleich der Literatur-Aufwandswerte mit den Brutto-Aufwandswerten der Datenauswertung

Der in Bild 6-42 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.

6.12.3 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, Schlitzfenstern 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.“³⁶⁹*

³⁶⁹ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeitechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984, Vorbemerkungen unter Pkt. 6.02 zu Mauerarbeiten mit großformatigen Steinen.

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 Tätigkeitsprofil berücksichtigt werden.

6.12.3.1 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:

$$AW_N \left[\frac{Std}{m^3} \right] = AW_B \left[\frac{Std}{m^3} \right] * AT_{HT,MW} [\%] \tag{6.34}$$

Durch Anwendung dieses Vorgehens auf die Beobachtungsergebnisse (siehe Anhang A.1.9) ergibt sich das in Tabelle 6-48 dargestellte Bild:

Tabelle 6-48 Brutto- und Nettoaufwandswerte der auswertbaren Datenreihen (N=55) für die Bruttoarbeitszeit

	Brutto-Aufwandswert	Brutto-Leistungswert	Netto-Aufwandswert	Netto-Leistungswert
	[Std/m³]	[m³/Std]	[Std/m³]	[m³/Std]
Mittelwert	4,01	0,37	2,01	0,76
Standardabweichung	2,18	0,16	1,12	0,33
Maximum	20,00	1,12	10,00	2,10
Minimum	0,89	0,05	0,48	0,10
Median	3,08	0,33	1,39	0,72
1. Quartil	2,18	0,24	1,06	0,45
3. Quartil	4,17	0,46	2,21	0,94

Durch den verringerten Datenumfang³⁷⁰ und die unterschiedliche Betrachtungsweise ergibt sich beim Vergleich der Median-Aufwandswerte aus Tabelle 6-48 und Tabelle 6-46 eine Abweichung von ca. 0,5 Std/m³.

Netto-Aufandswert= 1,39
Std/m³

Netto-Leistungswert= 0,72
m³/Std

Die in Tabelle 6-48 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 Tabelle 6-46 vergleichen zu können, muss folgende Transformation angewandt werden:

$$AW_{Brutto,Bruttoarbeitszeit} = AW_{Brutto,Nettoarbeitszeit} * \frac{AZ_{Brutto}}{AZ_{Netto}} \quad (6.35)$$

Durch Einsetzen des Medianes des Netto-Aufandswertes aus Tabelle 6-48 in Glg. (6.35) ergibt sich ein mit dem Wert aus Tabelle 6-46 annähernd übereinstimmendes Ergebnis:

$$AW_{Brutto,Bruttoarbeitszeit} = 3,08 * \frac{10}{9} = 3,42 \left[\frac{Std}{m^3} \right] \quad (6.36)$$

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

6.12.3.2 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:³⁷¹

$$AW_{N,MW} = AW_{B,MW} * Anteil HT * \frac{T_{Baustelle}}{T_{Arbeit}} = \left[\frac{Std}{m^3} \right] \quad (6.37)$$

Der Brutto-Aufandswert für die Gleichung (6.37) entstammt beispielsweise den ARH-Tabellen³⁷². Der Anteil der Haupttätigkeitszeit kann aus der Datenauswertung (siehe Tabelle 6-21) herangezogen werden. Mit Hilfe dieser Werte ergibt sich:

³⁷⁰ Umfang des verringerten Datensatzes: 55 einzelnen Leistungswerte von Bauarbeitern mit Tätigkeitsanalyse; gegenüber 136 Leistungsaufzeichnungen bei allen beobachteten Bauarbeitern.

³⁷¹ 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.

³⁷² Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 1984.

$$AW_{N,MW} = 3,50 * 35,93 \% * \frac{10}{9} = 1,397 \left[\frac{Std}{m^3} \right] \quad (6.38)$$

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

7 Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit

Die Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit erfolgt mit Hilfe von fünf Schritten und den zuvor gewonnenen Daten.

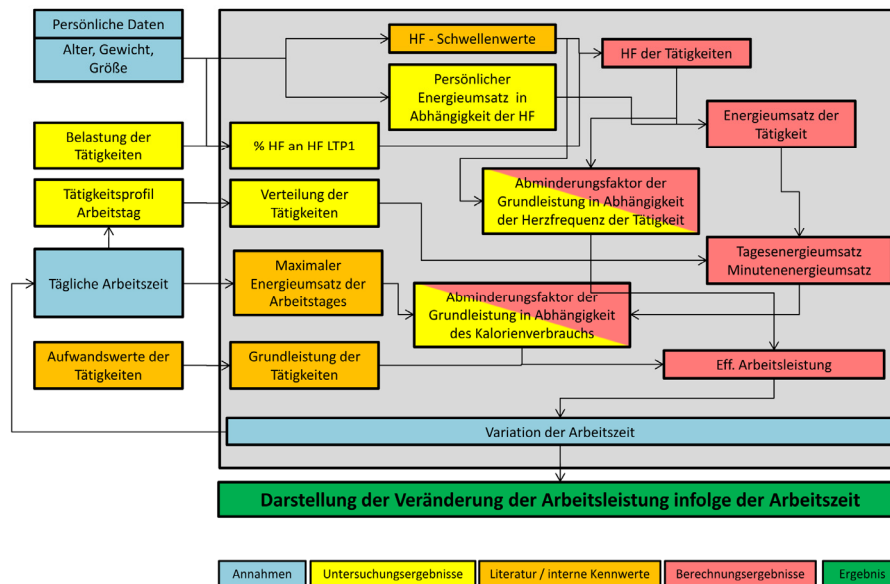


Bild 7-1 Systematik der Leistungsverlustermittlung

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.³⁷³ Gleiches gilt bei Überschreitung des Arbeitsenergieumsatzes.³⁷⁴

Da die Anwendbarkeit der Arbeitsleistungskurve sehr stark davon abhängt, dass mit nur wenigen und leicht feststellbaren Eingangsparametern eine hohe Ergebnissenauigkeit 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.

7.1 Zusammenstellung der erforderlichen Daten

Aus den zuvor dargestellten ausgewerteten Daten werden für die drei verschiedenen Ermittlungsebenen ausgewählte Ergebnisse benötigt.

7.1.1 Bestimmung der personenbezogenen Parameter

Die zu bestimmenden personenbezogenen Parameter sind:

- Maximale Herzfrequenz
- Maximale Leistung
- Herzfrequenz am LTP₁
- Verlauf und Maximalwert der Sauerstoffaufnahme

7.1.1.1 Maximale Herzfrequenz (HF_{max})

Wird die maximale Herzfrequenz nicht mittels Laboruntersuchungen bestimmt, sind als Eingangskenngrößen die folgenden Werte erforderlich:

- Geschlecht
- Alter

Eingangskenngrößen:
Geschlecht
Alter

Die maximale Herzfrequenz kann basierend auf dem Eingangsparameter Alter mit Hilfe der Gleichungen (7.1) werden.

$$HF_{max} = 211,30 - 0,922 * Alter \quad (7.1)$$

³⁷³ 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_{LTP1} lagen (siehe Bild 6-34 und Bild 6-35).

³⁷⁴ Auch der zweite hier angesprochene Abminderungsfaktor konnte für den Bereich der Mauerwerksarbeiten nicht bestimmt werden, da entsprechend der Beanspruchungsauswertung in 6.11.2 der maximale Arbeitsenergieumsatz in Abhängigkeit von der Arbeitszeit bei den vorliegenden Daten nicht überschritten wurde.

7.1.1.2 Maximale Leistung

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.

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A \quad (7.2)$$

$$KO = 0,00714 * W^{0,425} * H^{0,725} \quad (7.3)$$

Hierbei sind

KO ... Körperoberfläche [m²]

W ... Gewicht [kg]

H ... Größe [cm]

A ... Alter [Jahren]

7.1.1.3 Herzfrequenz am LTP₁ (HF_{LTP1})

Die Bestimmung der HF_{LTP1} hat im Rahmen einer Laboruntersuchung zu erfolgen. Kann eine solche nicht ausgeführt werden, ermöglicht die Gleichung, die in Kapitel 3.2.4.1 ermittelt wurde, eine näherungsweise Abschätzung der HF_{LTP1}.

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max} * 0,635 + P_{max} * 0,018 \quad (7.4)$$

7.1.1.4 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.

7.1.2 Bestimmung der Herzfrequenzwerte für die Tätigkeitskategorien

Für die Bestimmung der relativen Herzfrequenzwerte der Tätigkeiten werden folgende persönliche Kenngrößen benötigt: Gewicht, Körpergröße und BMI.

Laboruntersuchung für HF_{LTP1} und den Verlauf der Sauerstoffaufnahme

Eingangskenngrößen:
Gewicht, Körpergröße und BMI

7.1.2.1 Herzfrequenzwertberechnung mit Hilfe der Ergebnisse der einfachen Regression

Die Ermittlung der Herzfrequenzwerte für die einzelnen Tätigkeitskategorien erfolgt mit Hilfe der maximalen Herzfrequenz und folgenden Zusammenhängen:

Für Tätigkeitskategoriegruppen, bei denen der Herzfrequenzwert von der Vorbelastung abhängt, wird der Wert mit Hilfe der Gleichung (7.5) bestimmt:

$$\%HF_{max} = A + B * HF_{Vorb} \quad (7.5)$$

In diese Gleichung werden die Faktoren aus Tabelle 7-1 eingesetzt.

Tabelle 7-1 Faktoren der Gleichung (7.5)

Tätigkeitskategoriegruppe	A	B
111 Mauern	-0,09926	0,00669
112 Schalen	0,43445	0,00124
114 Betonieren	-0,07596	0,00651
121 Vorbereiten Mauern	0,21062	0,00339
122 Vorbereiten Schalen	0,37782	0,00185
126 Vorbereiten allgemein	-0,07446	0,00640
128 Aufräumen	0,33334	0,00233
129 Besprechung	0,16786	0,00396
131 Zusätzliche Tätigkeiten	0,00368	0,00543
231 Pause	0,18196	0,00348
232 Eigene Pause	0,17293	0,00367
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	0,08749	0,00448
311 Nicht erkennbar	-0,02972	0,00577

Für die weiteren Tätigkeitskategoriegruppen werden die in Tabelle 7-2 dargestellten relativen Herzfrequenzwerte verwendet.

Tabelle 7-2 Relative Herzfrequenzmittelwerte zu HF_{max} der Tätigkeitskategorien ohne signifikanten Zusammenhang zur Vorbelastungsherzfrequenz

Tätigkeitskategoriegruppe	$\%HF_{max,mittel}$	Std.-Abw.
127 Herrichten	49,03%	6,08%
127 Herrichten	49,03%	6,08%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	54,31%	5,42%

Mit Hilfe dieser relativen Beanspruchungskennwerte ist es nun möglich, die Herzfrequenz jeder Tätigkeit zu bestimmen.

7.1.2.2 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:

$$\%HF_{max} = k + a * HF_{Vorbereitung} + b * HF_{max} + c * BMI \quad (7.6)$$

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)

$HF_{Vorbereitung}$... Vorbereitungsherzfrequenz

BMI ... Body-Mass-Index

In diese Gleichungen werden die Werte aus Tabelle 7-3 eingesetzt, somit kann unter Berücksichtigung der verschiedenen Eingangsparameter die jeweilige Herzfrequenz der Tätigkeit in Abhängigkeit der Vorbereitung bestimmt werden.

Tabelle 7-3 Faktoren und Konstante für Gleichung (7.6)

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

7.1.3 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.

7.2 Vergleich der berechneten Werte mit den Messwerten

Um die Aussagekraft der vorgestellten Überlegungen darzustellen, erfolgt ein Vergleich der real gemessenen Beanspruchungs- und Leistungswerte mit den Ergebnissen der Berechnungen aus der zuvor dargestellten Gleichung.

7.2.1 Vergleich der maximalen Herzfrequenzwerte

Der erste Schritt ist die Ermittlung der maximalen Herzfrequenz für jeden Bauarbeiter auf Basis seines Alters mit Hilfe der Gleichung (7.1).

Tabelle 7-4 Bestimmung der maximalen Herzfrequenz (HF_{\max}) infolge des Alters

Proband Nr.	Alter	HF_{\max} Ergometrie	HF_{\max} aus Glg 7.1
TU 1	46	198	169
TU 2	47	164	168
TU 3	41	180	173
TU 4	39	177	175
TU 5	29	205	185
TU 6	35	190	179
TU 7	25	198	188
TU 8	25	212	188
TU 9	33	169	181
TU 10	35	153	179
TU 11	55	149	161
TU 12	48	178	167
TU 13	17	192	196
TU 14	22	190	191
TU 15	22	182	191
TU 16	21	187	192
TU 17	21	188	192
TU 18	25	191	188
TU 19	25	195	188
TU 20	34	182	180
TU 21	20	191	193
Mittelwert		184,3	182,1
Standardabweichung		15,7	10,0

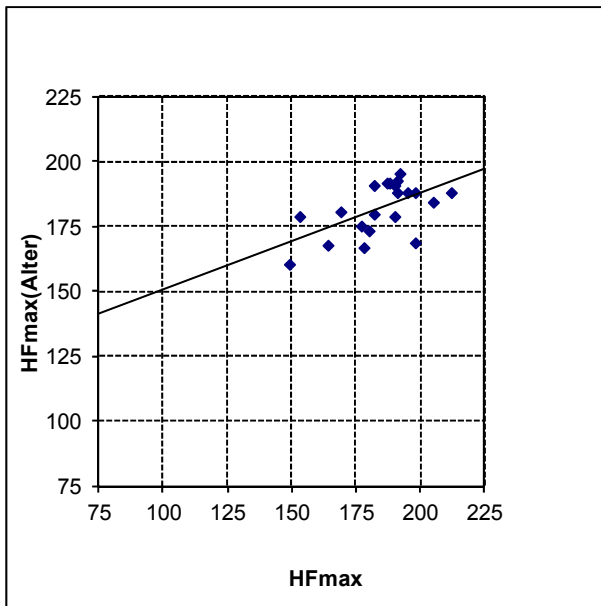


Bild 7-2 Streudiagramm Messwerte und berechnete Werte aus Gleichung (7.1)

Aus der Tabelle 7-4 und Bild 7-2 sind die unterschiedlich großen Abweichungen zwischen den einzelnen Mess- und Berechnungsgrößen ersichtlich. Allerdings weist der Mittelwert der 21 untersuchten Bauarbeiter lediglich eine Abweichung von -1,21 % bei Anwendung der Gleichung (7.1) auf.

7.2.2 Vergleich der Herzfrequenz am LTP₁

Nach dem Vergleich der maximalen Herzfrequenzen werden die Berechnungswerte der Herzfrequenz am LTP₁ ($HF_{LTP1,calc}$) mit den Messwerten verglichen.

Tabelle 7-5 Berechnung der HF_{LTP1} aus $HF_{max}(\text{Alter})$ und $P_{max}(\text{KO}, \text{Alter})$

Proband Nr.	Alter	$HF_{LPT 1, Ergometrie}$	$HF_{max}(\text{Alter})$	KO	$P_{max}(\text{KO}, \text{Alter})$	$HF_{LTP1, calc}$
TU 1	46	136	169	2,12	206	113
TU 2	47	122	168	2,37	227	113
TU 3	41	119	173	1,94	198	116
TU 4	39	122	175	2,13	221	118
TU 5	29	110	185	2,02	228	124
TU 6	35	116	179	2,03	218	120
TU 7	25	124	188	1,99	233	126
TU 8	25	125	188	1,93	225	126
TU 9	33	117	181	2,67	290	122
TU 10	35	124	179	2,48	265	121
TU 11	55	89	161	1,87	167	107
TU 12	48	110	167	2,16	206	112
TU 13	17	103	196	1,95	242	131
TU 14	22	107	191	1,76	211	128
TU 15	22	114	191	2,11	252	128
TU 16	21	116	192	2,45	293	130
TU 17	21	124	192	1,80	218	128
TU 18	25	118	188	2,01	235	126
TU 19	25	144	188	2,32	270	127
TU 20	34	123	180	2,36	255	121
TU 21	20	119	193	1,99	241	129
Mittelwert		118,2	182,1	2,12	233	122,2
Standardabweichung		11,3	10,0	0,24	30	6,7

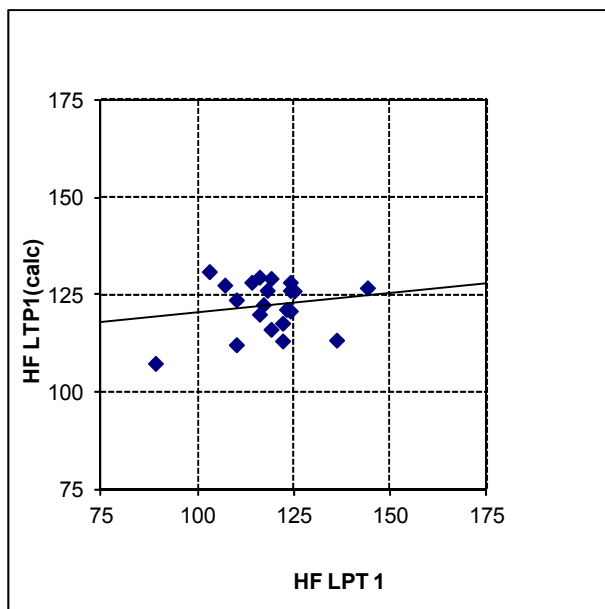


Bild 7-3 Streuungsdiagramm Messwerte und berechnete Werte aus Tabelle 7-5

Die Tabelle und Bild zeigen, dass eine größere Abweichung zwischen den einzelnen Mess- und Rechenwerten vorhanden ist. Betrachtet man erneut die Mittelwerte der untersuchten Bauarbeiter, so ergibt sich eine Abweichung von 3,44 %.

Auf Grund dieser geringen Abweichung kann somit die Berechnungsformel (7.4) zur Bestimmung des HF_{LTP1} im Weiteren verwendet werden.

7.2.3 Herzfrequenz der Tätigkeitskategoriegruppen

Nachdem, wie zuvor dargelegt, die maximale Herzfrequenz ermittelt wurde, kann im nächsten Schritt die Herzfrequenz der Tätigkeiten für eine festgelegte Tätigkeitsabfolge bestimmt werden.

Zu diesem Zweck werden die erforderlichen Tätigkeitsgruppen im Intervall von 5 oder 10 Minuten in einen Arbeitsablaufplan eingetragen. Auf Basis dieses Arbeitsablaufplans, kann somit die Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten und durch den fixierten Arbeitsablauf auch die daraus resultierende Vorbelastung für die weiteren Tätigkeiten bestimmt werden.

Um nachfolgend einen Vergleich zwischen den Mess- und Rechenwerten für die beobachteten Baustellen zu ermöglichen, werden für den Vergleich die beobachteten Arbeitsabfolgen herangezogen und für diese, mit den beiden vorgestellten Verfahren, die Herzfrequenz der einzelnen Tätigkeiten bestimmt.

7.2.3.1 Herzfrequenzwerte infolge der einfachen Regressionsfaktoren

Nach der Berechnung der personenbezogenen Parameter wird auf Basis der Ergebnisse der Gleichung (7.1) die zugehörige Herzfrequenz zur Tätigkeit für die jeweilige beobachtete Tätigkeit berechnet.

Damit können die Ergebnisse der Berechnungen der jeweiligen Bauarbeiter anhand der Mittelwerte der Mess- und Rechenergebnisse sowie der Gegenüberstellung der Herzfrequenzverläufe miteinander verglichen werden. Zur Bestimmung der Herzfrequenz der Tätigkeitskategorien werden die Werte aus Tabelle 7-1 in die Gleichung (7.5) eingesetzt bzw. die Werte aus Tabelle 7-2 zur Bestimmung der Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeit herangezogen.

Dies ergibt für die einzelnen Bauarbeiter folgende Abweichungen der Mittelwerte für die Mess- und Berechnungsergebnisse an den einzelnen Arbeitstagen.³⁷⁵

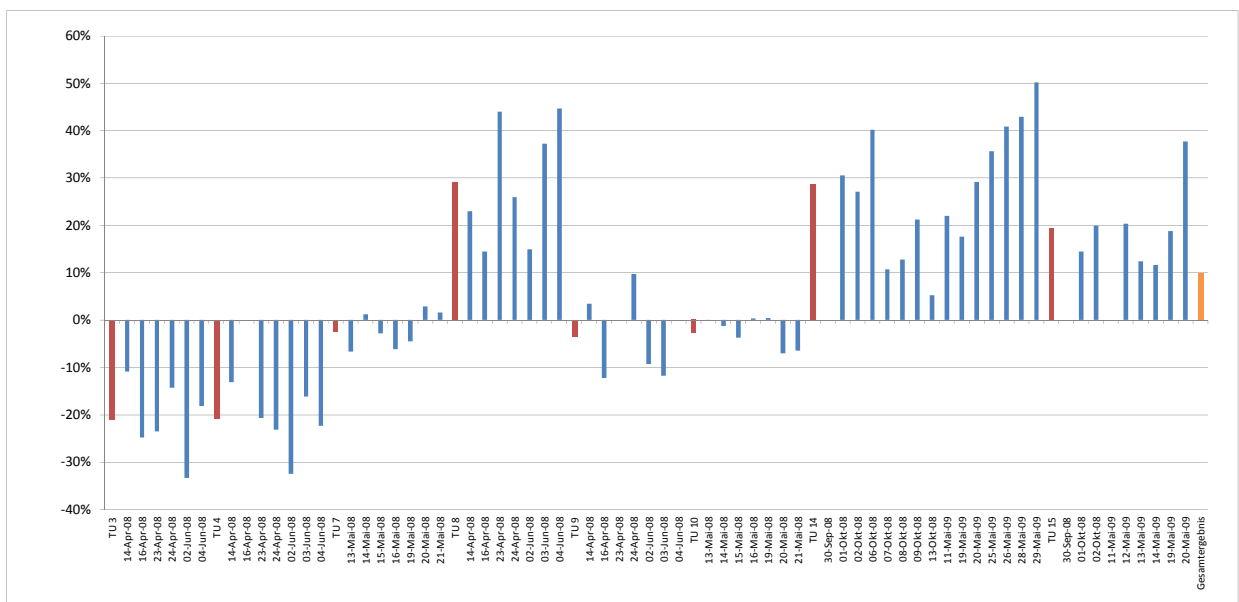


Bild 7-4 Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte aus der einfachen Regression

In Bild 7-4 ist die Abweichung der Mess- und Berechnungswerte der einfachen Regression dargestellt. Es ist ersichtlich, dass bei fünf der acht Bauarbeiter eine große Abweichung vorliegt.

³⁷⁵ Die dazugehörige Datentabelle ist im Anhang A.1.10 ersichtlich.

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 7-6 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 bis zu maximal 12,96 %.

Dieses Ergebnis ist jedoch aufgrund des speziellen Interesses an der Tätigkeitsgruppe „Mauerwerksarbeiten“ nicht befriedigend, weshalb im nächsten Schritt die Ergebnisse des Regressionsmodells mit mehreren Einflussfaktoren überprüft werden.

7.2.3.2 Herzfrequenzwerte infolge der multiplen Regressionsfaktoren

Die zweite Methode, die Herzfrequenzwerte der Tätigkeiten zu bestimmen, erfolgt auf Grundlage der Ergebnisse der multiplen Regression mit den Eingangsparametern maximale Herzfrequenz und BMI sowie der jeweiligen Vorbelastungsherzfrequenz. Durch Einsetzen in die Gleichung (7.6) können, wie bereits zuvor, die Herzfrequenzwerte der Tätigkeiten berechnet werden.

Die Abweichungen der Mess- und Berechnungswerte der mittleren Tagesherzfrequenz werden erneut graphisch dargestellt.³⁷⁶

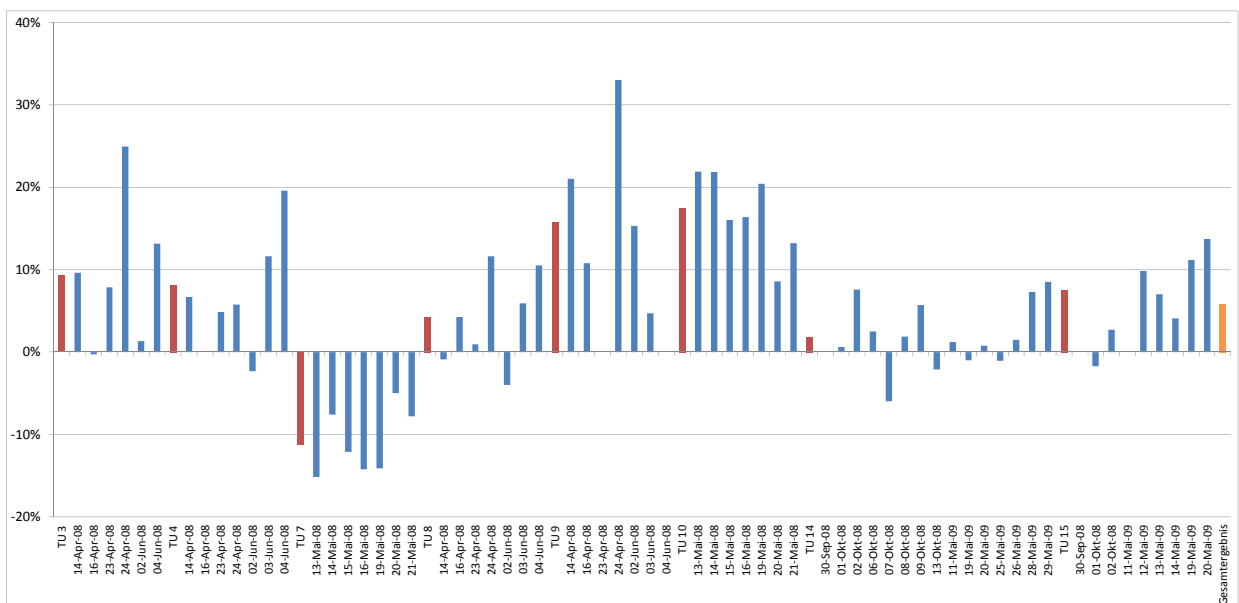


Bild 7-5 Prozentuelle Abweichung der Mess- und Rechenwerte der Herzfrequenztagesmittelwerte

Durch die Verwendung mehrerer Eingangsparameter ergeben sich geringere Abweichungen zwischen den Mess- und Berechnungsergebnissen wie der Vergleich in Bild 7-5 und Tabelle 7-7 zeigt. Beim Vergleich des gesamten Beobachtungsumfangs verringert sich die Abweichung von 9,98 % auf 5,88 %. Nachdem durch diese Betrachtungsweise eine Verbesserung der Berechnungsergebnisse erzielt werden konnte, werden die Berechnungsergebnisse der einzelnen Tätigkeitsgruppen mit den Messwerten verglichen.

³⁷⁶ Die dazugehörige Datentabelle findet sich im Anhang A.1.11.

Tabelle 7-7 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenzmittelwerte der Tätigkeitsgruppen der multiplen Regression

Tätigkeitsgruppe	Messwerte $HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$	SD	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,Tätigkeit}}$	SD	Prozentuelle Abweichung
111 Mauern	98,39	11,13	106,73	9,94	8,48%
112 Schalen	100,83	10,96	106,18	2,52	5,31%
114 Betonieren	108,59	16,26	113,81	14,01	4,81%
121 Vorbereiten Mauern	102,47	12,86	104,08	8,04	1,57%
122 Vorbereiten Schalen	98,80	8,33	105,84	2,97	7,13%
126 Vorbereiten allgemein	97,04	11,73	104,66	9,20	7,86%
127 Herrichten	92,90	9,53	92,68	3,42	-0,23%
128 Aufräumen	102,07	9,79	106,89	5,08	4,72%
129 Besprechung	99,53	10,65	104,34	5,15	4,83%
131 Zusätzliche Tätigkeiten	96,11	11,17	102,19	5,62	6,32%
211 Ablaufbedingte Unterbrechung	98,87	7,44	105,35	4,53	6,55%
221 Störungsbedingte Unterbrechung	90,23	11,55	87,43	9,64	-3,11%
231 Pause	94,74	11,96	100,95	6,29	6,56%
232 Eigene Pause	96,57	9,58	99,12	3,77	2,64%
241 Persönlich bedingte Unterbrechung	96,54	12,90	106,86	10,06	10,69%
311 Nicht erkennbar	97,23	12,41	103,77	6,55	6,73%
Gesamtergebnis	98,33	11,85	104,11	8,45	5,88%

Ebenso wie bei den Beobachtungstagen ergaben sich auch bei den Tätigkeitsgruppen geringere Abweichungen durch die Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression. Speziell bei der Tätigkeitsgruppe „Mauern“ konnte die Abweichung von 25,21 % auf 8,48 % reduziert werden.

Aufgrund dieser Ergebnisse sollte für die Anwendung der Systematik die Ergebnisse der multiplen Regression als Eingangsparameter verwendet werden.

Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression verbessert die Ergebnisse gegenüber der einfachen Regression.

7.3 Anwendungsbeispiel der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve

Als Abschluss der Darstellung der Verwendung der Systematik zur Bestimmung des Leistungsverlustes wird anhand eines Beispiels gezeigt, wie die vorhandenen Daten aus Kapitel 7.1 zur Anwendung kommen.

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

7.3.1 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:

$$HF_{max,calc} = 211,30 - 0,922 * Alter = 211,30 - 0,922 * 28 = 185,48 [S/min] \quad (7.7)$$

$$P_{max,calc} = 6,773 + 136,141 * KO - 0,916 * KO * A = 236,5 [W] \quad (7.8)$$

$$KO = 0,007148x W^{0,425} * H^{0,725} = 0,007148x 185^{0,425} * 185^{0,725} = 2,08 [m^2] \quad (7.9)$$

$$HF_{LTP1} = 2,420 + HF_{max,calc} * 0,635 + P_{max,calc} * 0,018 = 124 [S/min] \quad (7.10)$$

Damit sind alle erforderlichen personenbezogenen Eingangsparameter für die Berechnung ermittelt.

7.3.2 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 6-24 dargestellten Prozentwerte der Verteilung der Tätigkeitsgruppen

und die Verteilung am gesamten Arbeitstag, dargestellt in Tabelle 6-21, 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 6-24 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.³⁷⁷

Korrespondierend zur Tätigkeit „Mauern“ ist die Nebentätigkeit „Vorbereiten Mauern“ anzuordnen.

Entsprechend Tabelle 6-24 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 6-21 folgende Werte angenommen:

„Vorbereiten Allgemein“	2 % der Tagesarbeitszeit
„Besprechung“	3,5 % der Tagesarbeitszeit
„Ablaufbedingte Unterbrechung“	3 % der Tagesarbeitszeit
„Störungsbedingte Unterbrechung“	1,5 % der Tagesarbeitszeit

³⁷⁷ Die Reduzierung in den letzten Stunden wird erst im nächsten Schritt nach der Anordnung von erforderlichen Pausen bei Überschreitung der Herzfrequenzschwelle HF_{LTP1} vorgenommen.

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 entstehenden Erfordernissen angeordnet, um die Herzfrequenz unter dem Level des HF_{LTP1} zu halten. Zusammenfassend werden die getroffenen Annahmen in Tabelle 7-8 zusammengestellt.

Tabelle 7-8 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 7-9 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 7-8 und Tabelle 7-10 ist erkennbar, dass durch die Annahme der zuvor erklärten Zeiten und ohne die „Persönlich bedingten Unterbrechungen“ und den „Eigenen 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 7-10 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 7-11 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	

7.3.3 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 angenommenen 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.³⁷⁸

³⁷⁸ Der Vergleich des Herzfrequenzverlaufs auf Basis der groben (stündlichen) und detaillierten (fünfminütigen) Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag ist im Anhang in Bild 9-80 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							4,5	5	3	5	4,5	0	1,5												
121 Vorbereiten Mauern				5	5								2	2,5	3	5	5		3			3	4	4	4
126 Vorbereiten allgemein												1											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	2				1	1		1			1	
241 Persönlich bedingte Unterbrechung											1													1	
111 Mauern							23,5																	36	
121 Vorbereiten Mauern							14,5																	9	
126 Vorbereiten allgemein							1																	1	
127 Herrichten							15																	0	
128 Aufräumen							0																	0	
129 Besprechung							2																	4	
211 Ablaufbedingte Unterbrechung							2																	2	
221 Störungsbedingte Unterbrechung							1																	1	
231 Pause							0																	0	
232 Eigene Pause							0																	6	
241 Persönlich bedingte Unterbrechung							1																	1	

Bild 7-6 Ausschnitt Tätigkeitsverteilung in den einzelnen Arbeitsstunden im Intervall von fünf Minuten³⁷⁹

Durch diese detailliertere Verteilung der Tätigkeitsanteile ergeben sich nur noch geringfügige Verschiebungen der Anteile der jeweiligen Tätigkeitsgruppen. Die endgültige Verteilung ist in der Tabelle 7-12 dargestellt.

Tabelle 7-12 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.

³⁷⁹ Die Verteilung der Tätigkeiten in allen Stunden ist in Anhang A.1.12 ersichtlich.

7.3.4 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:

$$L_{AT,9Std} = T_{Mauern} [Std] * LW_{N,Mauern} \left[\frac{m^3}{Std} \right] = \frac{295,5}{60} * 0,72 = 3,546 m^3 \quad (7.11)$$

Dies entspricht einer Wandfläche von 14,18 m² bei einer 25 cm starken Hochlochziegelwand.

7.3.5 Veränderung der Arbeitszeit

Um nun den Leistungsverlust einer verlängerten Arbeitszeit darzustellen, ist es erforderlich, die Arbeitszeit auf die geplanten Arbeitszeiten zu verändern.

7.3.5.1 Verlängerung der Arbeitszeit um eine Stunde

Es erfolgt dabei analog zum Vorgehen in Kapitel 7.3.2 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 wirklichkeitstreuues Abbild der Tätigkeitsverteilung zu erzielen:

Tabelle 7-13 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:

$$L_{AT,10 \text{ Std}} = T_{\text{Mauern}} [\text{Std}] * LW_{N,\text{Mauern}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Std}} \right] = \frac{332,5}{60} * 0,72 = 3,99 \text{ m}^3 \quad (7.12)$$

Dies entspricht einer Wandfläche von 15,96 m² an einem Arbeitstag mit 11 Stunden Brutto-Arbeitszeit.

7.3.5.2 Verlängerung der Arbeitszeit um zwei Stunden³⁸⁰

Wird die Tagesarbeitszeit um eine weitere Stunde verlängert, so ergibt sich in Analogie die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 7-14 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 ($L_{AT,11\text{Std}}$) ermittelt:

$$L_{AT,11 \text{ Std}} = T_{\text{Mauern}} [\text{Std}] * LW_{N,\text{Mauern}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Std}} \right] = \frac{369,5}{60} * 0,72 = 4,434 \text{ m}^3 \quad (7.13)$$

Diese entspricht einer Wandfläche von 17,74 m² an einem Arbeitstag mit 12 Stunden Brutto-Arbeitszeit.

³⁸⁰ 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.

7.3.5.3 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 7-15 Vergleich der Tagesarbeitsleistung

Brutto-Arbeitszeit [h]	Zeit für Mauern [min]	Leistung [m³]	Extrapolierte Leistung [m³]	Differenz [m³]	Leistungsänderung [%]
10	295,5	3,546			
11	332,5	3,960	3,940 ³⁸¹	+ 0,02 ³⁸²	+ 0,56 % ³⁸³
12	354,5	4,434	4,334 ³⁸⁴	+ 0,10 ³⁸⁵	+ 2,82% ³⁸⁶

7.3.5.4 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:

$$LW_{Brutto,Mauern} = LW_{Netto,Mauern} * Anteil_{Mauern} * \frac{T_{Brutto}}{T_{Netto}} \quad (7.14)$$

Durch Verwendung der oben genannten Arbeitszeiten, dem Anteil der Mauerwerksarbeiten von 49,25 % und einem Netto-Leistungswert von 0,72 m³/Std. ergibt sich ein Brutto-Leistungswert von 0,394 m³/Std.

Die Leistung eines Arbeitstages mit 10 Stunden auf der Baustelle ergibt:

$$L_{AT,10 h} = L_{AT,9 Std} = LW_{Brutto,Mauern,9} * AZ_{Netto} = 0,394 * 9 = 3,546 m^3 \quad (7.15)$$

³⁸¹ Die extrapolierte Leistung ergibt sich aus $3,546 / 9 * 10 = 3,94 m^3/AT$.

³⁸² Die Differenz der beiden Leistungswerte ergibt $3,94 - 3,96 = -0,02 m^3$.

³⁸³ 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 $111,11 - 111,67 = -0,56 \%$.

³⁸⁴ Die extrapolierte Leistung ergibt sich aus $3,546 / 9 * 11 = 4,334 m^3/AT$.

³⁸⁵ Die Differenz der beiden Leistungswerte ergibt $4,334 - 4,434 = -0,10 m^3$.

³⁸⁶ 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 7-16 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

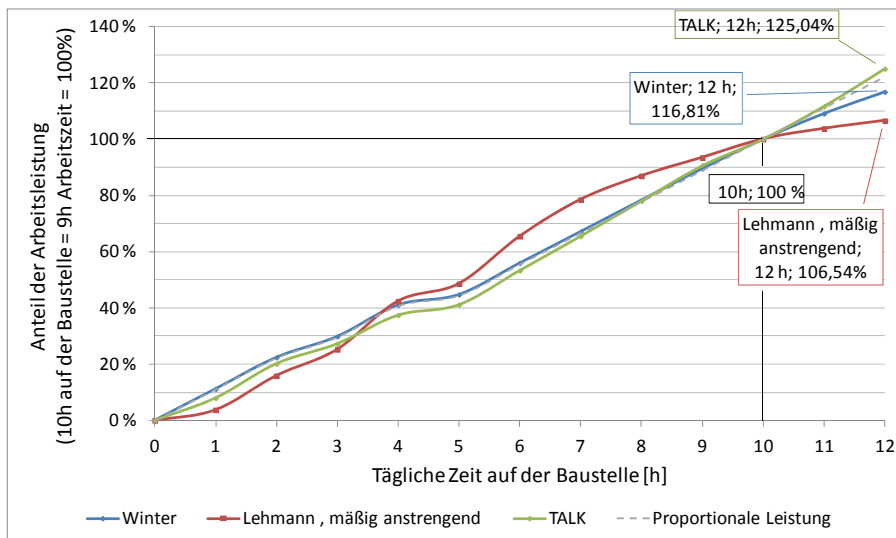
Tabelle 7-17 Leistungsverlustermittlung nach Winter

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 7-18 Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung

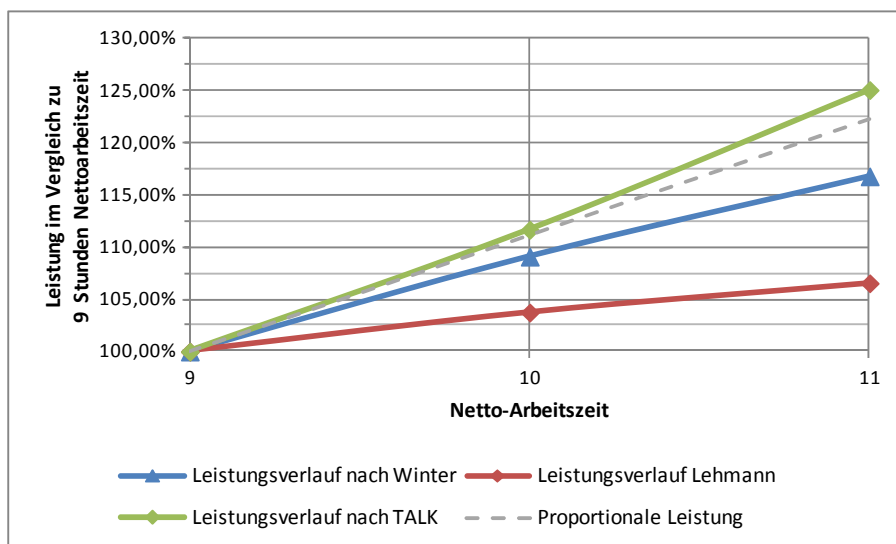
Brutto-Arbeitszeit	Netto-Arbeitszeit	Leistungsverlust nach Lehmann	Leistungsverlust nach Winter	Leistungsänderung nach TALK
[h]	[Std]	[%]	[%]	[%]
10	9	0,00	0,00	0,00
11	10	- 7,37	- 2,66	+ 0,56
12	11	- 15,68	- 6,73	+ 2,82

Der Vergleich in Tabelle 7-18 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 7-7 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 7-7 Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung – Darstellungsweise nach Lehmann



Die in Bild 7-8 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 7-8 Detailausschnitt aus Vergleich der Ergebnisse der Leistungsverlustermittlung

Die hier dargestellten Ergebnisse in Tabelle 7-18, Bild 7-7 und Bild 7-8 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.

8 Diskussion der Datenerhebung zur Anwendung der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung

Wie bei jedem Modell mussten bei der Entwicklung der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve bei den Baustelluntersuchungen verschiedene Einschränkungen des Erhebungsumfanges vorgenommen werden. Diese sollen an dieser Stelle diskutiert werden, um die Einsatzgrenzen der hier vorgestellten Daten für die weitere Anwendung des Modells aufzuzeigen.

Als externe Einflussfaktoren werden bei der Untersuchung alle Faktoren angesehen, die weder den physiologischen Einflussfaktoren des Bauarbeiters noch den arbeitsablaufabhängigen Einflussfaktoren der Tätigkeiten zugeordnet werden können. Eine diesbezügliche Darstellung nach Hofstadler wurde bereits einleitend in Bild 3-1 gezeigt. In Bild 8-1 sind die jeweiligen, bei der Untersuchung berücksichtigten Einflussfaktoren gekennzeichnet. Die Art der Berücksichtigung wird nachfolgend beschrieben.

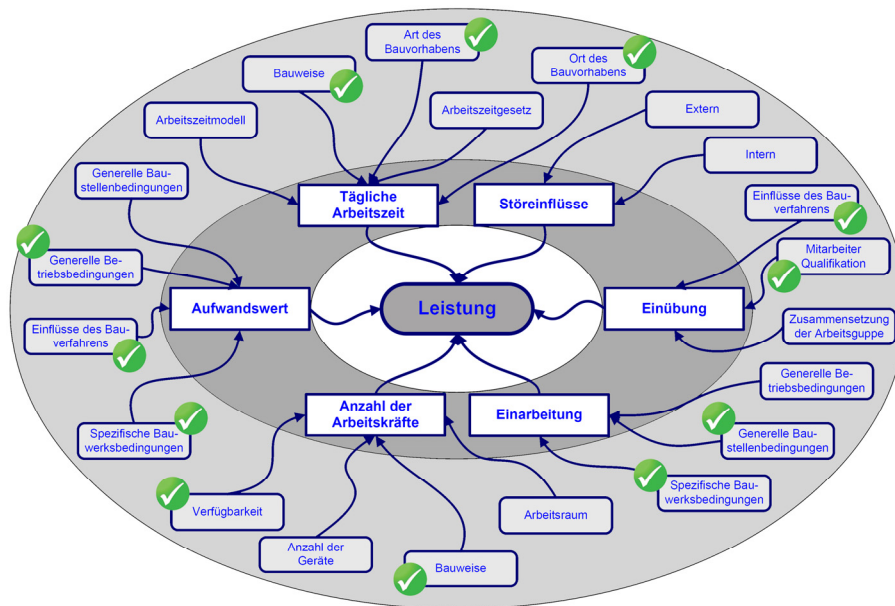


Bild 8-1 Berücksichtigte Einflussfaktoren auf die Leistung³⁸⁷

³⁸⁷ Weiterentwickelt aus Hofstadler, C.; Franzl, G.: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb, VÖBV, Ratschendorf 2011, S. 277.

8.1 Externe erhobene Einflussfaktoren

Die in Bild 8-1 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 Partien 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.³⁸⁸
 - ♦ Spezifische Bauwerksbedingungen (Bauvertrag/Termin): Aus den Gesprächen mit Bauleitern und Polieren ergab sich, dass zum Zeitpunkt der Untersuchung kein erhöhter Termindruck vorhanden

³⁸⁸ 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 Herzog bei Beobachtungen von Schalungsarbeiten angewandt. Herzog, 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.

8.2 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.³⁸⁹

³⁸⁹ 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.

8.3 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.³⁹⁰ 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. Dazu gehören, beispielsweise die Bewehrungs-, Betonier- und Schalungsarbeiten und die dazugehörigen Vorbereitungsarbeiten.

Vergleiche zu diesen Gewerken, die nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit in Ansätze übernommen wurden, belegen diese zuvor getätigten Aussagen.

³⁹⁰ Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 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.³⁹¹

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.

9.2 Ausblick

Im Zuge der Bearbeitung des Forschungsprojektes ergaben sich weitere mögliche Untersuchungsbereiche, die auf den Erkenntnissen der Untersuchungsdurchführung bzw. den Ergebnissen der Datenauswertung aufbauen.

9.2.1 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.

9.2.2 Betrachtung der Arbeitsgruppen

Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Leistungsbetrachtungen wurden immer mit dem Fokus auf den die Haupttätigkeit erbringenden Bauarbeiter ausgeführt. Das Zusammenspiel zwischen den Baufach- und Bauhilfsarbeitern wurde dabei zwar ebenfalls aufgenommen und analysiert, für eine genauere Untersuchung über die Auswirkungen dieser

³⁹¹ 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.

Zusammenhänge fehlten jedoch eine ausreichende Anzahl von Beobachtungen, welche genau diesen Zusammenhang betrachten.

9.2.3 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.

9.2.4 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 Leistungsoutput möglich wäre. Dies vor allem unter dem Aspekt, dass die Verteilung der Pausen derzeit, wie in Bild 9-1 abgebildete vorgefunden wurde.

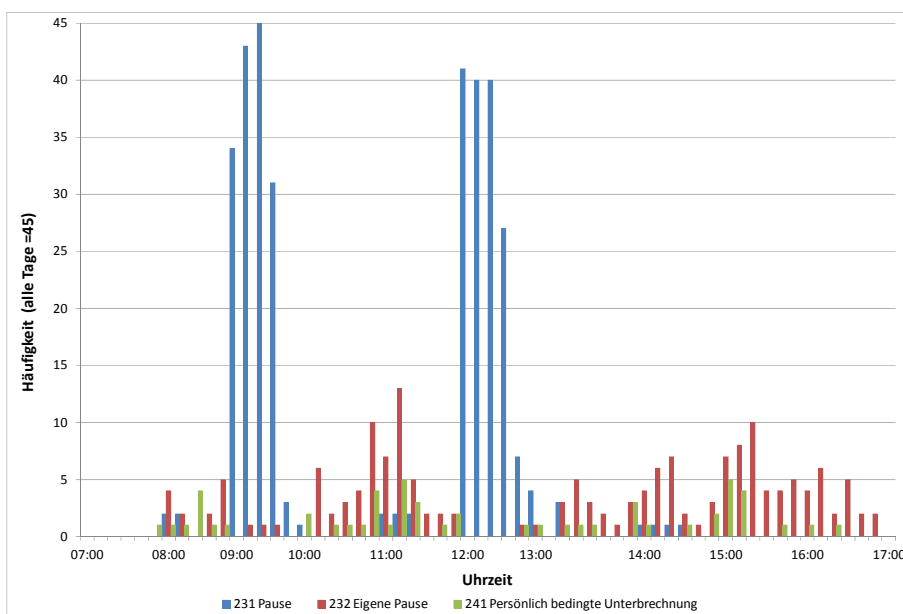


Bild 9-1 Verteilung der Erholungszeiten im Mauerwerksbau (N=45)

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 Arbeitspsychologen³⁹², 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.

³⁹² Vgl. Kallus, W.: Einführung in die Fächer der Psychologie Anwendungsbereiche: Arbeitspsychologie, Organisationspsychologie, Umweltpsychologie, Wirtschaftspsychologie, 11.10.2008.

9.2.5 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.³⁹³

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 Leistungsausput so minimal wie möglich gehalten werden kann.

In diesem Zusammenhang wäre auch die Untersuchung der Arbeitspartien als eine Leistungseinheit sinnvoll, wenn hier unterschiedliche Partienzusammensetzungen 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.

³⁹³ Vgl. 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).

A.1 Anhang

A.1.1 Probandeninformation

Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung

Version 1.1 vom 01.03.2008

Patienteninformation und Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Studie

ENTSCHEIDUNGSGRUNDLAGEN FÜR DIE ARBEITSZEITGESTALTUNG

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen ärztlichen Gespräch.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie hat keine nachteiligen Folgen für Ihre medizinische Betreuung.

Studien sind notwendig, um verlässliche neue Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung einer Studie ist jedoch, daß Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch mit Ihrem Betreuer sorgfältig durch und zögern Sie nicht Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als Teilnehmer an dieser Studie im klaren sind.

Zu dieser Studie, sowie zur Patienteninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Der Zweck dieser Prüfung ist neben der Arbeitsplatzbeobachtung auch Körperkennwerte zu erheben und so einen Zusammenhang zwischen Arbeitsleistung und der durchzuführenden Arbeit zu entwickeln. Die begleitenden Ergometertests sind notwendig um die persönliche Leistungsfähigkeit der Probanden zu ermitteln und die unterschiedlichen Probanden miteinander vergleichen zu können.

Seite 1 von 5

Unterschrift des Patienten

2. Wie läuft die Studie ab?

Die Studie beginnt mit einem Ergometertest im Labor, der an allen Probanden durchgeführt wird, um die Ergebnisse, die durch die persönliche Leistungsfähigkeit sehr unterschiedlich ausfallen werden, miteinander vergleichen zu können.

Zusätzlich zu diesem Ergometertest sollen auch Maximalkrafttests durchgeführt werden, um auch in diesem Bereich, der vor allem das Heben und Tragen betrifft, eine Möglichkeit des Vergleichs von unterschiedlichen Arbeitern zu ermöglichen.

In der anschließenden Baustellenbeobachtung werden die Tätigkeiten der ausgewählten Bauarbeiter neben der Vorortbeobachtung auch per Kamera aufgezeichnet, um eine spätere, vertiefende Auswertung der erfolgten Tätigkeiten durchführen zu können.

Ausgewertet werden hierbei die erbrachte Leistung, die Verteilung der Tätigkeitszeiten und die auftretenden Störungen, die den Bauablauf behindern. Da die Bilder mit einem Zeitindex versehen sind, ist es möglich, die Auswertung auch nach der Dauer der Arbeitszeit und der Uhrzeit zu unterscheiden.

Neben den Leistungs- und Tätigkeitsbeurteilungen werden auch Körperkennwerte aufgezeichnet. Dabei handelt es sich um Pulsmessung, Temperaturmessung an der Körperoberfläche und in Intervallen im Innenohr. Zusätzlich wird zu ausgewählten Zeitpunkten auch der Lactat-Wert gemessen. Diese Messung soll vor allem bei statischer Arbeit zusätzliche Erkenntnisse über den Belastungsgrad liefern.

Vervollständigt wird der Untersuchungsumfang der medizinischen Messungen durch die Aufnahmen eines Bewegungsmessers.

Hier werden über das Gerät die einzelnen Teilbewegungen über den gesamten Arbeitstag aufgezeichnet und der Energieumsatz bestimmt. Die Aufnahmen dieses Gerätes sollen zusätzliche Aufschlüsse und eine weitere einfache Untersuchungsmöglichkeit bieten, um für nachfolgende Projekte eine Vergleichsmöglichkeit durch ein sehr einfaches und in großer Zahl anwendbares Aufnahmeverfahren zu liefern.

Zusätzlich erfolgt die Aufnahme des Klimasummenmaßes, um die Einflüsse der Klimabelastung einerseits zu beurteilen und andererseits in Vergleichen zwischen unterschiedlichen Baustellen bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen Vergleiche anstellen zu können.

Weitere Erhebungen sind mit Reaktions- und Konzentrationstest zu ausgewählten Zeitpunkten (vor / nach Pausen, zu Arbeitsbeginn / -ende) geplant, um beispielsweise erhöhte Unfallzahlen im Baugewerbe nach Pausen zu belegen.

Hinsichtlich der Pulsmessung ist vorgesehen, dass alle Probanden Pulsmesser auch außerhalb der Arbeitszeit tragen, um Aufzeichnungen über das Freizeitverhalten zu erhalten. Es wird jedoch zusätzlich mittels eines täglichen Kurzfragebogens auf die Freizeitaktivitäten und das Ernährungsverhalten am Vortag eingegangen.

Ebenso soll in dieser Befragung das subjektive Empfinden der Bauarbeiter zu ihrem Belastungsgrad während der einzelnen Tätigkeiten erhoben werden.

Die notwendigen Baustellenbeobachtungen erfolgen zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten im Kalenderjahr. Dadurch können klimabedingten Änderungen dokumentiert werden und zusätzlich auch Erkenntnisse über eventuelle körperliche Schwankungen während eines Jahres erhoben werden.

Den Abschluss des Untersuchungsjahres bildet ein weiterer Ergometertest, der die Leistungsfähigkeit am Ende der Saison beurteilen soll. Durch diesen Test und den Aufzeichnungen aus dem ersten Ergometertest sowie den gemessenen Werten während der Baustellenbeobachtung kann eine Leistungsfähigkeitsbeurteilung durchgeführt werden.

Um auf spezielle Arbeitstätigkeiten noch weiter einzugehen ist geplant, auch noch eine spirographische Messung bei ausgewählten Tätigkeiten durchzuführen.

Diese Messung soll nach Abschluss einer Vorauswertung der Baustellenbeobachtung erfolgen. Geplant sind ausgewählte Testreihen, die das Ergebnis der Baustellenbeobachtung nur noch weiter verdichten und die Grundlage für die Hochrechnung des Arbeitsenergieverlaufs bilden sollen.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Es ist möglich, daß Sie durch Ihre Teilnahme an dieser Studie keinen direkten Nutzen für Ihre Gesundheit ziehen.

Durch Ihre Mitarbeit können Sie allerdings mehr über Ihren Gesundheitszustand erfahren und nach Abschluss der Bewertung könne Ihnen Hinweise zur Verbesserung Ihres Arbeitsablaufes gegeben werden.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen im Rahmen der wissenschaftlichen Bearbeitung dazu führen die Arbeitsbedingungen für Bauarbeiter zu verbessern.

4. Gibt es Risiken, Beschwerden und Begleiterscheinungen?

Es können die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Maßnahmen zu Beschwerden führen (z.B. Schmerzen bei der Blutentnahme).

Da außer der Blutabnahme keine weiteren Untersuchungen stattfinden und die Belastungen im Rahmen der Studie nicht Ihre Arbeitsbelastung übersteigen ist nicht davon auszugehen, dass durch diese Studie erhöhte Risiken oder Beschwerden auftreten werden.

5. Was ist zu tun beim Auftreten von Symptomen, Begleiterscheinungen und/oder Verletzungen?

Sollten im Verlauf der Studie irgendwelche Symptome, Begleiterscheinungen oder Verletzungen auftreten, müssen Sie diese Ihrem Arzt mitteilen, bei schwerwiegenden Begleiterscheinungen umgehend, ggf. telefonisch (Telefonnummern, etc. siehe unten).

6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet ?

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden ohne daß Ihnen dadurch irgendwelche Nachteile für Ihre weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ihr Prüfartz wird Sie über alle neuen Erkenntnisse, die in bezug auf diese Studie bekannt werden, und für Sie wesentlich werden könnten, umgehend informieren. Auf dieser Basis können Sie dann Ihre Entscheidung zur weiteren Teilnahme an dieser Studie neu überdenken.

Es ist aber auch möglich, daß Ihr Prüfarzt entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen;
- b) Ihr behandelnder Arzt hat den Eindruck, daß eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist;

7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet ?

Sofern gesetzlich nicht etwas anderes vorgesehen ist, haben nur die Prüfer und deren Mitarbeiter Zugang zu den vertraulichen Daten, in denen Sie namentlich genannt werden. Diese Personen unterliegen der Schweigepflicht.

Die Weitergabe der Daten erfolgt ausschließlich zu statistischen Zwecken und Sie werden ausnahmslos darin nicht namentlich genannt. Auch in etwaigen Veröffentlichungen der Daten dieser Studie werden Sie nicht namentlich genannt.

8. Entstehen für die Teilnehmer Kosten? Gibt es einen Kostenersatz oder eine Vergütung?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Studie entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten.

9. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie stehen Ihnen Ihr Prüfarzt und seine Mitarbeiter gern zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als Patient und Teilnehmer an dieser Studie betreffen, werden Ihnen gerne beantwortet.

Name der Kontaktperson: Dieter Schlagbauer

Ständig erreichbar unter: 0650 / 300 71 73

Name der Kontaktperson:

Ständig erreichbar unter:

Name der Kontaktperson:

Ständig erreichbar unter:

10. Einwilligungserklärung

Name des Patienten in Druckbuchstaben:

Geb.Datum: Code:

Ich erkläre mich bereit, an der Studie Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung teilzunehmen.

Ich bin von Herrn/Frau *Dipl.-Ing. Schlagbauer* ausführlich und verständlich über den Untersuchungsablauf, mögliche Belastungen und Risiken, sowie über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie, sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser Patientenaufklärung und Einwilligungserklärung, die insgesamt 5 Seiten umfaßt gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Prüfarzt verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zur Zeit keine weiteren Fragen mehr.

Ich werde den ärztlichen Anordnungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne daß mir daraus Nachteile für meine weitere medizinische Betreuung entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, daß meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden. Um die Richtigkeit der Datenaufzeichnung zu überprüfen, dürfen Beauftragte des Auftraggebers und der zuständigen Behörden beim Prüfarzt Einblick in meine personenbezogenen Krankheitsdaten nehmen.

Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes beachtet.

Eine Kopie dieser Patienteninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Studienleiter.

.....
(Datum und Unterschrift des Patienten)

.....
(Datum, Name und Unterschrift des Verantwortlichen)

(Der Patient erhält eine unterschriebene Kopie der Patienteninformation und Einwilligungserklärung, das Original verbleibt im Studienordner des Prüfarztes.)

A.1.2 Energieumsatz bei Freizeitaktivitäten

Tabelle 9-1 Energieumsatz bei Sportaktivitäten

Energieverbrauch bei den Sportarten	
Die folgende Übersicht gibt den geschätzten Energieumsatz pro Stunde bei ausgewählten Sportarten an. Die Berechnung wurde exemplarisch für eine 67 Kilogramm schwere Person erstellt.	
Sportart	Kalorien
Volleyball	200 Kilokalorien
Radfahren, 8 - 12 Kilometer pro Stunde	260 Kilokalorien
Wandern auf ebenem bis hügeligem Gelände	320 Kilokalorien
Radfahren, 15 - 18 Kilometer pro Stunde	400 Kilokalorien
Tennis	440 Kilokalorien
Brust- oder Kraul-Schwimmen in mittlerem Tempo	480 Kilokalorien
Skilanglauf in der Ebene in mittlerem Tempo	480 Kilokalorien
Ballspiele wie Fußball oder Handball	560 Kilokalorien
Walking	560 Kilokalorien
Brust- oder Kraul-Schwimmen in hohem Tempo	640 Kilokalorien
Jogging, 12 Kilometer pro Stunde	840 Kilokalorien
Skilanglauf in hügeligem Gelände in hohem Tempo	1120 Kilokalorien

A.1.3 Datenanalyse zur Bestimmung des HF_{LTP1}

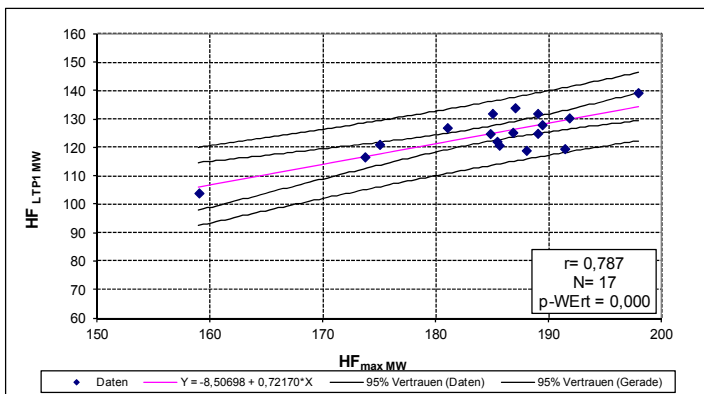


Bild 9-2 Auswertungsdiagramm für HF_{max} und HF_{LTP1} der untersuchten Studien

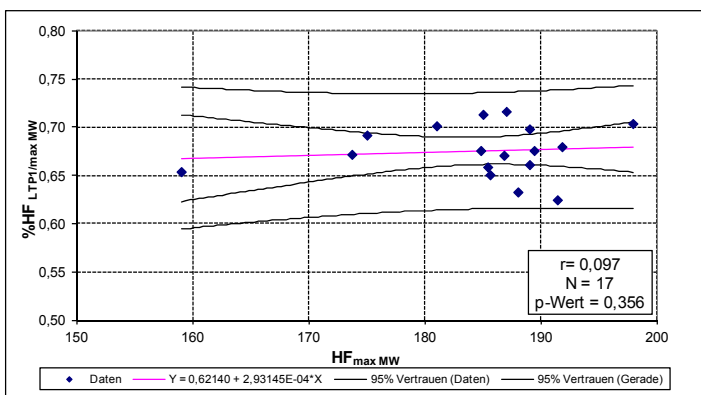


Bild 9-3 Auswertungsdiagramm für HF_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$ der untersuchten Studien

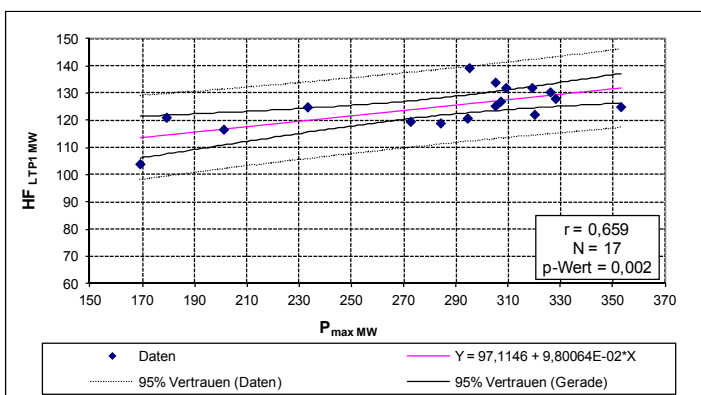


Bild 9-4 Auswertungsdiagramm für P_{max} und HF_{LTP1} der untersuchten Studien

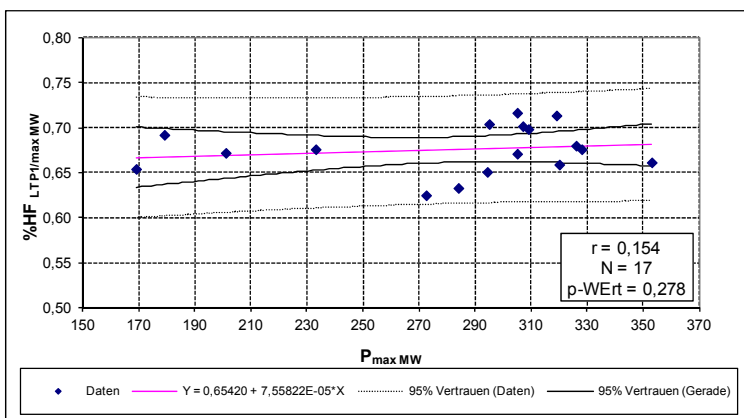


Bild 9-5 Auswertungsdiagramm für P_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$ der untersuchten Studien

Tabelle 9-2 Ergebnisse der multiplen Regression für HF_{max} , P_{max} und HF_{LTP1}

Konstante	HF_{max} MW	P_{max} MW	N	R	p-Wert
2,420	0,635	0,018	17	0,791	0,001

Tabelle 9-3 Ergebnisse der multiplen Regression für HF_{max} , P_{max} und $\%HF_{LTP1/max}$

Konstante	HF_{max} MW	P_{max} MW	N	R	p-Wert
0,679	-0,00017	0,00010	17	0,158	0,839

A.1.4 Daten der Spiroergometrie

Tabelle 9-4 Persönliche physiologische Daten der Bauarbeiter

Proband Nr.	HF_{max} [S/min]	HF_{LTP1} [S/min]	HF_{LTP2} [S/min]	P_{max} [Watt]	P_{LTP1} [Watt]	P_{LTP2} [Watt]	$\dot{V}O_{2max}$ [S/min]	$\dot{V}O_{2LTP1}$ [S/min]	$\dot{V}O_{2LTP2}$ [S/min]
TU 1	198	136	170	252	67	164	3,59	1,45	2,14
TU 2	164	122	140	215	112	172	3,13	1,99	2,97
TU 3	180	119	157	300	121	222	3,84	1,80	2,83
TU 4	177	155	159	260	112	190	3,56	1,90	2,61
TU 5	205	110	147	245	52	164	3,44	1,32	2,50
TU 6	190	116	149	230	66	144	3,42	1,20	2,33
TU 7	198	124	160	275	82	186	3,27	1,20	2,32
TU 8	212	125	169	245	70	162	3,44	1,56	2,49
TU 9	169	117	137	275	111	191	4,34	1,95	3,21
TU 10	153	124	137	230	84	155	3,97	2,23	2,75
TU 11	149	89	99	200	51	129	2,74	1,17	1,75
TU 12	178	110	130	170	52	115	2,80	1,39	2,12
TU 13	192	103	148	245	66	161	3,55	1,33	2,35
TU 14	190	107	151	215	54	144	3,92	1,04	2,21
TU 15	182	114	140	200	54	131	3,71	1,22	2,27
TU 16	187	116	154	230	69	161	3,86	1,29	2,39
TU 17	188	124	160	275	115	203	4,60	2,34	3,42
TU 18	191	118	165	215	67	158	2,96	1,53	2,65
TU 19	195	144	176	275	81	188	4,28	1,89	3,03
TU 20	182	123	159	275	80	192	4,41	2,03	3,30
TU 21	191	119	164	245	52	119	3,37	1,37	2,56
\bar{x}	184,33	119,76	151,00	242	77	164	3,63	1,58	2,58
SD	15,30	13,53	16,64	31,32	23,14	27,49	0,50	0,37	0,42

A.1.5 Herzfrequenzwerte der Bauarbeiter

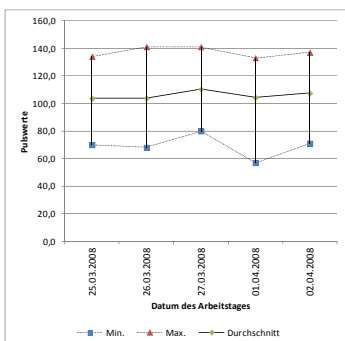


Bild 9-6 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 1

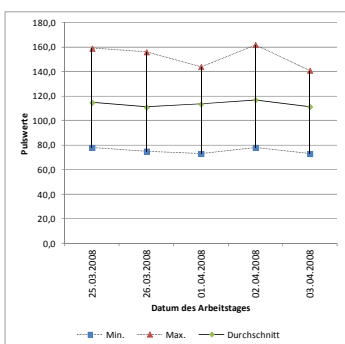


Bild 9-7 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 2

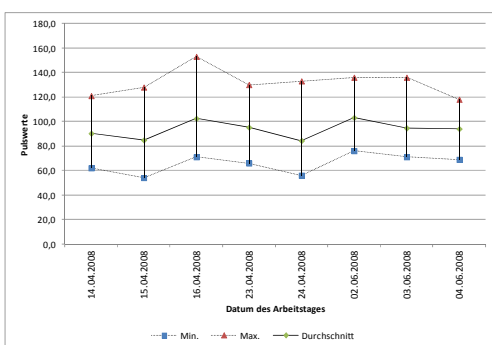


Bild 9-8 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 3

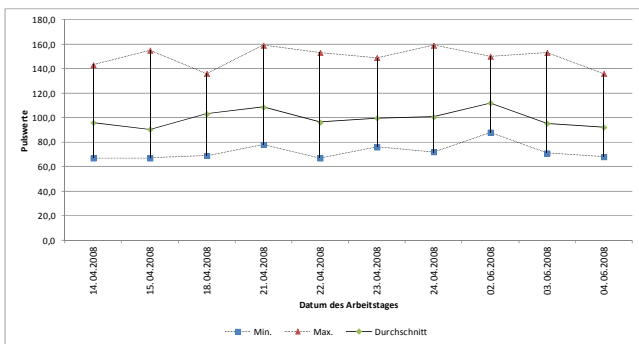


Bild 9-9 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 4

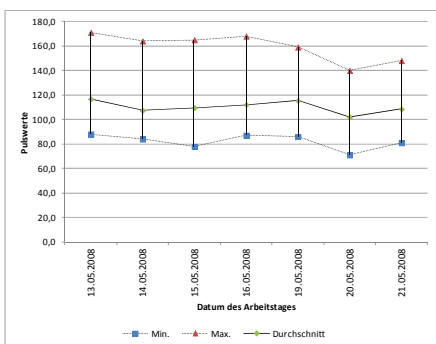


Bild 9-10 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 7

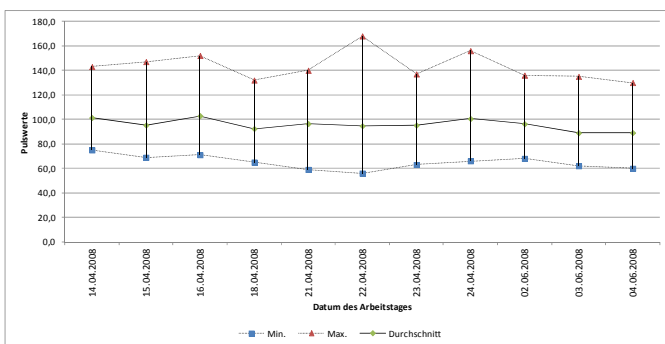


Bild 9-11 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 8

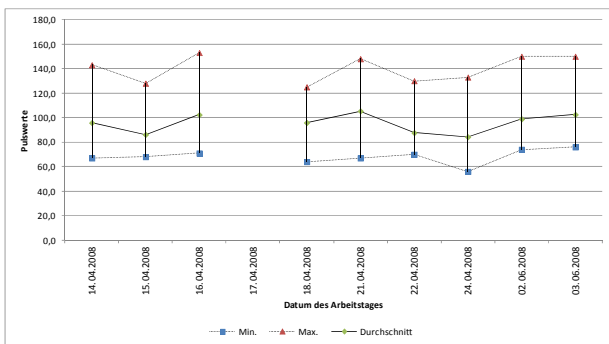


Bild 9-12 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 9

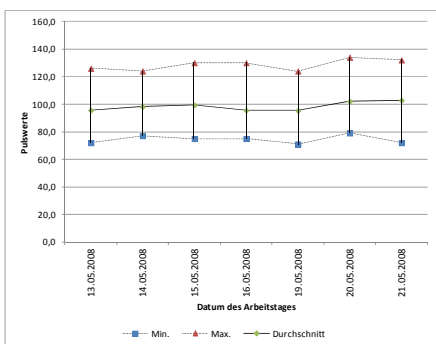


Bild 9-13 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 10

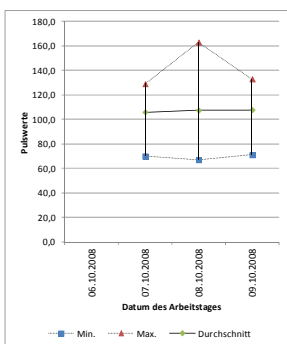


Bild 9-14 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 11

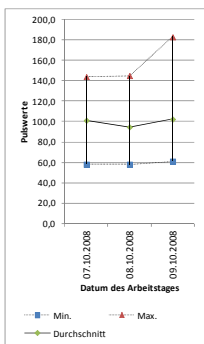


Bild 9-15 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 12

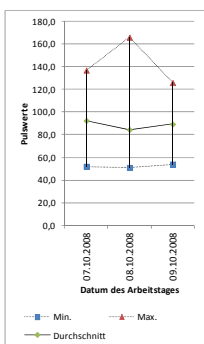


Bild 9-16 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 13

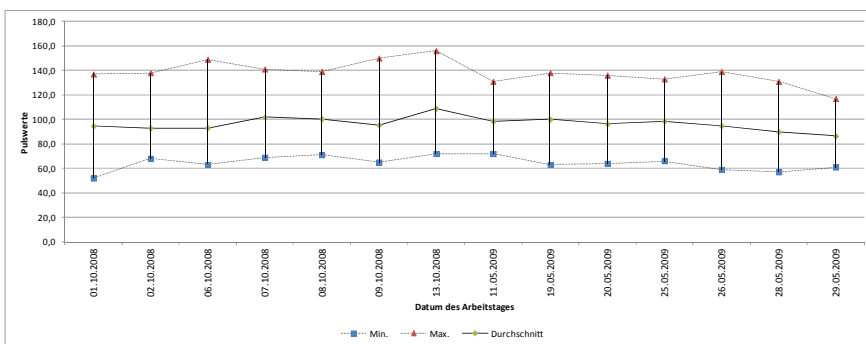


Bild 9-17 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 14

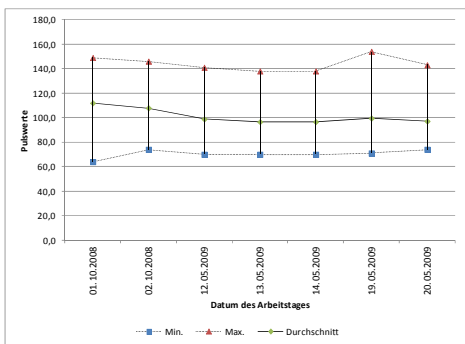


Bild 9-18 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 15

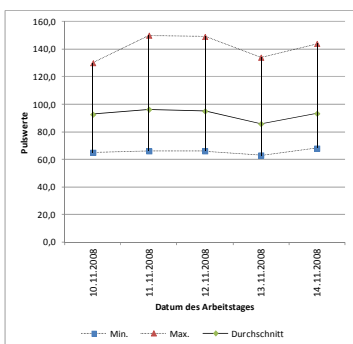


Bild 9-19 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 16

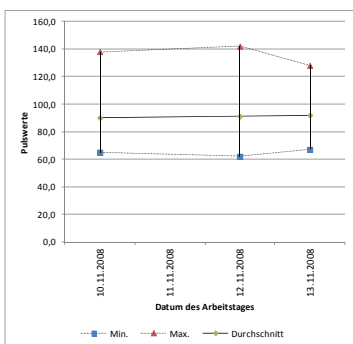


Bild 9-20 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 17

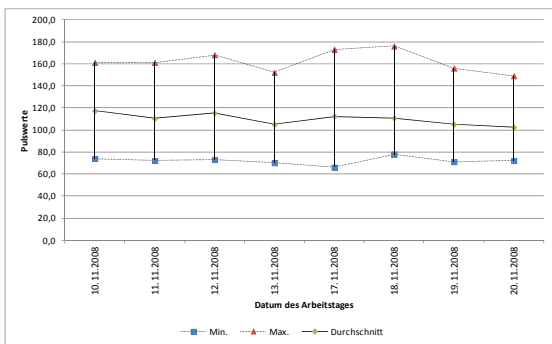


Bild 9-21 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 18

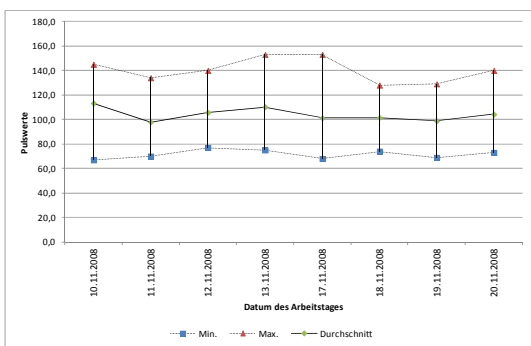


Bild 9-22 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 19

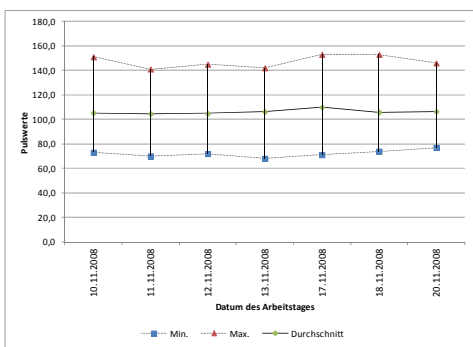


Bild 9-23 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 20

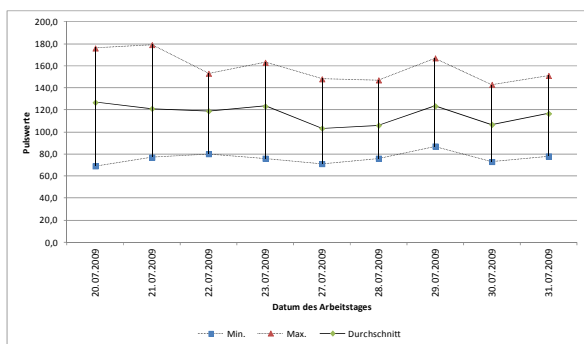


Bild 9-24 Mittlere, maximale und minimale Herzfrequenz am jeweiligen Arbeitstag Bauarbeiter TU 21

A.1.6 Klimadatenanalyse

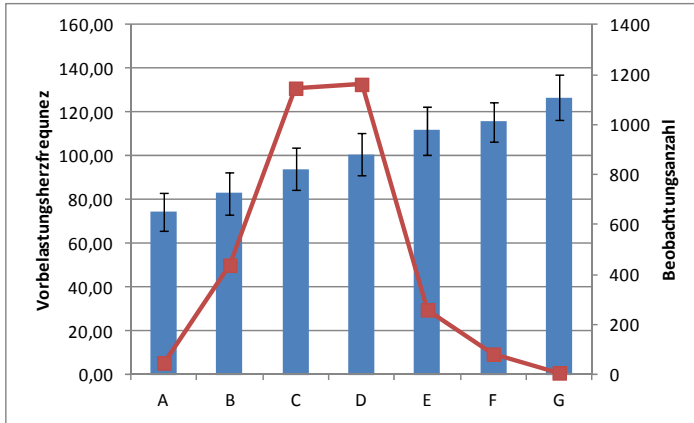


Bild 9-25 Vorbelastungsbereiche und Datenumfang

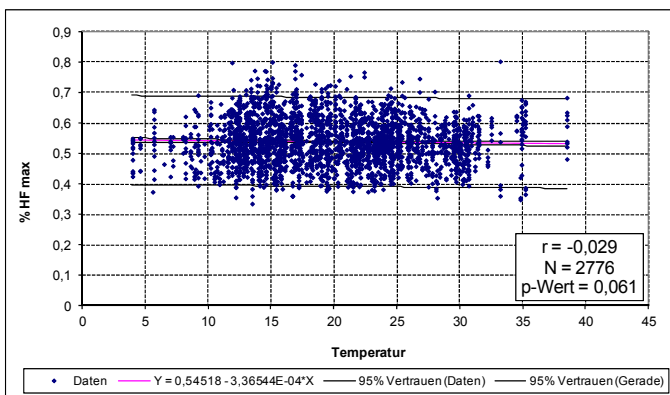


Bild 9-26 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur

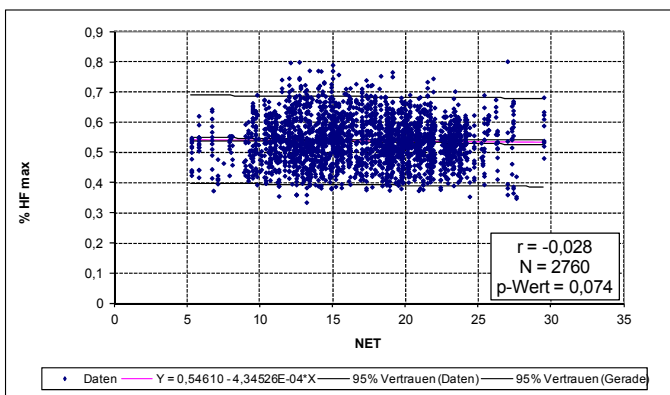


Bild 9-27 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET

$\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur in den unterschiedlichen Vorbelastungsbereichen

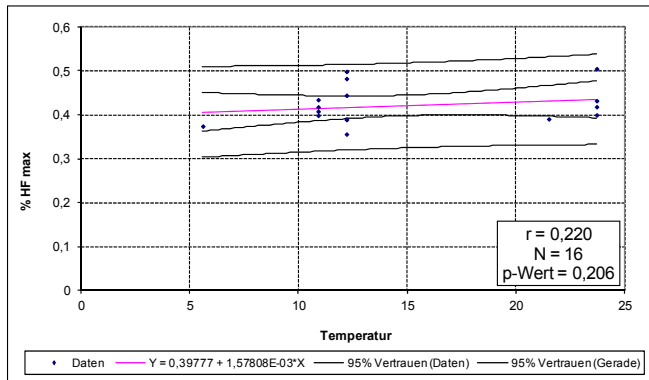


Bild 9-28 $\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich A

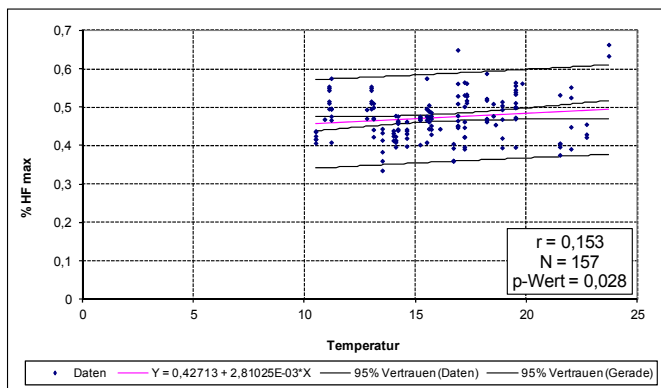


Bild 9-29 $\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich B

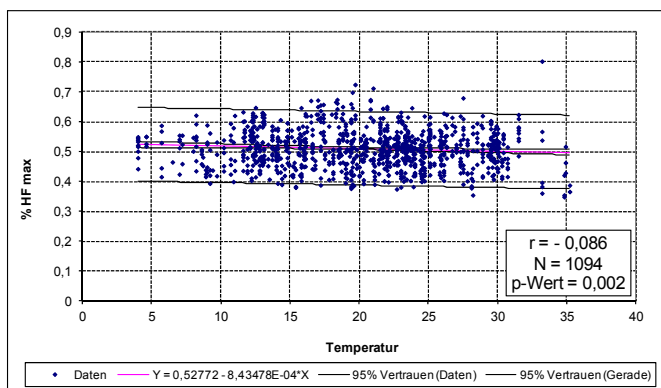


Bild 9-30 $\%HF_{max}$ in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich C

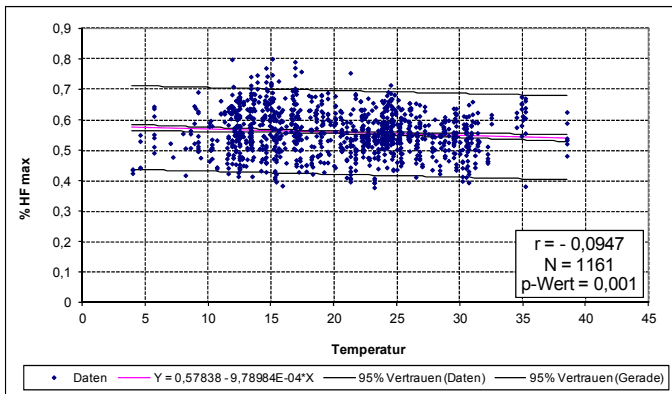


Bild 9-31 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich D

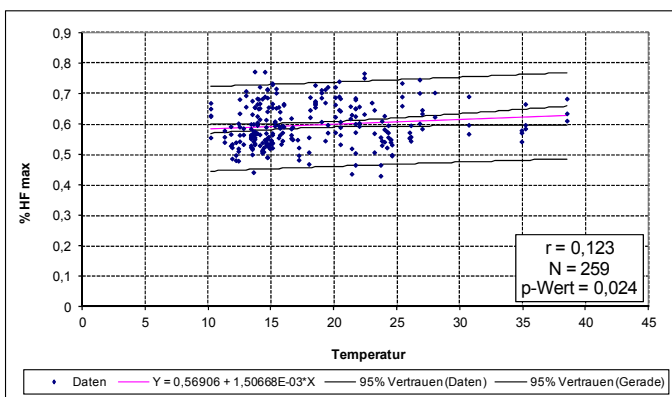


Bild 9-32 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich E

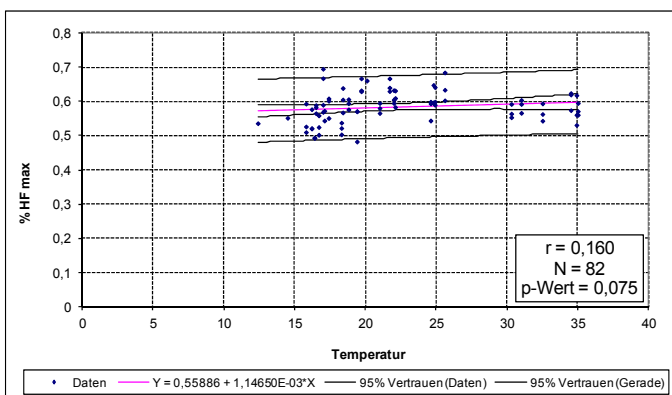
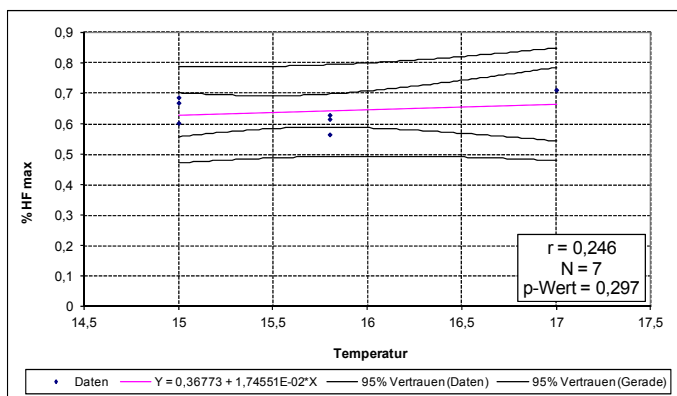


Bild 9-33 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich F

Bild 9-34 %HF_{max} in Abhängigkeit der Temperatur für Vorbelastungsbereich G

%HF_{max} in Abhängigkeit der NET in den unterschiedlichen Vorbelastungsbereichen

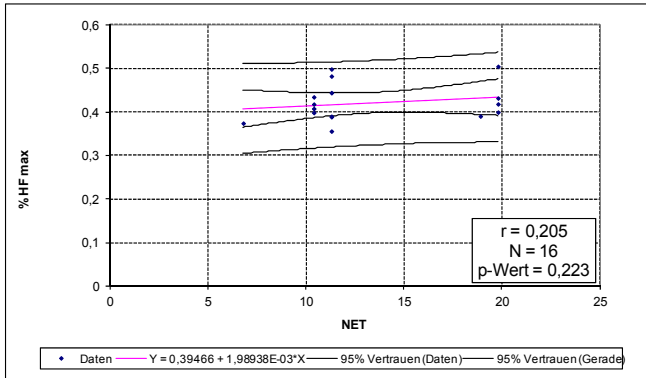


Bild 9-35 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich A

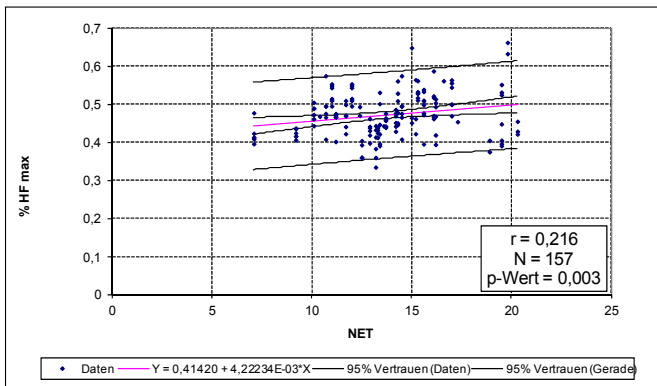


Bild 9-36 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich B

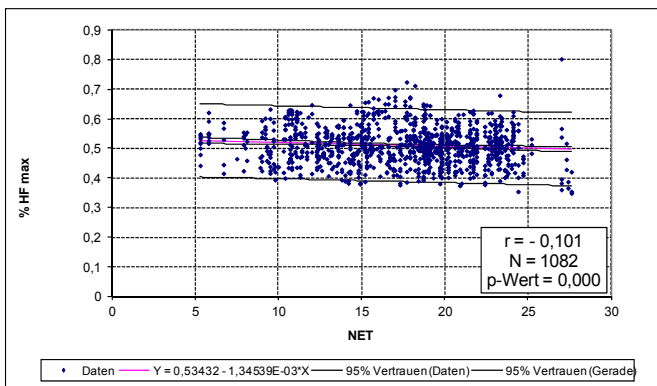


Bild 9-37 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich C

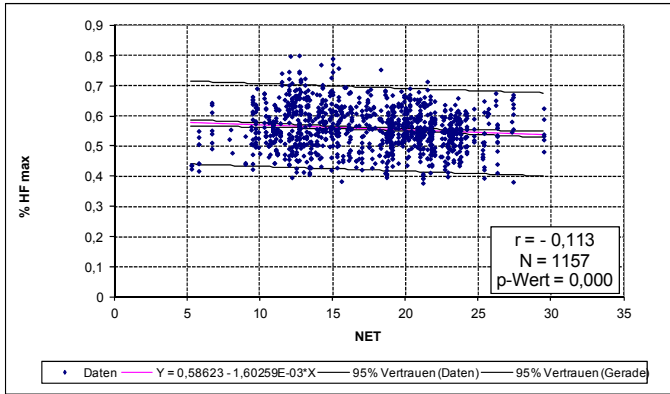


Bild 9-38 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich D

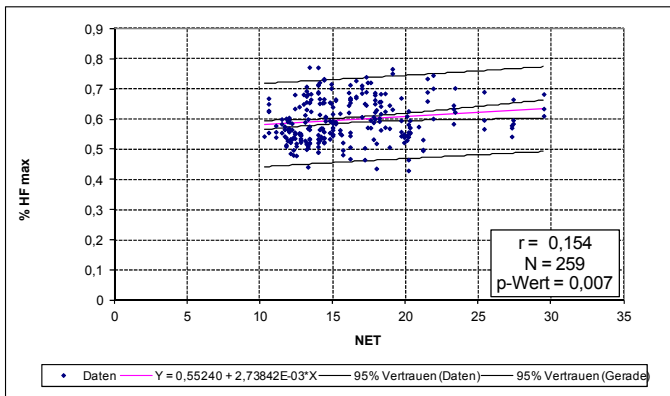


Bild 9-39 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich E

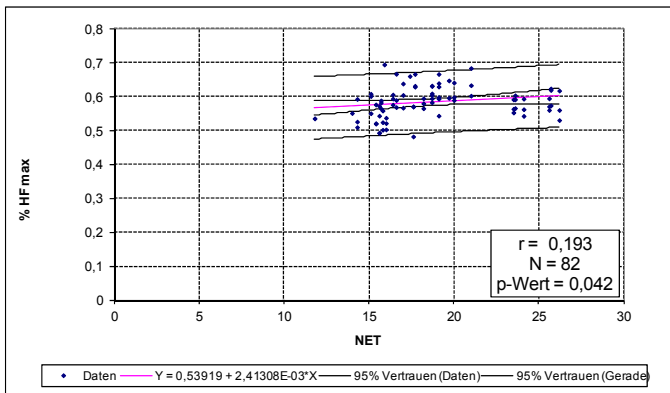


Bild 9-40 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich F

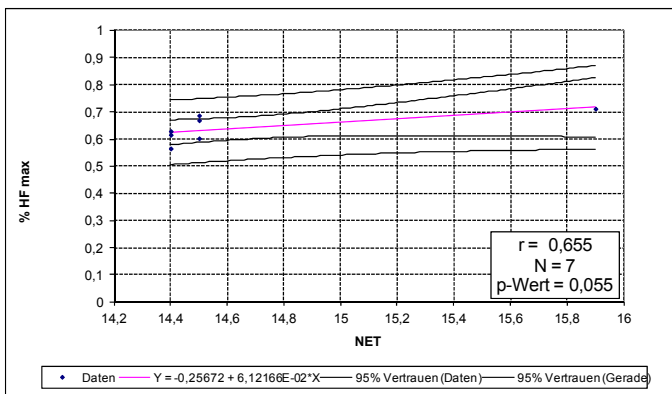


Bild 9-41 %HF_{max} in Abhängigkeit der NET für Vorbelastungsbereich G

A.1.7 Ergebnisse der Herzfrequenzanalyse für Tätigkeitsgruppen

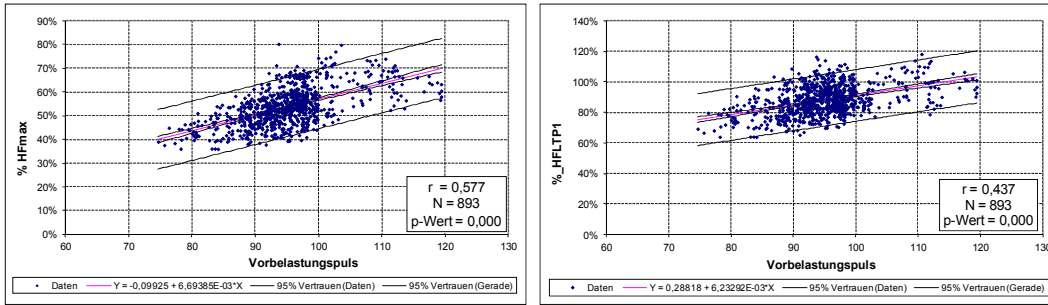


Bild 9-42 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

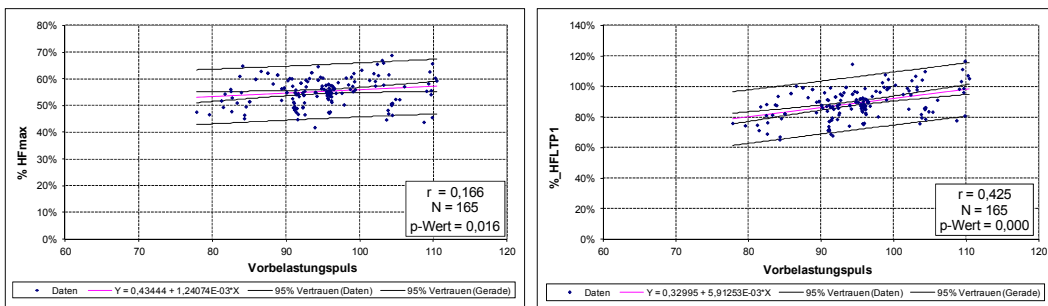


Bild 9-43 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Schalen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

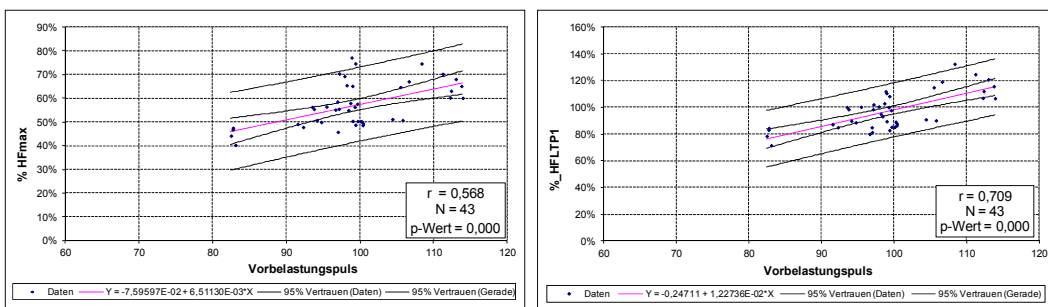


Bild 9-44 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Betonieren“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

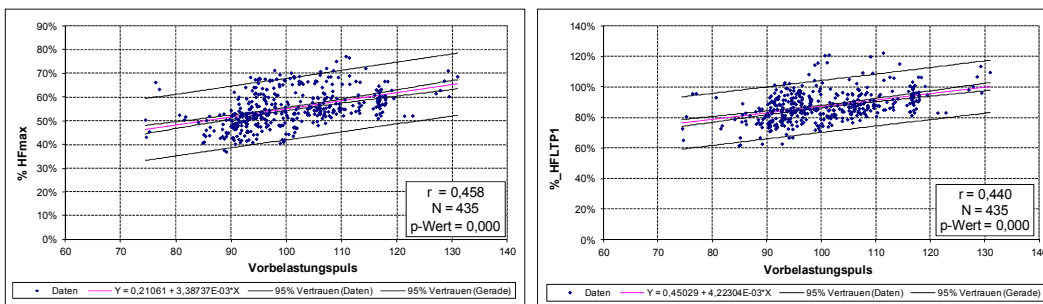


Bild 9-45 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten Mauern“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

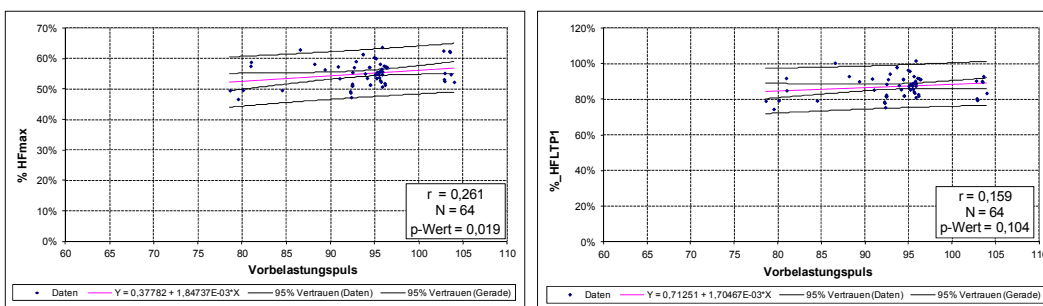


Bild 9-46 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten Schalen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

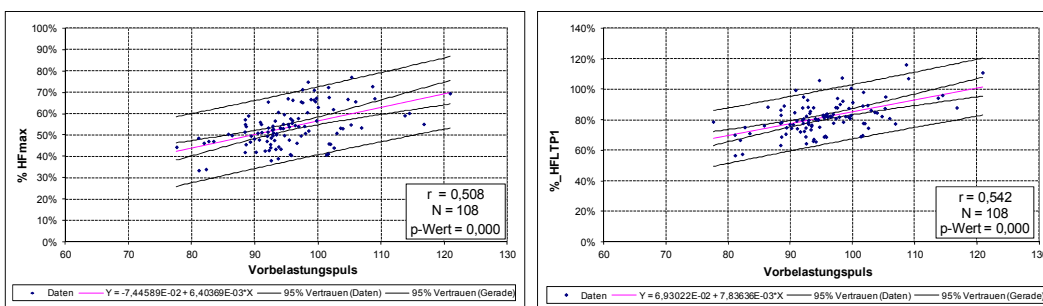


Bild 9-47 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Vorbereiten allgemein“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

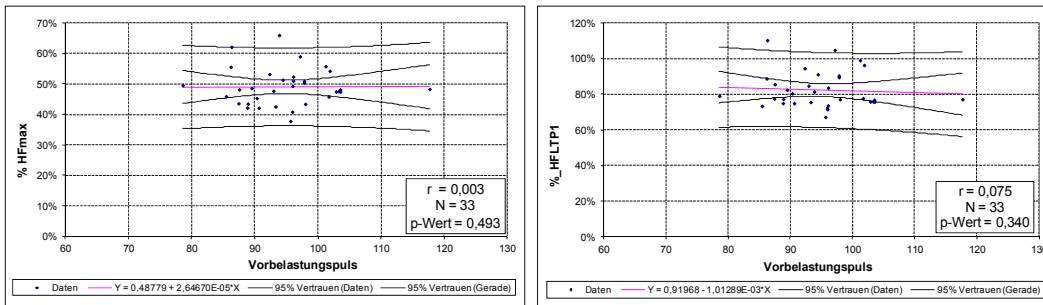


Bild 9-48 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Herrichten“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

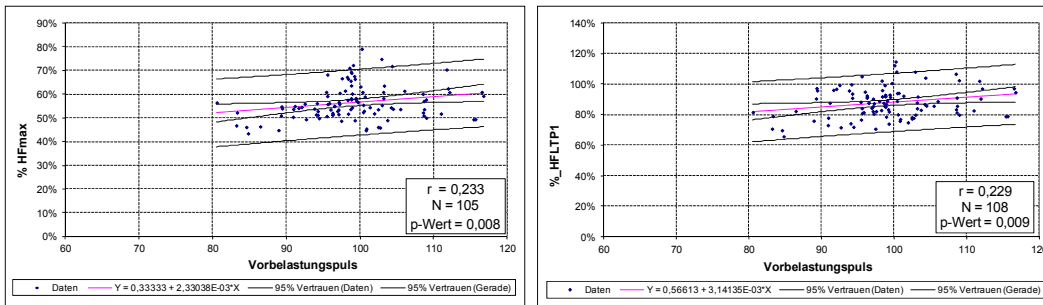


Bild 9-49 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Aufräumen“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

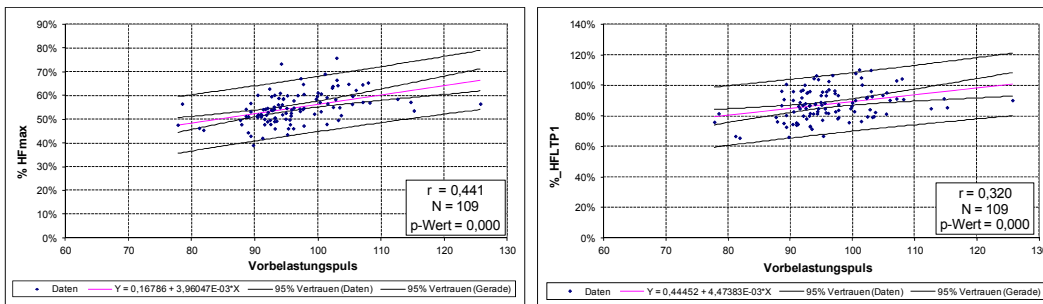


Bild 9-50 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Besprechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

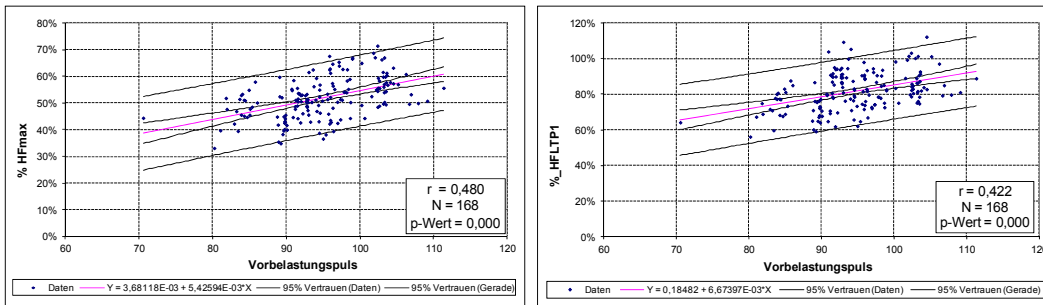


Bild 9-51 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Zusätzliche Tätigkeiten“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

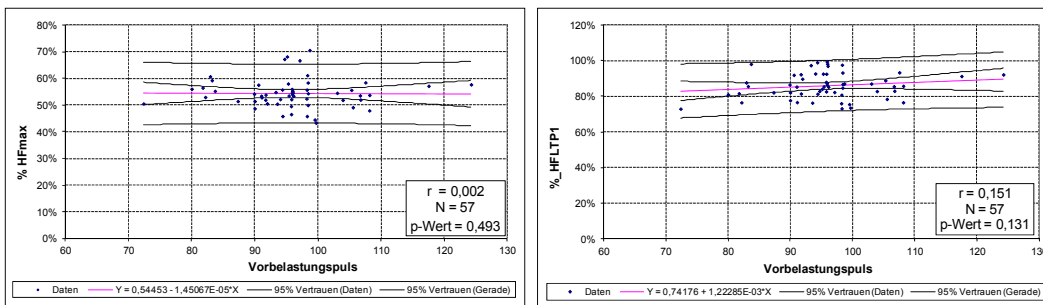


Bild 9-52 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Ablaufbedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

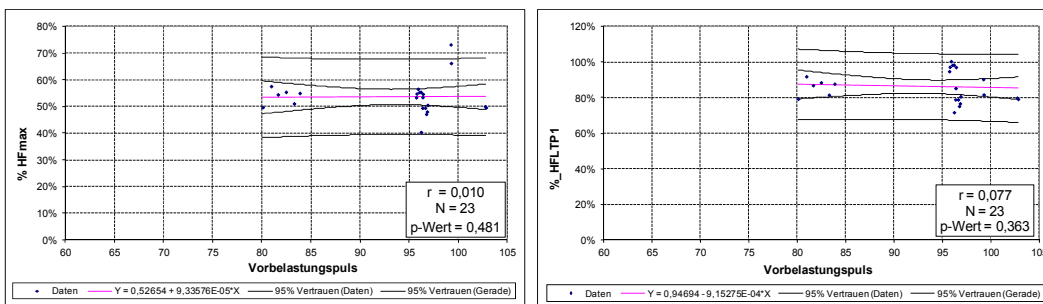


Bild 9-53 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Störungsbedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

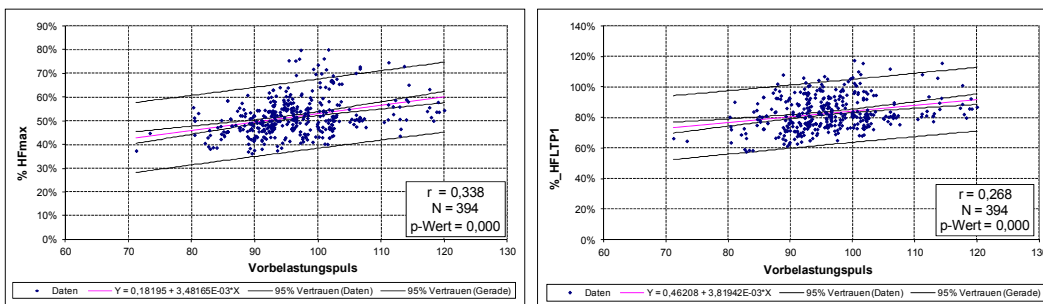


Bild 9-54 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Pause“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

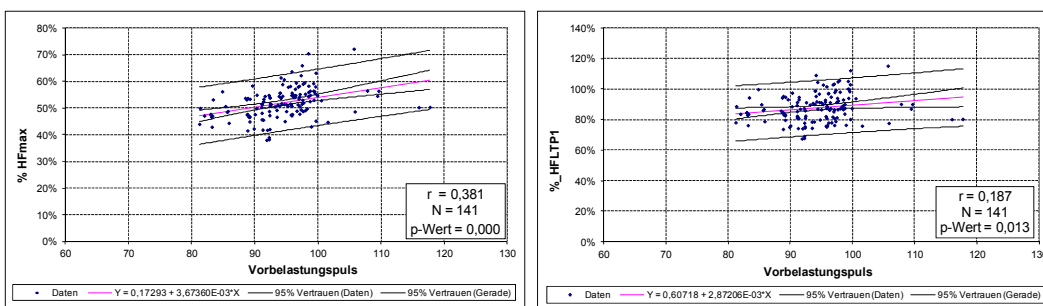


Bild 9-55 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Eigene Pause“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

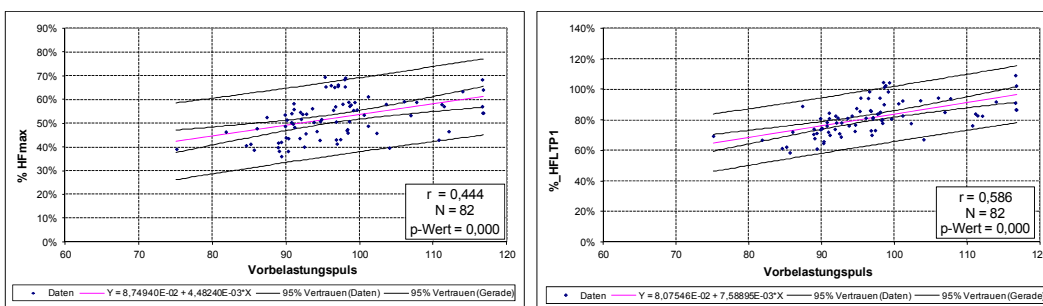


Bild 9-56 Verlauf von %HF_{max} und %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe „Persönlich bedingte Unterbrechung“ in Abhängigkeit der Vorbelastung

A.1.8 Analyse der Beanspruchung

Verlauf der Beanspruchung in Bezug auf HF_{LTP1}

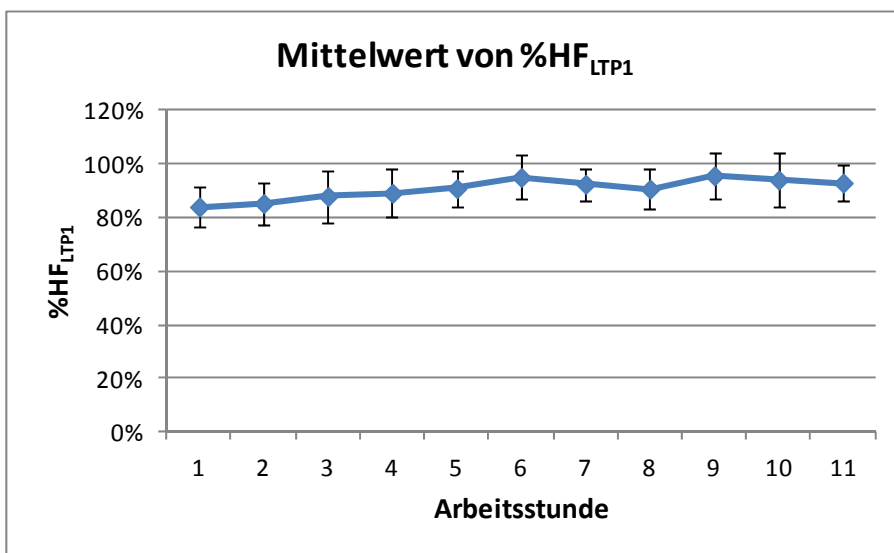


Bild 9-57 Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" über alle Facharbeit (TU 3, TU 4, TU 7, TU 8, TU 9, TU 10, TU 14, TU 15) in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=1000)

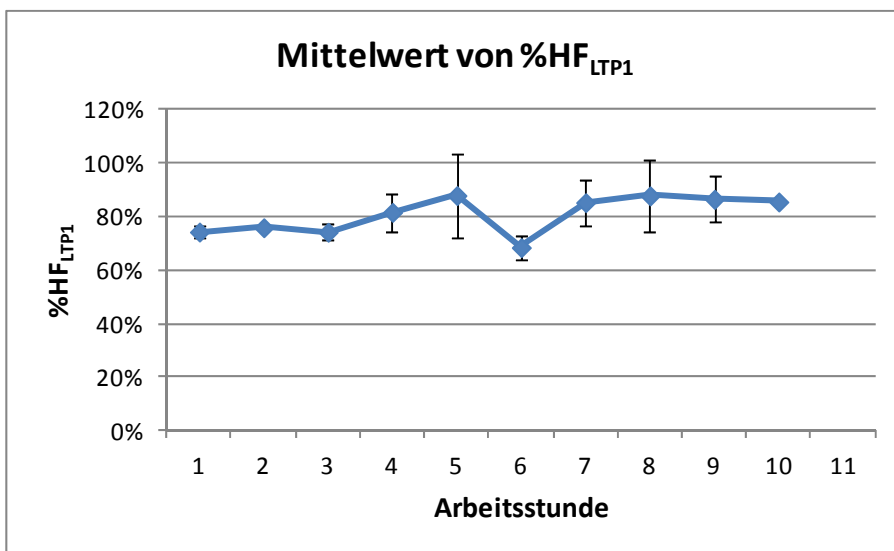


Bild 9-58 Mittelwert und Standardabweichung für $\%HF_{LTP1}$ für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 4 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=51)

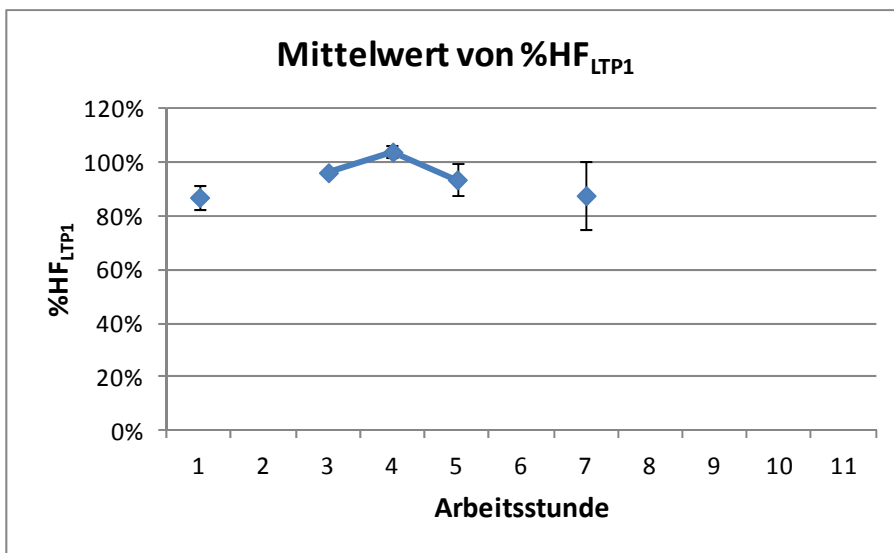


Bild 9-59 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 7 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=19)

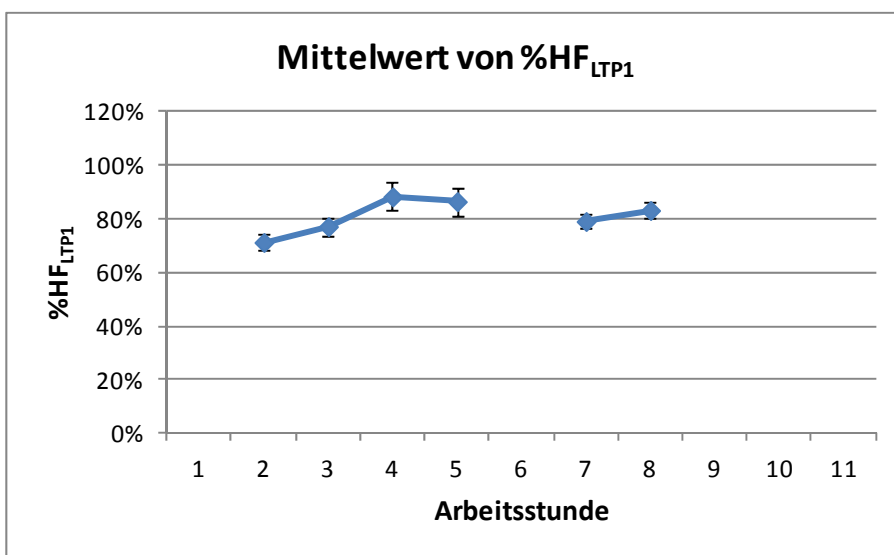


Bild 9-60 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 8 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=38)

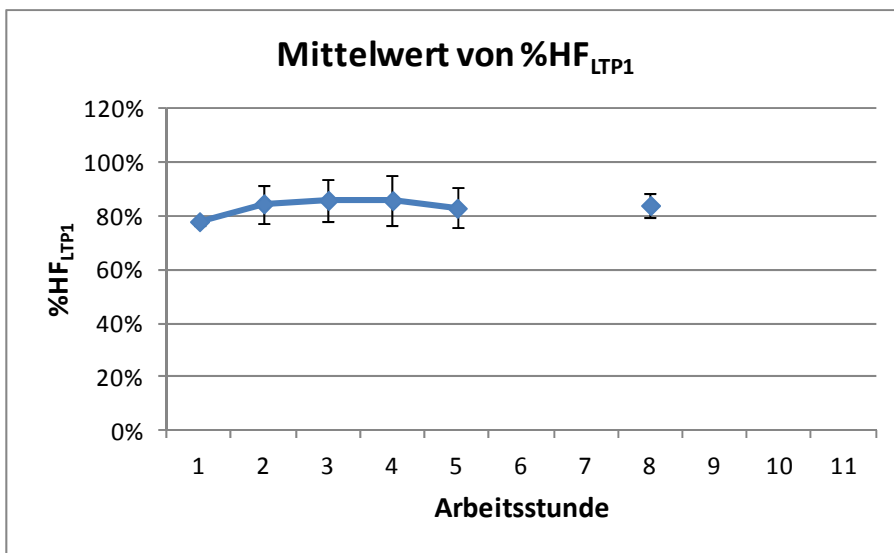


Bild 9-61 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 9 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=20)

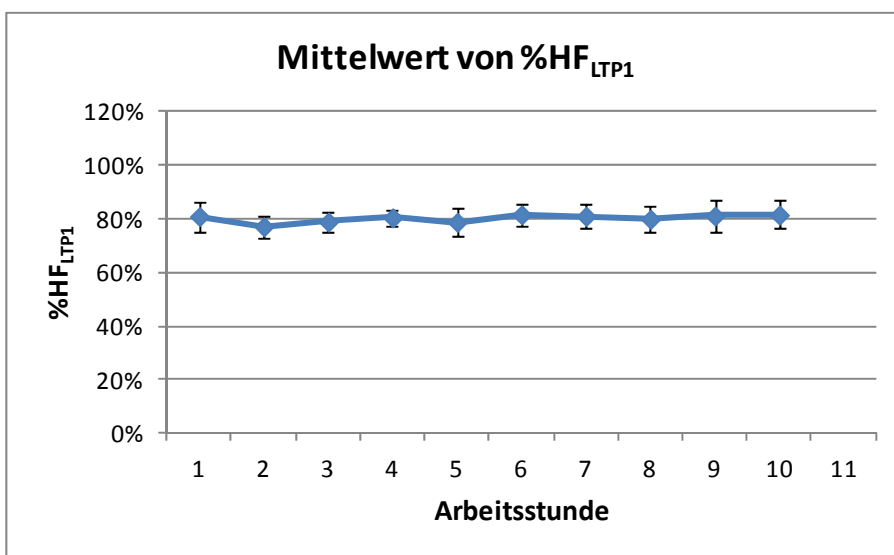


Bild 9-62 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 10 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=169)

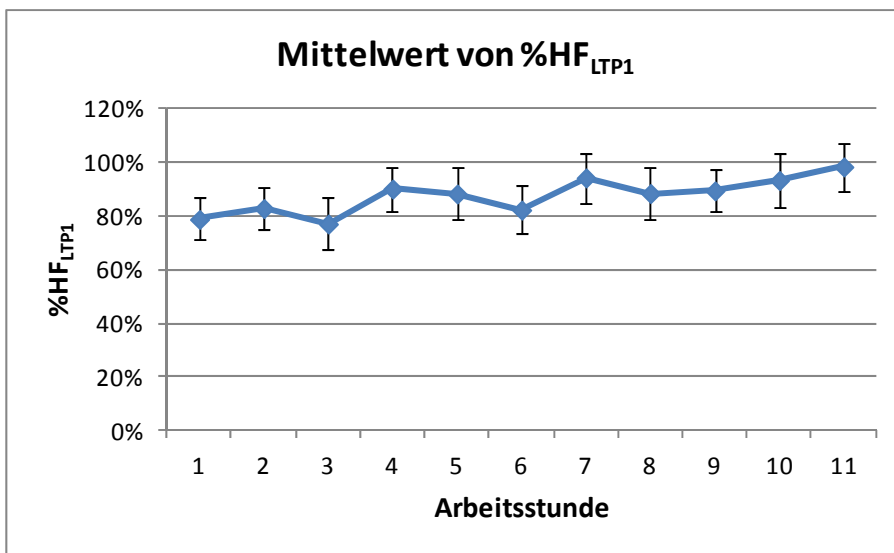


Bild 9-63 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 14 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=466)

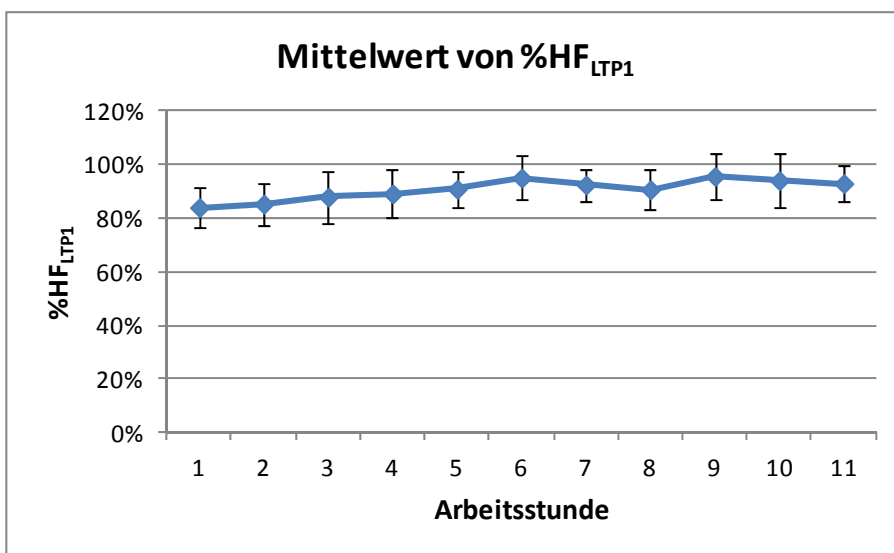


Bild 9-64 Mittelwert und Standardabweichung für %HF_{LTP1} für die Tätigkeitsgruppe "Mauern" des Bauarbeiters TU 1 in der jeweiligen Arbeitsstunde (N=235)

Verlauf der Beanspruchung in Bezug auf max. AAE von 8,7 kcal/min

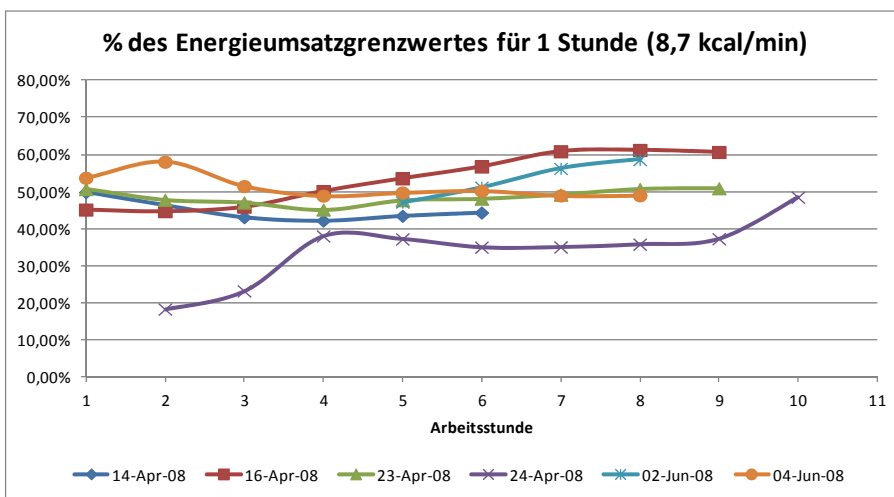


Bild 9-65 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 3

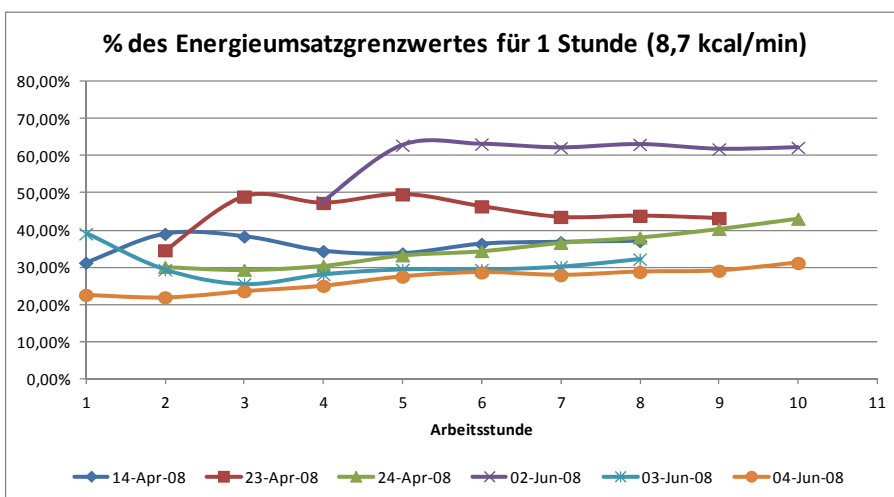


Bild 9-66 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 4

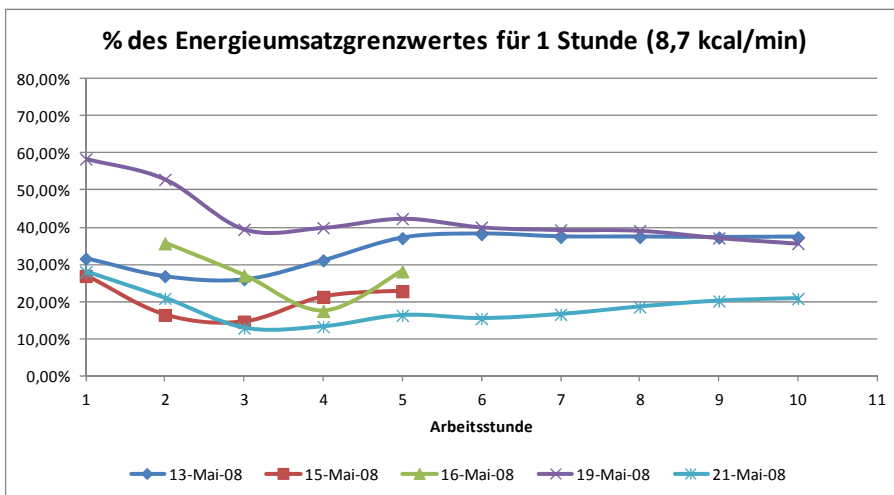


Bild 9-67 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 7

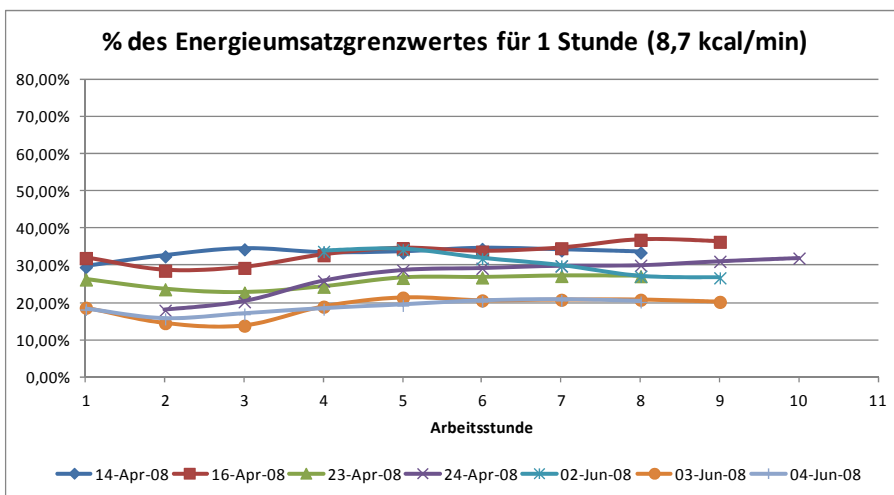


Bild 9-68 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 8

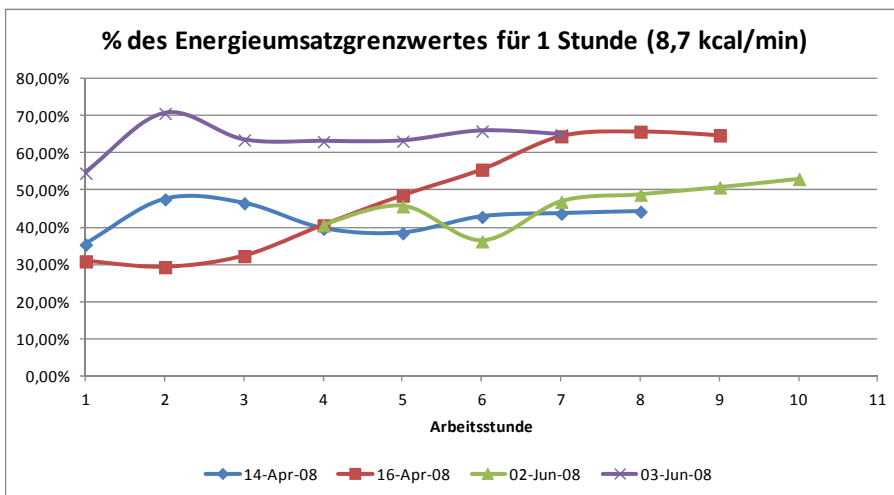


Bild 9-69 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 9

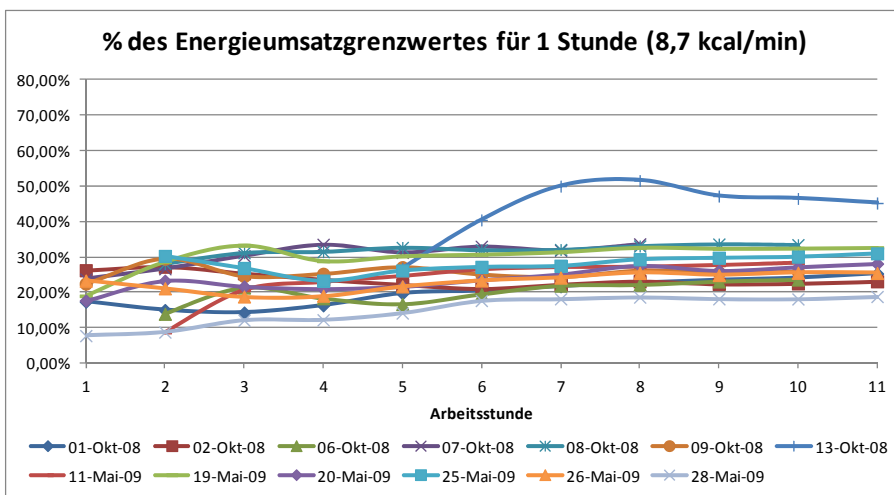


Bild 9-70 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 14

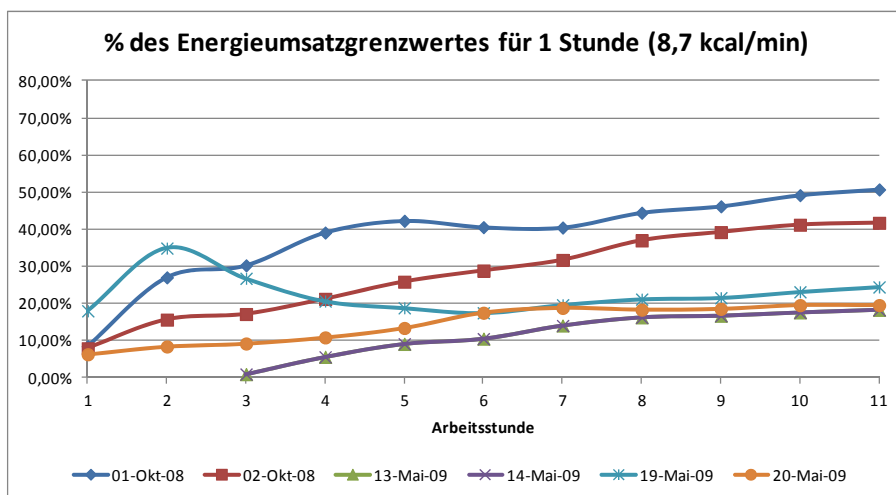


Bild 9-71 Mittelwert jeder Arbeitsstunde für den Prozentsatz des Arbeitsenergieumsatzes vom Grenzwert einer Stunde (8,7 kcal/min) für die Tätigkeitsgruppe „Mauern“ für Bauarbeiter TU 15

A.1.9 Leistungsaufzeichnung

Tabelle 9-5 Datentabelle für die Bestimmung der Netto-Aufwandswerte (Teil 1)

Arbeiter	Datum	Beginn	Ende	AT _{HT,MW}	Dauer	Leistung	Anzahl AK (inkl. Helfer)
Nr.	[DD.MM.JJJJ]	[hh:mm]	[hh:mm]	[%]	[h]	[m³]	[Std/h]
TU 14	11.05.2009	10:40	13:20	45,45%	2,67	0,30	1
TU 14	11.05.2009	14:00	15:10	60,00%	1,17	0,50	2
TU 14	11.05.2009	15:10	17:00	36,36%	1,83	1,00	2
TU30	11.05.2009	07:00	09:45	35,29%	2,75	2,48	2
TU30	11.05.2009	09:45	12:55	39,47%	3,17	5,24	2
TU30	11.05.2009	12:55	15:15	64,29%	2,33	5,24	2
TU30	11.05.2009	15:15	17:00	65,00%	1,75	3,28	2
TU30	12.05.2009	07:00	08:20	23,53%	1,33	1,08	2
TU30	12.05.2009	08:20	13:20	27,87%	5,00	5,24	2
TU30	12.05.2009	13:20	17:00	48,84%	3,67	4,36	2
TU15	11.05.2009	07:00	09:45	38,24%	2,75	1,24	2
TU15	11.05.2009	09:45	12:55	39,47%	3,17	2,62	2
TU15	11.05.2009	12:55	15:15	53,57%	2,33	2,62	2
TU15	11.05.2009	15:15	17:00	65,00%	1,75	1,64	2
TU15	12.05.2009	07:00	08:20	37,50%	1,33	0,54	2
TU15	12.05.2009	08:20	13:20	29,55%	5,00	2,62	2
TU15	12.05.2009	13:20	17:00	55,81%	3,67	2,18	2
TU24	11.05.2009	10:40	12:55	25,00%	2,25	0,25	1
TU24	11.05.2009	12:55	15:25	53,33%	2,50	1,75	2
TU24	11.05.2009	15:25	17:00	77,78%	1,58	1,31	2
TU24	12.05.2009	07:00	08:40	57,14%	1,67	0,88	2
TU24	12.05.2009	08:40	13:25	49,12%	4,75	2,18	2
TU24	12.05.2009	13:25	17:00	73,81%	3,58	2,18	2
TU14	30.09.2008	07:00	11:30	53,57%	4,50	0,74	2
TU14	01.10.2008	07:00	10:00	50,00%	3,00	0,15	1
TU14	01.10.2008	10:00	12:00	58,33%	2,00	1,24	2
TU14	01.10.2008	16:20	17:00	75,00%	0,67	0,41	2
TU14	02.10.2008	07:00	09:00	46,15%	2,00	1,58	2
TU14	02.10.2008	09:30	10:30	33,33%	1,00	0,95	3
TU14	02.10.2008	14:30	16:00	44,44%	1,50	1,27	3
TU14	02.10.2008	16:00	17:00	33,33%	1,00	1,27	3
TU14	06.10.2008	08:00	13:30	54,55%	5,50	3,12	2,5
TU14	06.10.2008	13:30	17:00	61,90%	3,50	2,86	2,5

Tabelle 9-6 Datentabelle für die Bestimmung der Netto-Aufwandswerte (Teil 2)

Arbeiter	Datum	Beginn	Ende	AT _{HT,MW}	Dauer	Leistung	Anzahl AK (inkl. Helfer)
Nr.	[DD.MM.JJJJ]	[hh:mm]	[hh:mm]	[%]	[h]	[m³]	[Std/h]
TU23	30.09.2008	07:00	12:00	70,00%	5,00	3,21	1
TU23	01.10.2008	08:50	10:45	61,54%	1,92	2,14	2
TU15	30.09.2008	07:00	12:00	56,67%	5,00	3,05	2
TU15	01.10.2008	07:00	09:00	58,33%	2,00	1,49	2
TU15	01.10.2008	09:30	12:00	80,00%	2,50	2,97	2
TU15	01.10.2008	14:30	17:00	80,00%	2,50	0,83	1
TU15	02.10.2008	07:00	07:30	33,33%	0,50	0,12	1
TU24	30.09.2008	07:00	12:00	50,00%	5,00	3,05	2
TU24	01.10.2008	07:00	09:00	50,00%	2,00	1,49	2
TU24	01.10.2008	09:30	12:00	73,33%	2,50	2,97	2
TU24	01.10.2008	14:00	17:00	44,44%	3,00	2,60	2
TU24	02.10.2008	07:00	12:00	46,67%	5,00	0,52	2
TU24	02.10.2008	08:00	12:00	50,00%	4,00	1,21	2
TU24	02.10.2008	13:20	14:40	75,00%	1,33	0,52	2
TU24	02.10.2008	15:30	16:10	75,00%	0,67	0,32	2
TU24	02.10.2008	16:50	17:15	50,00%	0,42	0,52	2
TU24	06.10.2008	07:00	11:00	41,67%	4,00	2,60	2
TU24	06.10.2008	11:00	11:40	50,00%	0,67	0,25	3
TU24	06.10.2008	11:40	15:20	45,45%	3,67	2,60	2
TU24	06.10.2008	15:50	17:00	71,43%	1,17	1,56	2
TU24	07.10.2008	07:00	08:30	66,67%	1,50	1,56	2
TU24	07.10.2008	08:30	12:50	30,77%	4,33	2,60	2

A.1.10 Vergleich der Mess- und Rechenwerte der einfachen Regressionsrechnung

Tabelle 9-7 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 1)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)
TU 3	94,29	12,47	74,61	6,95
14-Apr-08	90,91	8,94	81,07	4,14
16-Apr-08	102,78	12,95	77,30	5,94
23-Apr-08	95,28	9,18	72,82	5,32
24-Apr-08	83,51	11,73	71,58	5,95
02-Jun-08	102,48	10,76	68,34	5,21
04-Jun-08	92,97	7,82	76,16	6,62
TU 4	98,45	12,28	78,11	7,27
14-Apr-08	96,21	7,38	83,59	4,01
16-Apr-08			81,08	8,68
23-Apr-08	100,60	11,32	79,77	4,69
24-Apr-08	102,25	14,66	78,65	5,69
02-Jun-08	110,95	9,94	74,95	6,50
03-Jun-08	93,96	12,11	78,77	7,14
04-Jun-08	91,14	6,48	70,82	5,51
TU 7	110,39	11,20	107,86	4,76
13-Mai-08	116,61	9,28	108,87	3,16
14-Mai-08	105,31	6,74	106,58	3,37
15-Mai-08	110,94	10,99	107,83	3,52
16-Mai-08	112,21	14,95	105,37	4,52
19-Mai-08	115,30	10,98	110,19	5,59
20-Mai-08	101,40	9,77	104,36	5,76
21-Mai-08	107,45	7,92	109,13	3,24
TU 8	96,92	11,72	125,25	11,77
14-Apr-08	101,17	7,39	124,47	9,82
16-Apr-08	105,15	12,67	120,38	8,81
23-Apr-08	96,16	10,76	138,49	10,17
24-Apr-08	102,03	11,14	128,51	13,20
02-Jun-08	96,59	9,42	111,03	2,71
03-Jun-08	88,68	10,53	121,68	6,26
04-Jun-08	88,67	6,76	128,33	7,39
Gesamt	98,33	11,85	108,14	20,43

Tabelle 9-8 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 2)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)
TU 9	96,56	12,82	93,26	5,69
14-Apr-08	96,73	7,54	100,07	2,75
16-Apr-08	102,40	12,10	89,84	4,17
23-Apr-08			99,35	2,59
24-Apr-08	83,43	11,50	91,55	4,92
02-Jun-08	97,89	10,25	88,83	3,89
03-Jun-08	103,89	10,06	91,71	3,97
04-Jun-08			91,29	4,15
TU 10	98,87	6,25	96,30	1,90
13-Mai-08	95,95	4,88	95,79	1,85
14-Mai-08	98,07	4,79	96,90	1,80
15-Mai-08	100,96	5,94	97,21	2,08
16-Mai-08	95,64	3,12	95,93	1,88
19-Mai-08	95,53	5,91	95,96	1,75
20-Mai-08	102,68	6,34	95,51	1,54
21-Mai-08	102,46	7,17	95,84	1,55
TU 14	95,58	11,45	123,06	12,72
30-Sep-08			118,33	9,11
01-Okt-08	94,29	9,95	123,08	8,70
02-Okt-08	91,91	9,20	116,88	7,38
06-Okt-08	92,53	9,60	129,72	12,51
07-Okt-08	100,47	15,17	111,27	4,60
08-Okt-08	99,92	11,60	112,67	4,83
09-Okt-08	94,04	11,69	114,04	5,09
13-Okt-08	108,89	15,65	114,61	6,99
11-Mai-09	96,58	9,82	117,81	9,61
19-Mai-09	99,47	9,85	117,01	9,00
20-Mai-09	95,95	10,19	123,95	11,80
25-Mai-09	98,47	10,92	133,60	13,26
26-Mai-09	94,32	9,50	132,92	13,00
28-Mai-09	89,08	10,73	127,34	11,85
29-Mai-09	87,47	7,51	131,40	12,06
Gesamt	98,33	11,85	108,14	20,43

Tabelle 9-9 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der einfachen Regression (Teil 3)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	(SD)
TU 15	99,52	11,15	118,93	12,71
30-Sep-08			119,03	8,73
01-Okt-08	112,15	12,40	128,39	11,40
02-Okt-08	106,26	12,11	127,52	9,07
11-Mai-09			117,83	10,71
12-Mai-09	98,86	10,57	119,01	9,66
13-Mai-09	96,29	10,32	108,25	2,54
14-Mai-09	96,29	10,32	107,44	2,48
19-Mai-09	99,84	9,63	118,64	9,10
20-Mai-09	96,56	7,16	133,04	14,65
Gesamt	98,33	11,85	108,14	20,43

A.1.11 Vergleich der Mess- und Rechenwerte der multiplen Regressionsrechnung

Tabelle 9-10 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 1)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD
TU 3	94,29	12,47	85,56	6,95
14-Apr-08	90,91	8,94	93,28	3,53
16-Apr-08	102,78	12,95	81,94	5,52
23-Apr-08	95,28	9,18	91,96	3,47
24-Apr-08	83,51	11,73	81,00	4,95
02-Jun-08	102,48	10,76	81,28	4,77
04-Jun-08	92,97	7,82	83,01	5,31
TU 4	98,45	12,28	99,73	4,69
14-Apr-08	96,21	7,38	101,18	3,45
16-Apr-08			99,09	4,28
23-Apr-08	100,60	11,32	98,49	3,03
24-Apr-08	102,25	14,66	101,04	7,97
02-Jun-08	110,95	9,94	100,21	3,84
03-Jun-08	93,96	12,11	97,31	3,12
04-Jun-08	91,14	6,48	100,30	3,84
TU 7	110,39	11,20	97,20	5,07
13-Mai-08	116,61	9,28	98,00	3,84
14-Mai-08	105,31	6,74	98,87	3,74
15-Mai-08	110,94	10,99	96,03	4,00
16-Mai-08	112,21	14,95	88,35	2,75
19-Mai-08	115,30	10,98	98,57	3,80
20-Mai-08	101,40	9,77	97,78	5,92
21-Mai-08	107,45	7,92	98,80	3,91
TU 8	96,92	11,72	101,63	9,84
14-Apr-08	101,17	7,39	104,43	4,71
16-Apr-08	105,15	12,67	106,53	10,78
23-Apr-08	96,16	10,76	103,77	5,74
24-Apr-08	102,03	11,14	104,05	7,41
02-Jun-08	96,59	9,42	81,83	3,78
03-Jun-08	88,68	10,53	100,34	4,10
04-Jun-08	88,67	6,76	106,36	5,92
Gesamtergebnis	98,33	11,85	100,83	9,66

Tabelle 9-11 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 2)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD
TU 9	96,56	12,82	107,29	7,15
14-Apr-08	96,73	7,54	116,13	7,70
16-Apr-08	102,40	12,10	109,33	5,09
23-Apr-08			101,61	5,17
24-Apr-08	83,43	11,50	105,66	6,02
02-Jun-08	97,89	10,25	107,53	4,34
03-Jun-08	103,89	10,06	103,52	3,87
04-Jun-08			107,10	6,63
TU 10	98,87	6,25	115,89	7,25
13-Mai-08	95,95	4,88	116,70	6,01
14-Mai-08	98,07	4,79	119,58	6,00
15-Mai-08	100,96	5,94	116,48	9,30
16-Mai-08	95,64	3,12	111,45	6,22
19-Mai-08	95,53	5,91	114,92	6,45
20-Mai-08	102,68	6,34	111,34	5,15
21-Mai-08	102,46	7,17	115,73	6,40
TU 14	95,58	11,45	97,25	4,21
30-Sep-08			93,10	1,95
01-Okt-08	94,29	9,95	94,83	2,81
02-Okt-08	91,91	9,20	95,86	2,81
06-Okt-08	92,53	9,60	93,42	2,24
07-Okt-08	100,47	15,17	94,71	2,42
08-Okt-08	99,92	11,60	102,69	4,97
09-Okt-08	94,04	11,69	100,80	3,86
13-Okt-08	108,89	15,65	106,76	5,51
11-Mai-09	96,58	9,82	97,54	2,96
19-Mai-09	99,47	9,85	98,54	3,26
20-Mai-09	95,95	10,19	96,54	2,70
25-Mai-09	98,47	10,92	97,58	2,66
26-Mai-09	94,32	9,50	96,02	2,59
28-Mai-09	89,08	10,73	95,85	2,56
29-Mai-09	87,47	7,51	95,18	2,43
Gesamtergebnis	98,33	11,85	100,83	9,66

Tabelle 9-12 Mittelwerte ($HF_{\text{Mittel,AT}}$) und Standardabweichung (SD) der gemessenen und berechneten Herzfrequenztagesmittelwerte der multiplen Regression (Teil 3)

Proband Nr.	Messwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD	Rechenwerte $HF_{\text{Mittel,AT}}$	SD
TU 15	99,52	11,15	102,86	7,75
30-Sep-08			103,34	4,28
01-Okt-08	112,15	12,40	107,95	4,65
02-Okt-08	106,26	12,11	107,52	4,33
11-Mai-09			105,91	4,64
12-Mai-09	98,86	10,57	107,05	4,49
13-Mai-09	96,29	10,32	96,27	4,97
14-Mai-09	96,29	10,32	93,42	4,55
19-Mai-09	99,84	9,63	101,90	4,45
20-Mai-09	96,56	7,16	107,53	9,93
Gesamtergebnis	98,33	11,85	100,83	9,66

A.1.12 Anwendungsbeispiel der tätigkeitsbezogenen Arbeitsleistungskurve

Tätigkeit	Arbeitsstunde		1											2											
	Arbeitsminuten		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
111 Mauern						4,5	5	3	5	4,5	0	1,5		5	5		4	4		4	3	4	3	4	
121 Vorbereiten Mauern				5	5						2	2,5	3		3				3						
126 Vorbereiten allgemein											1											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		

Bild 9-72 Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 1 und 2

Tätigkeit	Arbeitsstunde		3															4														
	Arbeitsminuten		120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215	220	225	230	235						
111 Mauern								3	4	4	4	3	3			3	4	3	3	3	3	3	4	4								
121 Vorbereiten Mauern							4		1					3	3			1				1										
126 Vorbereiten allgemein										1	1					1																
127 Herrichten						5																										
128 Aufräumen																									5							
129 Besprechung												2									2											
211 Ablaufbedingte Unterbrechung																	1					1										
221 Störungsbedingte Unterbrechung													1							1												
231 Pause	5	5	5	5					2																							
232 Eigene Pause														2	1	1		1	1		1	1	1	1	1							
241 Persönlich bedingte Unterbrechung								1								1																

Bild 9-73 Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 3 und 4

Tätigkeit	Arbeitsstunde		5																	6																
	Arbeitsminuten		240	245	250	255	260	265	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345	350	355										
111 Mauern													3	4	4	4	5		5	5	5	5	4	0	3											
121 Vorbereiten Mauern													2					3				4			2											
126 Vorbereiten allgemein														1											1											
127 Herrichten										5																										
128 Aufräumen																																				
129 Besprechung																		2							1											
211 Ablaufbedingte Unterbrechung																						1			1											
221 Störungsbedingte Unterbrechung																1																				
231 Pause	5	5	5	5	5	5	5	5	5																											
232 Eigene Pause																							1	5	2											
241 Persönlich bedingte Unterbrechung													1																							

Bild 9-74 Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 5 und 6

Tätigkeit	Arbeitsstunde		7											8											
	Arbeitsminuten		360	365	370	375	380	385	390	395	400	405	410	415	420	425	430	435	440	445	450	455	460	465	470
111 Mauern	4	5	5		5	5	5		4	0	3			4	5		5	5	5	5		4	0	3	1
121 Vorbereiten Mauern				3					4			2				2					4				2
126 Vorbereiten allgemein												1													1
127 Herrichten																									
128 Aufräumen																									
129 Besprechung					2				1							3									
211 Ablaufbedingte Unterbrechung												2									1				1
221 Störungsbedingte Unterbrechung	1													1											
231 Pause																									
232 Eigene Pause										1	5	2										1	5	2	
241 Persönlich bedingte Unterbrechung																									

Bild 9-75 Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 7 und 8

Tätigkeit	Arbeitsstunde		9											10												
	Arbeitsminuten		480	485	490	495	500	505	510	515	520	525	530	535	540	545	550	555	560	565	570	575	580	585	590	595
111 Mauern				5		5	5	5	5	2	4	1	3	2	5	4		4	5	4	3	3				
121 Vorbereiten Mauern			3		1					3			1					4	1		2					
126 Vorbereiten allgemein													1			1										
127 Herrichten																										
128 Aufräumen																							2	3	5	5
129 Besprechung						3															2					
211 Ablaufbedingte Unterbrechung													1				1						1			
221 Störungsbedingte Unterbrechung																				1						
231 Pause																										
232 Eigene Pause						1					1	4	2										2	1		
241 Persönlich bedingte Unterbrechung																										1

Bild 9-76 Verteilung der Tätigkeiten in der Arbeitsstunde 9 und 10

A.1.13 Darstellung des Herzfrequenzverlaufs in den Berechnungsbeispielen

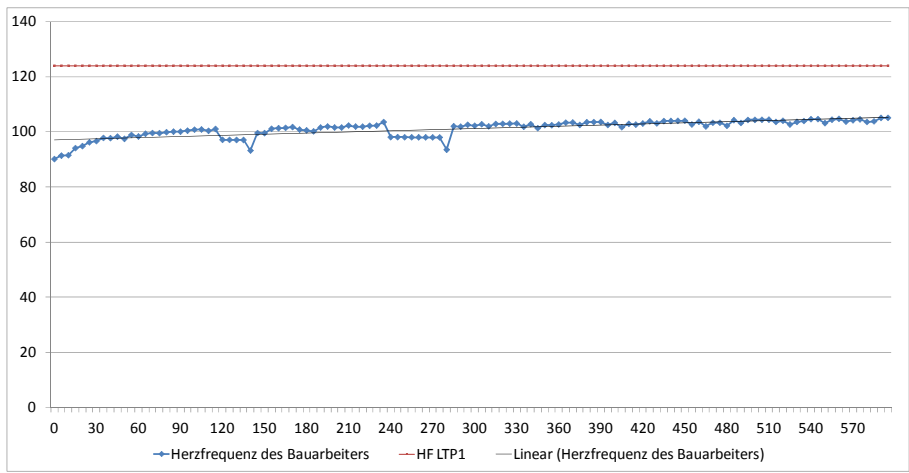


Bild 9-77 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 10h auf der Baustelle

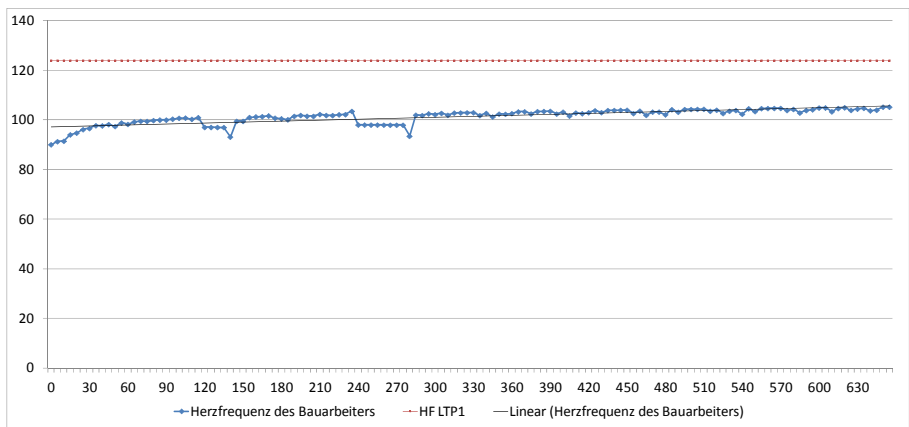


Bild 9-78 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 11h auf der Baustelle

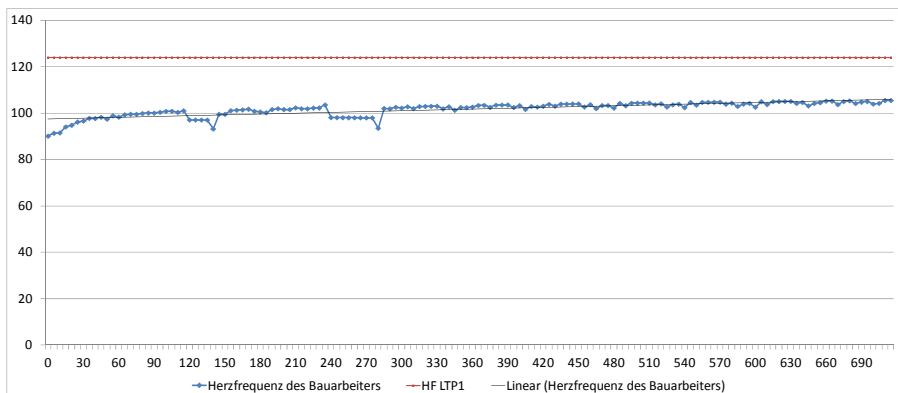


Bild 9-79 Herzfrequenzverlauf bei Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression für einen Arbeitstag mit 12h auf der Baustelle

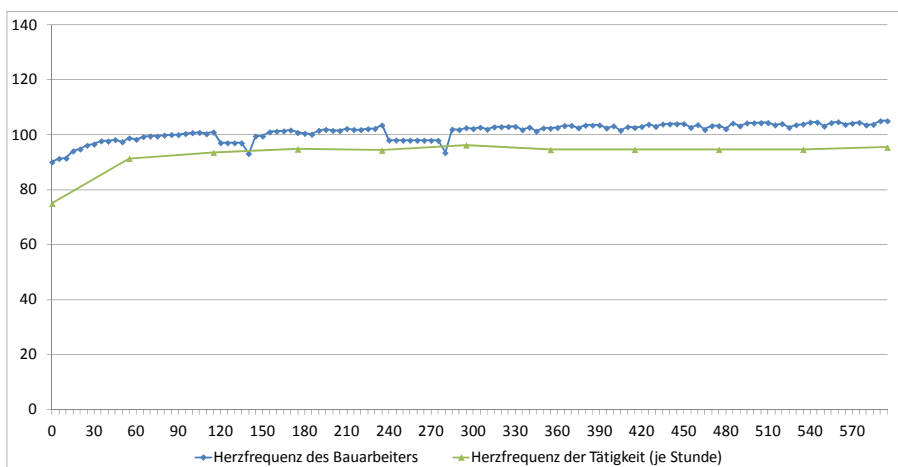


Bild 9-80 Vergleich der Herzfrequenzermittlung bei stündlicher und fünfminütiger Betrachtungsweise

Glossar

Akklimatisation	<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.“³⁹⁴</i>
Allgemeine Belastungsindikatoren	Durch die Zusammenführung aller relativen Beanspruchungen der untersuchten Bauarbeiter entsteht ein allgemeiner relativer Belastungsindikator für die jeweilige Tätigkeit.
Aufwandswert	<i>„Der auf die Produktionsmengeneinheit bezogene Einsatz von Produktionsmitteln in Zeiteinheiten. Der Aufwandswert wird auch als Stundenansatz bezeichnet“³⁹⁵</i> (z.B. Std/m ³ oder Std/m ²). <i>„Er ist der reziproke Wert des Leistungswertes und ist der Quotient von Produktionszeit zu Produktionsmenge.“³⁹⁶</i>
Brutto-Aufwandswert	Der Brutto-Aufwandswert stellt entsprechend der vorhergehenden Definition von Jodl/Oberndorfer den Aufwandswert unter Berücksichtigung von aller Arbeitsaufgaben (Haupt-, Neben-, und Zusatztätigkeiten sowie Unterbrechungen) dar.
Netto-Aufwandswert	Der Netto-Aufwandswert stellt den Aufwandswert nur für eine betrachtete Tätigkeitsgruppe oder Tätigkeitskategorie dar. In diesem sind weder Nebentätigkeiten noch Pausen oder Unterbrechungen enthalten.
Arbeitsenergieumsatz oder Leistungsumsatz	<i>„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.“³⁹⁷</i>

³⁹⁴ Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S.8.

³⁹⁵ Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.30.

³⁹⁶ Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.30.

³⁹⁷ Online Abfrage „Arbeitsenergieumsatz“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-26.htm>, Datum des Zugriffs 22.12.2010, 14.20.

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.“ ³⁹⁸
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.“ ³⁹⁹
Beanspruchung	Unter Beanspruchung versteht man die Reaktionen (körperlich-physiologisch, erlebensmäßig) des arbeitenden Menschen auf diese Bedingungen. ⁴⁰⁰
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.
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.

³⁹⁸ Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S. 23.

³⁹⁹ Wormuth/Schneider: Arbeitszeitrichtwert, <http://www.bauwerk-verlag.de/baulexikon/index.shtml?ARBEITSZEITRICHTWERT.HTM>, Datum des Zugriffs:1.4.2010,16:58.

⁴⁰⁰ Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998, S. 31.

Belastung	Unter Belastung werden in der Arbeitswissenschaft die äußeren Merkmale der Arbeitssituation (z.B. Arbeitsaufgabe, physikalische-chemische und soziale Umgebungsbedingungen) verstanden. ⁴⁰¹
Biofeedbackanalyse	<i>„Biofeedback ist eine wissenschaftlich fundierte Trainingsmethode, die es ermöglicht, die bewusste Steuerung von Körperfunktionen zu erlernen. Dies geschieht in erster Linie durch das Sichtbarmachen von unbewussten biologischen Vorgängen mit Hilfe von Sensoren, die auf der Haut angebracht werden. So können nicht nur Puls, Körpertemperatur und Atmung genau gemessen werden, sondern auch die Durchblutung, Muskelspannung, der Hautleitwert oder die elektrische Gehirnaktivität. Das schonende und nebenwirkungsfreie Verfahren kann in vielen verschiedenen Bereichen (z.B. der Hypnosetherapie) zur Anwendung kommen. Außerdem lässt sich Biofeedback bei der Erreichung des Therapieziels problemlos mit verschiedenen Entspannungsverfahren (z.B. Yoga, autogenes Training, progressive Muskelentspannung, etc.) kombinieren.“⁴⁰²</i>
Black Box	Die Black Box ist Teil eines Systems, „dessen innere Struktur und Wirkungsweise unbekannt oder unerheblich ist und von dem nur sein Übertragungsverhalten, d. h. seine Reaktion auf Eingangssignale, bekannt ist oder in Betracht gezogen wird. Die Reaktion einer Black Box äußert sich an einem Ausgang als eindeutig bestimmtes Ausgangssignal.“ ⁴⁰³
BMI	<i>„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.“⁴⁰⁴</i>

⁴⁰¹ Vgl. Luczak, H. et al.: Arbeitswissenschaft, 2. Auflage, Springer, Berlin [u.a.] 1998, S.31.

⁴⁰² Online Abfrage „Biofeedbackanalyse“, <http://www.trancemed.de/biofeedback-schmerzen-migraene-blutdruck.html>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:30.

⁴⁰³ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Black Box“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58.

⁴⁰⁴ Statistik Austria: BMI, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/gesundheit/gesundheitsdeterminanten/bmi_body_mass_index/index.html, Datum des Zugriffs: 1.4.2010, 17:02.

Boxplot

Unter einem Boxplot wird die graphische Darstellung einer Datenreihe verstanden, wobei im Diagramm folgende Werte ausgewiesen werden (beispielhafte Darstellung in Bild 9-81).⁴⁰⁵

- Maximaler Wert der Datenreihe (oberer „Wisker“)
- Oberes Quantil: 75 % der Daten aus der Datenreihe liegen unter diesem Wert
- arithmetischer Mittelwert
- Median: 50 % der Daten aus der Datenreihe liegen unter diesem Wert
- Unteres Quantil: 25 % der Daten aus der Datenreihe liegen unter diesem Wert
- Minimaler Wert der Datenreihe (unterer „Wisker“)

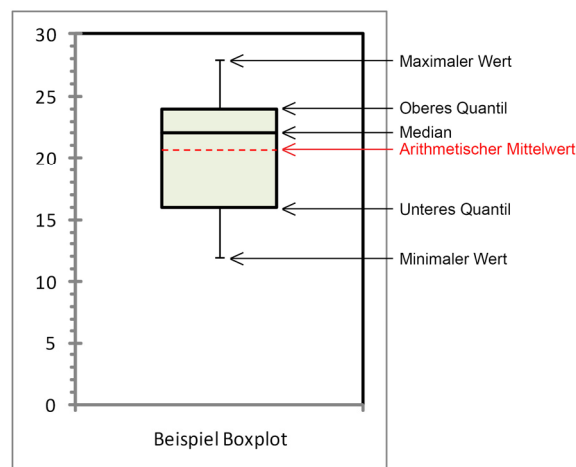


Bild 9-81 Beispiel eines Boxplots⁴⁰⁶

Diese Darstellung ermöglicht eine optische Eingrenzung der Verteilung der Daten. Hierin ist die Größe der Box (Fläche zwischen oberem und unterem Quantil) ein Maß für die Streuung der Einzelwerte der Datenreihe. Ebenso bedeutet ein großer Abstand zwischen oberem Quantil und dem maximalen Wert bzw. unterem Quantil und dem minimalen Wert, dass es große Ausreißer der Extremwerte nach oben und unten gibt.⁴⁰⁷

⁴⁰⁵ Vgl. Dialekt-Projekt: Statistik Interaktiv!: Deskriptive Statistik, S. 18, http://books.google.at/books?id=VWbETAQxBSAC&pg=PA18&dq=Boxplot&hl=de&ei=d_WqTYCxB8_usgbP7Nz7Cw&#v=onepage&q=Boxplot&f=false, 22.12.2010, 14:35.

⁴⁰⁶ Vgl. Dialekt-Projekt: Statistik Interaktiv!: Deskriptive Statistik, S. 18, http://books.google.at/books?id=VWbETAQxBSAC&pg=PA18&dq=Boxplot&hl=de&ei=d_WqTYCxB8_usgbP7Nz7Cw&#v=onepage&q=Boxplot&f=false, 22.12.2010, 14:35.

⁴⁰⁷ Vgl. Dialekt-Projekt: Statistik Interaktiv!: Deskriptive Statistik, S. 18, http://books.google.at/books?id=VWbETAQxBSAC&pg=PA18&dq=Boxplot&hl=de&ei=d_WqTYCxB8_usgbP7Nz7Cw&#v=onepage&q=Boxplot&f=false, 22.12.2010, 14:35.

- 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.“*⁴⁰⁸
Die Dauerleistungsgrenze ist die höchste Belastung, die unabhängig von der Beanspruchungsdauer ohne eine Vergrößerung der Erholungspulssumme möglich ist.⁴⁰⁹
- 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“*⁴¹⁰
- 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.“*⁴¹¹
- 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.⁴¹²
- 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

⁴⁰⁸ REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Lexikon der Betriebsorganisation, Carl-Hanser, München 1993, S. 59

⁴⁰⁹ 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.

⁴¹⁰ Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S.90

⁴¹¹ Lang, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung, Dissertation, TH Darmstadt, Darmstadt 1984.

⁴¹² Vgl. Lehmann, G.: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1962.

durch das subjektive Empfinden des Beobachters beeinflusst.

Forcierung: „Beschleunigung der Leistungserstellung, indem vorhandene Kapazitäten intensiver genutzt (z.B. Schichtarbeit, zusätzliche Überstunden) oder zusätzliche Kapazitäten (Personal oder Geräte) eingesetzt werden.“⁴¹³

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.“⁴¹⁴

Histogramm „Diagramm zur Darstellung von Häufigkeitsverteilungen, das oft zur Visualisierung von Messergebnissen dient. Dabei wird die Häufigkeit eines Messwerts durch die Größe von Säulen oder Balken wiedergegeben (Balkendiagramm).“⁴¹⁵

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.

Kalorie „(...) eine nicht mehr SI- und DIN-konforme Einheit der Energie (Wärme), Einheitenzeichen cal, auch mit Vorsätzen verwendet; z. B. 1 kcal = 1 000 cal. Der früher auch als große Kalorie (Cal) bezeichnete tausendfache Wert der Kalorie, die Kilokalorie (kcal), wird häufig noch bei der Angabe des täglichen Energiebedarfs (»Kalorienbedarf«) des Menschen in der Ernährungslehre verwendet. Es gab früher viele verschiedene, zum Teil nur geringfügig voneinander abweichende Werte der Kalorie, die alle durch Messvorschriften definiert waren. Die heute noch gebräuchlichen Werte Internationale Tafelkalorie (cal_T), Wasserkalorie (cal_{15}) und thermochemische Kalorie (cal_{th}) sind durch Definition an die SI-Einheit der Energie, das Joule (J), angeschlossen:

Umrechnung Joule in Kalorie: $1 cal_T = 4,1868 J$ ⁴¹⁶

⁴¹³ Jodl, H. G.; Oberndorfer W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft; Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010, S. 101.

⁴¹⁴ Online Abfrage „Grundumsatz“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/bs12-26.htm>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:35.

⁴¹⁵ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Histogramm“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 14:20.

⁴¹⁶ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Kalorie“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 16.06.2010 11:58.

Kalorimetrie, indirekte „Indirekte Messung des Energieumsatzes durch Messung der Atemgase.“⁴¹⁷

„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).⁴¹⁸

Kalorimetrie, direkte „Direkte Messung des Energieumsatzes durch Messung der Wärmeabgabe des Körpers.“⁴¹⁹

Konfidenzschätzung „Bereichsschätzung, Intervallschätzung, Statistik: die Aufgabenstellung, für einen unbekanntem Parameter einer Verteilung anhand von Stichproben ein Intervall anzugeben, in dem der Parameter mit einer möglichst großen Wahrscheinlichkeit ε liegt. Ein solches Intervall heißt Konfidenzintervall oder Vertrauensintervall und seine Grenzen Konfidenzgrenzen. Die Länge des Konfidenzintervalls ist ein Maß für die Genauigkeit der Schätzung: Je kleiner das Intervall, umso genauer ist die Schätzung. Die gewünschte Wahrscheinlichkeit ε , mit der der wahre Wert tatsächlich im Konfidenzintervall liegt, heißt Konfidenzniveau und die Wahrscheinlichkeit $1 - \varepsilon$ Irrtumswahrscheinlichkeit. Das Konfidenzniveau bestimmt also die Sicherheit der Schätzung. Die Aussagen über die Genauigkeit und Sicherheit der Schätzung unterscheiden eine Konfidenzschätzung von einer Punktschätzung.“

Ein Beispiel für eine Konfidenzschätzung ist die Schätzung des Erwartungswertes μ einer normalverteilten Zufallsvariable bei bekannter Varianz σ^2 . Der unbekanntem Erwartungswert liegt mit Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ in dem symmetrisch um das Stichprobenmittel

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

(x_i Stichprobenwerte, n Anzahl der Stichprobenelemente) gebildeten Konfidenzintervall

$$\left[\bar{x} - k_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \bar{x} + k_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

⁴¹⁷ Online Abfrage „Indirekte Kalorimetrie“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/glos12D.htm#dK>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:25.

⁴¹⁸ Online Abfrage „Indirekte Kalorimetrie“, <http://physik05.hs-niederrhein.de/Projekte/webprojektIII/WS0405/Marek2/kmdikalo.htm>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:30.

⁴¹⁹ Online Abfrage „Direkte Kalorimetrie“, <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/12/glos12D.htm#dK>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 16:21.

Dabei ist k_{α} das $(1 - \alpha/2)$ -Quantil der standardisierten Normalverteilung.⁴²⁰

Korrelationsanalyse

„Die Gewinnung statistischer Schlüsse über den Korrelationskoeffizienten (Korrelation) zweier im Allgemeinen als normalverteilt angenommener Merkmale; z. B. die Punktschätzung des theoretischen durch den empirischen Korrelationskoeffizienten.“⁴²¹

Kurvendiagramm

„Ein in Wissenschaft und Technik häufig eingesetzter Diagrammtyp (Diagramm), bei dem Datenpunkte in ein Koordinatensystem eingetragen und durch eine Linie bzw. einen Kurvenzug verbunden werden. Außer dem direkten Verbinden der Punkte sind auch Ausgleichsgeraden bzw. -kurven üblich, die einen vermuteten funktionalen Zusammenhang zeigen. In diesem Fall sollte auch die Größe des Messfehlers durch Fehlerbalken bzw. -kreuze angezeigt werden.“⁴²²

Laktat Turnpoint First Lactate Turnpoint (LTP1)

Der Punkt des ersten Anstieges der Blutlaktatkonzentration über den Ruhewert als erster Laktat Turnpoint beschrieben.⁴²³

Second Lactate Turnpoint (LTP2)

Der zweite Laktat Turn Point kennzeichnet den zweiten abrupten Anstieg der Blutlaktatkonzentration. Dieser liegt ungefähr bei einem Wert von 4 mmol/L .⁴²⁴

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.“⁴²⁵

Normal-Effektivtemperatur (NET)

„Sie berücksichtigt die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit und darf nur angewendet werden, wenn der Einfluss von Wärmestrahlung vernachlässigt werden kann.“⁴²⁶

⁴²⁰ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Konfidenzschätzung“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 29.06.2010; 10:50.

⁴²¹ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Korrelationsanalyse“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 14:30.

⁴²² Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Kurvendiagramm“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 14:22.

⁴²³ 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.

⁴²⁴ 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.

⁴²⁵ Schlagbauer, D.: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz 2006, S. 2-21.

⁴²⁶ Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaft: BG-Information 579: Hitzearbeit: Erkennen - beurteilen - schützen, Carl Heymanns, Köln 2007, S.12.

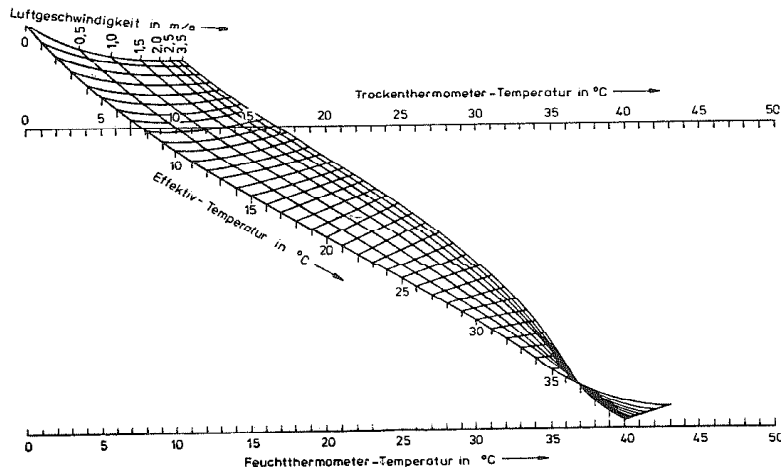


Bild 9-82 Nomogramm zur Ermittlung der Normal-Effektiv-Temperatur NET in [°C]⁴²⁷

Partie	„Arbeitsgruppe von Maurern“ ⁴²⁸
Quantil	<p>„Das, -s-s, <i>Wahrscheinlichkeitstheorie</i>: Für eine stetige Zufallsvariable X mit der Verteilungsfunktion F ist das Quantil der Ordnung q ein Wert x_q, für den die Gleichung gilt.</p> $F(x_q) = q; 0 \leq q \leq 1$ <p>Anschaulich bedeutet dies, dass das Quantil x_q den Wertebereich von X so in zwei Teile teilt, dass der Anteil q von Elementen einer hinreichend großen Stichprobe kleiner als x_q und der Anteil $1 - q$ größer als x_q ist.“⁴²⁹</p>
Regressionsanalyse	„die statistische Technik zur Vorhersage der Werte einer abhängigen Variable (z. B. Schulleistungen) aus der Kenntnis von Messwerten bei einer (z. B. mithilfe eines Tests erfasste Intelligenz) oder mehreren unabhängigen Variablen (z. B. Testintelligenz und Ängstlichkeit).“ ⁴³⁰
Schar	„Eine Reihe Ziegel“ ⁴³¹
Signifikanzniveau:	„Vom Versuchsleiter festgelegter Wert für α . Im Allgemeinen spricht man von einem signifikanten Ergebnis, wenn der ermittelte p -Wert höchstens $\alpha = 0,05$, von ei-

⁴²⁷ Yaglou, C. P.: Temperature, humidity, and air movement in industries: the effective temperature index, in: J. Industr. Hyg. 9, (1927) S. 297-309

⁴²⁸ Österreichisches Wörterbuch: Online-Abfrage <http://www.ostarrichi.org/wort-5154-at-Partie.html>, Datum des Zugriffs: 13.11.2011, 21:22.

⁴²⁹ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Quantil“, <http://www.brockhaus-enzyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 29.06.2010; 10:53.

⁴³⁰ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Regressionsanalyse“, <http://www.brockhaus-enzyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 22.12.2010, 14:33.

⁴³¹ Österreichisches Wörterbuch: Online-Abfrage <http://www.ostarrichi.org/wort-13972-atde-Schar.html>, Datum des Zugriffs: 13.11.2011, 21:13.

nem sehr signifikanten Ergebnis, wenn er höchstens $\alpha = 0,01$ beträgt.⁴³²

Stichprobe

„Statistische Messreihe, Statistik: das Ergebnis $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ einer statistischen Erhebung oder Beobachtung. Die Werte x_i heißen Stichprobenwerte, n ist der Stichprobenumfang. Als Stichprobenverfahren bezeichnet man sowohl generell das Verfahren der Stichprobenerhebung als auch die speziellen Auswahlverfahren, nach denen die Stichproben gezogen werden. – Auf Stichproben basiert die praktische Anwendung aller Verfahren der mathematischen Statistik. Grundlegend sind dabei Stichprobenfunktionen $T(x)$, die jeder Stichprobe x eine Zahl, oft eine Maßzahl der zu x gehörenden empirischen Verteilungsfunktion, zuordnen. Solche Funktionen sind z. B. Schätzfunktionen (Punktschätzung) oder Testgrößen. Die Stichprobenfunktion, die jeder Stichprobe x mit reellen Werten x_i diejenige Stichprobe zuweist, die die Werte von x nach wachsender Größe enthält, heißt Ordnungsstatistik. Sie spielt eine wichtige Rolle bei nichtparametrischen Verfahren. – Zur Bezeichnung der Maßzahlen der empirischen Verteilung von x wird »Stichprobe« vorangestellt (z. B. Stichprobenmittelwert, Stichprobenvarianz).

Die Stichprobentheorie befasst sich mit dem Problem, aus einer Grundgesamtheit $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ mit N Merkmalswerten nach bestimmten Auswahlverfahren eine Stichprobe von möglichst kleinem Umfang auszuwählen, die repräsentativ ist, d. h. ein möglichst gutes Abbild der Grundgesamtheit darstellt. Mathematisch heißt dies, dass die empirische Verteilung von x eine gute Näherung der empirischen Verteilung von y sein soll. Es sind dann auch die Maßzahlen gute Schätzwerte für die entsprechenden Maßzahlen von y . Repräsentative Stichproben benötigt man z. B. bei der Hochrechnung. Da die Stichprobenwerte x_i dem Zufall unterliegen, werden sie als Realisationen von Zufallsvariablen, den Stichprobenvariablen, aufgefasst. Mit Methoden der Wahrscheinlichkeitstheorie kann dann z. B. die Güte der Schätzung des Mittelwerts von y durch denjenigen von x untersucht werden.⁴³³

t-Verteilung

„Student-Verteilung; stetige theoretische Verteilung, die durch W.S. Gosset (1908; Pseudonym: „Student“) entwickelt wurde. Besitzen die Zufallsvariablen X_1 bzw. X_2 eine Standardnormalverteilung bzw. eine Chi-Quadrat-Verteilung mit k Freiheitsgraden und sind sie stochastisch unabhängig (stochastische Unabhängigkeit), dann ist die aus ihnen abgeleitete Zufallsvariable

$$X_1 / \sqrt{X_2/k}$$

t -verteilt mit k Freiheitsgraden. Die t -Verteilung ist symmetrisch zur Ordinatenachse. Für Quantile der t -Verteilung existieren Tabellenwerke. Mit zunehmendem

⁴³² Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S585.

⁴³³ Brockhaus Enzyklopädie Online: Definition des Begriffs „Stichprobe“, <http://www.brockhaus-encyklopaedie.de>, Datum des Zugriffs: 29.06.2010; 10:23.

k nähert sich die t-Verteilung der Standardnormalverteilung (Approximation).

Anwendung u.a. bei der Konfidenzschätzung von Erwartungswerten normalverteilter Variablen sowie bei verschiedenen statistischen Testverfahren (Prüfung eines Erwartungswertes im Ein-Stichproben-Fall; Vergleich von Erwartungswerten im Zwei-Stichproben-Fall).⁴³⁴

Terminsituation

Unter dem Begriff „Terminsituation“ werden Ereignisse und Ein- bzw. Auswirkungen auf den Terminplan bzw. dessen Einhaltung beschrieben, z.B. bedeutet eine enge Terminalsituation, dass nur wenig bis kein Puffer zur Verfügung steht und daher jede Verzögerung eine Überschreitung des Terminziels hervorrufen kann.

⁴³⁴ Wirtschaftslexikon Gabler, Online-Abfrage <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/t-verteilung.html?referenceKeywordName=Student-Verteilung>, 13.11.2011, 21:32 oder Vgl. Bamberg, Günter et al.: Statistik, 15. Auflage, Oldenbourg, München 2009.

Werte für die t-Verteilung können z.B. Bortz, J.; Schuster, C.: Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler, 7. Auflage, Springer, Berlin 2010, S. 590 entnommen werden.

Literaturverzeichnis

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.; Ehartner, 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, Internationales 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 refercencene 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 VO₂max 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

Internetquellen

Brockhaus Enzyklopädie Online:

<http://www.brockhaus-enzklopaedie.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

WKO:

http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?AnglID=1&StID=449241&DstID=8560

o.V.: 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

o.V.: 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

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

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

Wirtschaftslexikon Gabler: Online-Abfrage

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de>

Vorträge

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.

