

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Vorwort | 5 |
| LECHNER | |
| I. Ablaufstörungen können vermieden werden | 7 |
| PILS / FRÜHWIRTH | |
| II. Was sind Hauptgründe für Bauablaufstörungen, wie können sie reduziert bzw. vermieden werden und warum werden Nachträge zurückgewiesen? | 27 |
| HOFSTADLER | |
| III. Nachweis von Produktivitätsverlusten am Beispiel der Stahlbetonarbeiten – Literaturansätze im Vergleich zu aktuellen Untersuchungsergebnissen..... | 45 |
| SCHLAGBAUER | |
| IV. Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven – Ansätze zur Arbeitszeitgestaltung auf Basis arbeitsphysiologischer Parameter..... | 75 |
| GRALLA / SUNDERMEIER | |
| V. Projektbegleitende Bewältigung von Bauablaufstörungen – im Adjudikations-Verfahren erfolgreicher? | 109 |
| RUMMER | |
| VI. Vertragsanpassungen vorbeugen und effizient und effektiv abwickeln – von der Theorie zur Praxis..... | 127 |
| GOGER | |
| VII. SOLL oder IST, das ist hier die Frage! Die sachgerechte Ermittlung von Mehrkosten aus Bauablaufstörungen | 145 |
| BITZINGER | |
| VIII. Wer schreibt, der bleibt! – Dokumentation des Bauablaufes im Hochbau | 165 |
| HECK / SCHUBERT | |
| IX. Der adäquat-kausale Nachweis von Bauablaufstörungen | 179 |
| AICHER | |
| X. Die Rechtsfolgen von Bauablaufstörungen nach dem ABGB | 209 |
| LESSIAK | |
| XI. Die ÖNORM B 2110 und Bauablaufstörungen | 221 |
| Sponsoren | 239 |

IV. Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven - Ansätze zur Arbeitszeitgestaltung auf Basis arbeitsphysiologischer Parameter

Bmstr. Dipl.-Ing. Dieter Schlagbauer
Universitätsassistent am Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Technische Universität Graz
Lessingstraße 25/2, 8010 Graz
dieter.schlagbauer@tugraz.at

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abstract | 77 |
| 1. Einleitung | 77 |
| 2. Stand der Forschung in Bezug auf die Arbeitsleistungskurven | 79 |
| 2.1. Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann | 79 |
| 2.2. Die Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter | 81 |
| 3. Kritische Auseinandersetzung mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven | 83 |
| 3.1. Allgemeines zur Anwendung der Arbeitsleistungskurven..... | 83 |
| 3.2. Anmerkungen zur Arbeitsleistungskurve nach Lehmann | 83 |
| 3.3. Anmerkungen zu den Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter..... | 84 |
| 4. Tätigkeitsabhängige Leistungsabschätzung | 86 |
| 4.1. Ansatzpunkte und Überlegungen der Neuformulierung | 86 |
| 4.2. Systematik der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung | 86 |
| 5. Anwendung der Arbeitsleistungskurve für Mauerwerksarbeiten..... | 88 |
| 6. Vergleich der tätigkeitsabhängigen mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven | 89 |
| 6.1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung | 89 |
| 6.2. Bestimmung des Leistungsverlustes mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven | 91 |

| | | |
|------|--|-----|
| 6.3. | Bestimmung des Leistungsverlustes mit Hilfe der neu Entwickelten Systematik des tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustes..... | 94 |
| 6.4. | Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Leistungsverlustberechnungsmodelle | 103 |
| 7. | Zusammenfassung und Forschungsausblick | 105 |
| | Literaturverzeichnis..... | 107 |

Abstract

Im Beitrag wird dargestellt, welche grundlegenden Veränderungen dazu geführt haben, dass eine Bearbeitung der bestehenden Arbeitsleistungskurven von Lehmann und Burkhardt bzw. Winter notwendig wurde.

Um den Kritikpunkten an den bestehenden Arbeitsleistungskurven gerecht zu werden, wurde eine neue Systematik entwickelt, mit welcher zusätzliche Einflussparameter auf die Arbeitsleistung (Art der Tätigkeit, individuelle körperliche Voraussetzungen) ergänzend zur Arbeitszeit berücksichtigt werden können.

Anhand eines Berechnungsbeispiels für Mauerwerksarbeiten wurde gezeigt, wie die zwei bestehenden Verfahren und die neu entwickelte Systematik angewandt werden und welche Differenzen zwischen den drei Berechnungsmethoden entstehen.

In der abschließenden Gegenüberstellung der Ergebnisse des Leistungsverlaufs während eines Arbeitstages konnten die konkreten Abweichungen für diese exemplarische Anwendung aufgezeigt werden. Daraus wurde ersichtlich, dass sich für Mauerwerksarbeiten die Arbeitsleistungskurve von Schlagbauer der Arbeitsleistungskurve von Winter ab der sechsten Stunde annähert und davor zwischen den Leistungswerten von Lehmann und Winter liegt.

1. Einleitung

Die Bauausführung offenbart in einer steten Regelmäßigkeit eine Diskrepanz zwischen dem ursprünglich geplanten und der realen Bauausführung. Die Gründe dafür sind vielfältig, aber in der Konsequenz sind für alle am Bau Beteiligten die Folgen unter Umständen erheblich. Der Bauunternehmer selbst stellt solche Änderungen häufig bei seinen geplanten Arbeitsvorgängen fest; - die Ursache hingegen bleibt häufig verschlossen.

So treten auftraggeberseitig Änderungen - selbst im vertraglichen Leistungsinhalt - auf, da Adaptierungen den Terminplan durch eine zu optimistische Annahme von zeitlichen Abfolgen verändern, die gegebenenfalls auf der Gewerkeebene zu Forcierungen¹ führen können.

Aber auch auf der Seite der Arbeitnehmer kann eine unzureichende Arbeitsvorbereitung oder Falscheinschätzung zu Beschleunigungsmaßnahmen

¹ Nach Jodl/Oberndorfer² ist eine Forcierung eine Beschleunigung der Leistungserstellung, indem vorhandene Kapazitäten intensiver genutzt oder zusätzliche Kapazitäten eingesetzt werden

² Vgl. Jodl/Oberndorfer: Handwörterbuch der Bauwirtschaft, Seite 101

men führen. Die Folge auf den jeweiligen beschleunigten Arbeitsprozess, speziell für den Bauarbeiter, ist Inhalt dieses Beitrags.

Im Falle einer erforderlichen Forcierung aus der eignen Sphäre des Auftragnehmers führt dies üblicherweise zu der unternehmerischen Überlegung, welche Variante für ihn selbst betriebswirtschaftlich „günstiger“ ist. So können möglicherweise die Zahlung einer eventuell vereinbarten Pönale oder zusätzliche Kosten durch erhöhten Arbeitereinsatz in der Bauausführung gegenübergestellt werden.

Im Falle der Forcierung auf Basis einer Beauftragung durch den Auftraggeber (AG) wird auch dieser vor der Auftragserteilung wissen wollen, was ihn die Forcierungsmaßnahmen „kosten“ werden. In diesem Fall wird der AG eine Gegenüberstellung zwischen den Auswirkungen der verzögerter Fertigstellung des Bauwerks und den Kosten für die Forcierung vom AN fordern, um seine Interessen im Sinne der Dispositionsfreiheit wahren zu können,

In beiden Fällen ist es möglich, dass die Forcierung allein durch die Verlängerung der Arbeitsdauer bzw. meist durch die Kombination von einzelnen Maßnahmen wie einer Verlängerung der täglichen Arbeitszeit und der Erhöhung der Partiestärke sowie des Maschinenstandes erfolgt.³

Um nun eine Entscheidung für die Bauausführung mit ihren jeweiligen terminlichen und monetären Folgen treffen zu können, ist eine dezidierte Bewertung des entstehenden Leistungsverlustes in Folge veränderter täglicher Arbeitszeit erforderlich. Dieser Vorgang erfolgt zumeist in Anlehnung an das von Vygen / Schubert / Lang⁴ dargestellte Verfahren, wobei dieses die Leistungskurve von Winter⁵ als Grundlage für die Berechnungen ansetzt. Eine weitere Leistungskurve, die alternativ zu Winter verwendet werden kann, findet sich bei Lehmann⁶.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurden auch die Rahmenbedingungen untersucht, welche sich gegenüber den ca. 1960 entwickelten Arbeitsleistungskurven verändert haben. Gerade die operative Abwicklung von Baumaßnahmen gab es erhebliche technologische Entwicklungsschritte.⁷ Daher wurde diese Entwicklungen im Forschungsprojekt „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ zum Anlass genommen, die bestehenden Kurven eingehend zu verifizieren und einen neuen Ansatz zu erarbeiten. Insbesondere die in den vergangenen Jahrzehnten fortgeschrittene Maschinerisierung und die durch die Diversifizierung erzielte Produktivitätssteigerung im Bereich der Lohnleistungen, welche in den vorhandenen Arbeits-

³ Anzumerken ist, dass durch die Vergrößerung der Partiestärke nicht immer eine proportionale Erhöhung der Leistung erreicht wird. Eine Möglichkeit zur Abschätzung dieser Auswirkung findet sich bei Vygen/Schubert/Lang⁴

⁴ Vygen/Schubert/Lang: Bauverzögerung und Leistungsänderung: rechtliche und baubetriebliche Probleme und ihre Lösungen, Seite 465 ff

⁵ Winter: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Seite 83

⁶ Lehmann in Rohmert: Praktische Arbeitsphysiologie, Seite 130

⁷ Vgl. Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-1 ff

leistungskurven nicht abgebildet wird, sollte als neuer Aspekt in der Arbeitsleistungskurve Berücksichtigung finden.

Im Folgenden wird der derzeitige Forschungsstand zum Thema Arbeitsleistungskurven vorgestellt und die Kritikpunkte dargelegt. Weiters wird die im Forschungsprojekt erarbeitete neue Ermittlungssystematik für die tätigkeitsabhängige Leistungsverlustberechnung vorgestellt. Abschließend werden Vergleiche bei der Anwendung zwischen den bestehenden und der neu erstellten Leistungsverlustermittlung vorgenommen, und die möglichen Abweichungen mit Hilfe von sportmedizinischen sowie bauwirtschaftlichen Methoden erörtert.

2. Stand der Forschung in Bezug auf die Arbeitsleistungskurven

Eine Arbeitsleistungskurve stellt den Zusammenhang zwischen der täglichen Arbeitszeit und der Arbeitsleistung eines Bauarbeiters graphisch dar. Hierbei können zwei Darstellungsweisen unterschieden werden. Während auf der horizontalen Achse in beiden Fällen die tägliche Arbeitszeit aufgetragen wird, ist auf der vertikalen Achse entweder die Summenlinie der erbrachten Arbeitsleistung aufgetragen oder die Verhältniszahl zwischen der stündlich erbrachten Arbeitsleistung zu der täglichen durchschnittlichen Arbeitsleistung während einer Acht-Stunden-Schicht.

Im Folgenden werden die drei derzeit bestehenden Arbeitsleistungskurven dargestellt, die Grundlagen beschrieben und abschließend eine kritische Betrachtung durchgeführt.

2.1. Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann

Die Arbeitsleistungskurve nach Lehmann findet sich in der Arbeit „Praktische Arbeitsphysiologie“⁸ aus dem Jahr 1962, in welchem die arbeitsphysiologische Probleme, welche in Betrieben auftreten können, beschrieben werden.

Das Zielpublikum dieser Abhandlung des Arbeitsmediziners Lehmann waren Studenten der Medizin, wobei einzelne Aspekte auch Grundlagen für die Erforschung der menschlichen Physiologie darstellen. Erst im Zuge der Entwicklung der arbeitswissenschaftlichen Forschung wurden Lehmanns Ansätze für den Einsatz des Faktors Mensch in technischen Berufen aufgegriffen.

⁸ Lehmann: Praktische Arbeitsphysiologie, Seite 391

Die Grundlagen für die Entwicklung seiner Arbeitsleistungskurve bilden die arbeitsphysiologische Untersuchungen sowie die Darstellung von Auswirkungen unterschiedlichen Belastungen auf den Körper.⁹

Lehman erläutert seine Kurve wie folgt:

„Die Kurve bei einer Proportionalität zwischen Arbeitszeit und Leistung ist der Grenzwert, der im normalen Arbeitsleben nicht erreichbar ist. (...) 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, da kein Mensch mit Beginn seiner Arbeit schon seine volle Leistung erbringen kann, muss in die Überlegungen mit eingebunden werden.(...) Daraus ergibt sich, dass eine 6 Stundenschicht annähernd die gleiche Leistung erbringt wie eine 8 Stundenschicht, da nach ungefähr 6 Stunden wieder ein Rückgang der Leistung eintritt. Über 8 Stunden steigt die Tagesleistung im Vergleich zu einem 8-Studentag nur mehr sehr gering an.“¹⁰

Auf der Basis dieser Überlegungen skizziert Lehmann folgendes Bild der arbeitstäglichen Leistungsentwicklung:

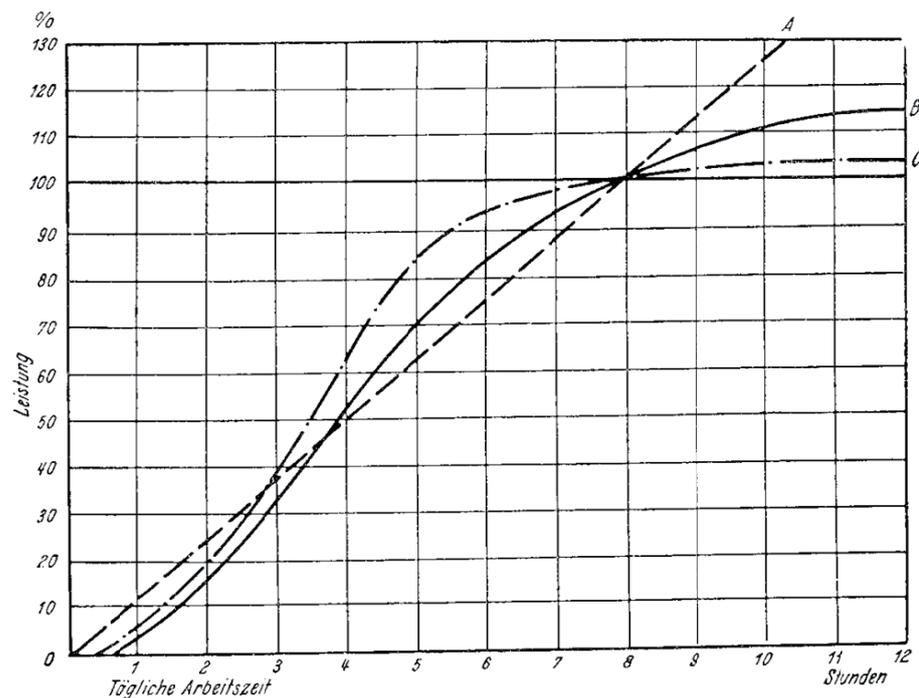


Bild IV-1 Arbeitsleistungskurve nach Lehmann¹¹
 Kurve A ... Proportionale Leistung
 Kurve B ... leichte körperliche Arbeit
 Kurve C ... schwere körperliche Arbeit

⁹ Vgl. Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung Seite 2-2 f

¹⁰ Lehmann: Praktische Arbeitsphysiologie, Seite 390 f

¹¹ Lehmann: Praktische Arbeitsphysiologie Seite 390

2.2. Die Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter

2.2.1. Die Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt

Neben der Darstellung von Lehmann findet sich in der Literatur eine weitere Erklärung zum Zusammenhang von Arbeitszeit und Arbeitsleistung bei Burkhardt in dessen Veröffentlichung „Kostenprobleme der Bauwirtschaft“¹². In dieser findet sich die 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.“¹³

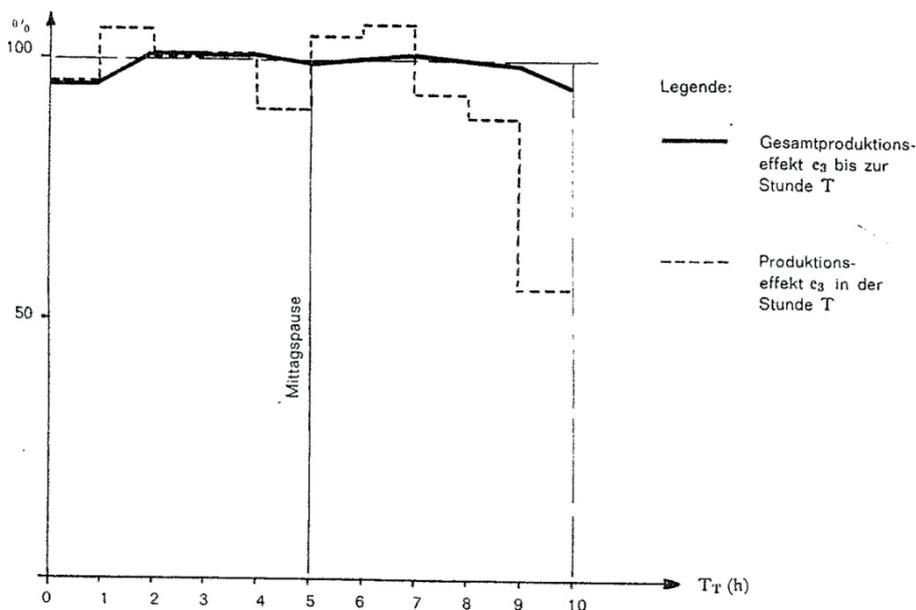


Bild IV-2 Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt¹⁴

Zur Entstehung der Kurve erklärt der Bauingenieur Burkhardt:

„Wir haben Scraper- und Baggerleistungen in Abhängigkeit von der täglichen Arbeitszeit gemessen, die zeigen, dass die Leistungsabnahme bemerkenswert ist.“¹⁵

¹² Vgl. Burkhardt: Kostenprobleme der Bauproduktion

¹³ Burkhardt: Kostenprobleme der Bauproduktion, Seite 80 f

¹⁴ Burkhardt: Kostenprobleme der Bauproduktion, Seite 80

¹⁵ Burkhardt: Kostenprobleme der Bauproduktion, Seite 80

Eine praktische Anwendung der Arbeitsleistungskurve von Burkhardt war von ihm selbst anscheinend nicht vorgesehen.

2.2.2. Die Arbeitsleistungskurve nach Winter

Die Weiterentwicklung der Arbeitsleistungskurve von Burkhardt wurde durch Winter¹⁶ realisiert, der eine für die damalige Zeit anwendbare Darstellung und Berechnungsmethode auf Basis der Ergebnisse von Burkhardt erstellte. Als erster Schritt entstand eine überarbeitete Version der Leistungskurve von Burkhardt, welche in Bild IV-3 dargestellt ist.

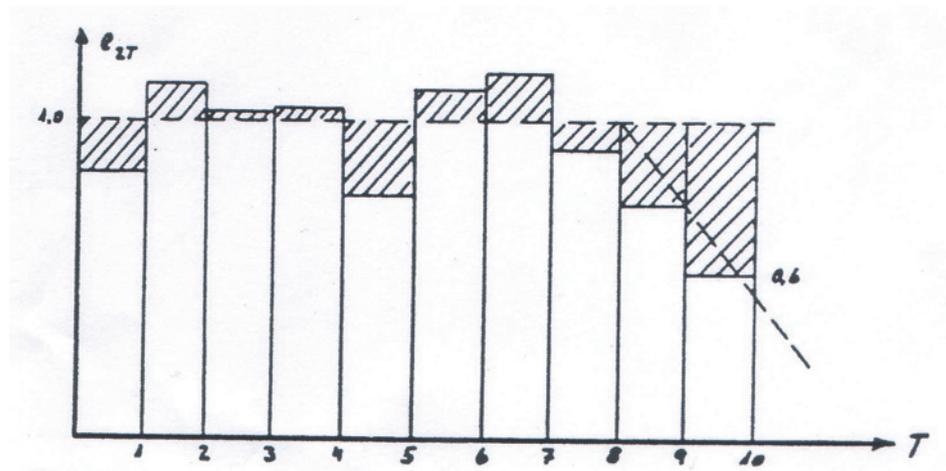


Bild IV-3 Arbeitsleistungskurve nach Winter¹⁷

Winter glättete den Kurvenverlauf in der Art, dass die Leistungsänderung mit Hilfe einer einfachen Funktion Glg. 1 beschrieben werden konnte:¹⁸

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

Die Tagesleistung wird dabei als Produkt des Leistungseffektes e und der Arbeitsdauer T berechnet.

¹⁶ Winter: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Seite 83

¹⁷ Leistungskurve nach Burkhardt dargestellt in Winter Hermann-Josef: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Seite 83

¹⁸ Winter: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Seite 85

3. Kritische Auseinandersetzung mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven

3.1. Allgemeines zur Anwendung der Arbeitsleistungskurven

Aus der Sicht des Verfassers werden die bestehenden Arbeitsleistungskurven in Ermangelung von Alternativen für nahezu alle Arbeiten der Bauwirtschaft angewandt, obwohl wie zuvor erklärt, ihre Entwicklung und spezifischen Grundlagen in einem sehr engen Feld erarbeitet wurden. Auch werden in der täglichen Anwendung die besonderen Umstände der Baustelle nicht berücksichtigt.

Diese fehlende Unterscheidung in unterschiedliche Tätigkeiten wäre wahrscheinlich bereits bei der Transposition auf andere Arbeiten und bei der Übernahme in die bauwirtschaftliche Literatur zu kritisieren gewesen, da sich die arbeitsmedizinische Forschung zum damaligen Zeitpunkt aber speziell der stationären Industrie widmete, konnte die Kurve von Lehmann diesem Umstand nie gerecht werden. Im Hinblick auf Burkhardt und Winter ist in diesem Zusammenhang zu sagen, dass in dieser Zeit die überwiegende Anzahl der Arbeitstätigkeiten körperlicher Art war, weshalb dieser Umstand nach Ansicht des Verfassers noch vernachlässigt werden konnte. Aufbauend auf diesen Überlegungen scheint es aber aufgrund der aktuellen Situation auf der Baustelle nicht mehr möglich, den Leistungsverlauf auf der Baustelle für sämtliche Gewerke mit nur einer Kurve allein abzubilden.

3.2. Anmerkungen zur Arbeitsleistungskurve nach Lehmann

Wie bereits einleitend festgehalten, beschäftigte Lehmann sich mit medizinischen Untersuchungen und entwickelte aus diesen und weiteren zur damaligen Zeit bekannten oder erhobenen Erkenntnissen und Erfahrungen seine Leistungskurve als Abschluss eines sehr kurzen Kapitels zum Thema Arbeitszeit.

„Dieser Umstand wurde allerdings auch von Lehmann erkannt und dadurch Rechnung getragen, dass er die Leistungskurve nur als schematische Darstellung der verschiedenen, möglichen Körperreaktionen, welche auch im Text beschrieben sind, ansah.“¹⁹

Für die Weiterentwicklung hin zu einer tätigkeitsabhängigen Leistungsermittlung auf Basis arbeitsphysiologischer Erkenntnisse bilden die Überlegungen von Lehmann eine unverzichtbare Grundlage, da diese viele der

¹⁹ Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-5

grundsätzlichen Körperreaktionen erklären und so für die Methodenauswahl der Datenerhebung herangezogen werden können.

Im Zuge der Analyse der bestehenden Leistungskurven wurden folgende Anmerkungen hinsichtlich der Verwendung gemacht, welche auch für diesen Beitrag gelten:

- *„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 Maschinerisierung 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 Maschinerisierung bzw. Mechanisierung zum Zeitpunkt der Untersuchung gibt Anlass, diesen Umstand weiter zu untersuchen und aufbauend auf die Erkenntnisse von Lehmann die Leistungskurven zu verändern.“²⁰*

Anhand dieser Aufzählung ist ersichtlich, dass die Adaptierung der bestehenden Arbeitsleistungskurven notwendig ist. Dabei ist es möglich, sich an den Grundsätzen von Lehmann im Hinblick auf die physiologischen Reaktionen des Körpers zu orientieren. Wesentlich ist aber, dass bei der Erstellung einer neuen Arbeitsleistungskurve die weitere Anwendung mit berücksichtigt wird. Dieser Umstand ist bei Lehmann, der die Arbeitsleistungskurve nur auf Basis der grundlegenden arbeitsmedizinischen Überlegungen skizzierte nicht gegeben.

3.3. Anmerkungen zu den Arbeitsleistungskurven nach Burkhardt und Winter

Bei Burkhardt und vor allem Winter müssen drei wesentliche Kritikpunkte hervor gehoben werden:²¹

²⁰ Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-6

²¹ Vgl. Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-22f und 2-25

- Es gibt nur wenige Kenntnisse über die Untersuchung bzw. Beobachtung von Burkhardt. Dadurch ist es nicht möglich die Einflüsse verschiedener Randbedingungen in die Überlegungen einfließen zu lassen.
- Bei der Veränderung der Kurve durch Winter wurden für die vereinfachte Berechnung Effekte zu Beginn der Arbeit, vor und nach eingelegten Pausen, sowie kurz vor Ende der täglichen Arbeitstätigkeit außer Acht gelassen.
- Besonders auffällig ist in diesem Zusammenhang der starke Leistungsabfall in der letzten (zehnten) Stunde, da der Leistungswert dieser zehnten Stunde nur mehr etwas mehr als 50% des Leistungswertes der vorhergehenden Stunde darstellt. Dieser Umstand, also die Leistung der ersten und letzten (halben) Stunde des Arbeitstages sollte daher nochmals eingehender überprüft werden.

Ebenso ist die Übertragung von Leistungsdaten, welche ausschließlich auf Basis von Maschineneinsätzen erbracht wurden, auf Arbeiten, mit überwiegend körperlich beanspruchenden Tätigkeiten zu überdenken. In der Analyse der Arbeitsleistungskurven wird von Schlagbauer folgendes ausgeführt:

„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.“²²

Um dies zu erklären müssen die beiden Begriffe betrachtet werden: Die Mechanisierung ist durch einen automatisierten Betriebsablauf gekennzeichnet.²³

„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.“²⁴

Entsprechend dieser Überlegungen zu den bestehenden Leistungskurven und den Veränderungen des Baustellenumfeldes, welche einleitend im nächsten Kapitel wiedergegeben werden, zeigt sich die Notwendigkeit eines neuen ganzheitlichen Ansatzes.

Es muss ergänzend zu den bestehenden Überlegungen auf die individuelle Leistungsfähigkeit der Bauarbeiter und den Umstand der stark differenzierenden Belastungen unterschiedlicher Aufgabenbereiche eingegangen werden.

²² Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-20

²³ Vgl. Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-21

²⁴ Schlagbauer: Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Seite 2-21

4. Tätigkeitsabhängige Leistungsabschätzung

4.1. Ansatzpunkte und Überlegungen der Neuformulierung

Die in baubetrieblichen und bauwirtschaftlichen Überlegungen oft zitierten Arbeitsleistungskurven gehen von durchgehenden, konstanten und gleichbleibenden Tätigkeiten aus, die während eines Arbeitstages ausgeführt werden. Die heutige Belastung auf Baustellen entspricht diesen Annahmen allerdings nicht immer, denn durch die arbeitsteiligen und feingliedrigen Tätigkeiten und Arbeitsschritte ergibt sich eine zumeist unstete und sehr stark schwankende Belastung der Arbeitnehmer.

Aus diesem Grund wurden Tätigkeitsuntersuchungen mit Hilfe von REFA²⁵-Aufnahmen durchgeführt, um die unterschiedlichen Arbeitsaufgaben, aber auch die Unterbrechungen und Erholungszeiten (Pausen) zu erheben.²⁶

Die Darstellung des Arbeitsleistungsverlaufes ist nicht mehr allein abhängig von der gearbeiteten Zeit, sondern wird vielmehr von den durchgeführten Tätigkeiten, der Art der Ausführung sowie der jeweiligen Einsatzzeit einer jeweiligen Tätigkeit abhängig gemacht.

4.2. Systematik der tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustermittlung

Entsprechend der zuvor vorgebrachten Kritikpunkte sind für die Ermittlung des Leistungsverlustes zusätzlich zur täglichen Arbeitszeit weitere Eingangsparameter notwendig. Diese weiteren Parameter sind:

- die persönlichen Kenngrößen der Person (Alter, Gewicht, Körpergröße), um die Individualität des Bauarbeiters zu berücksichtigen,
- die Belastungsparameter der zu erbringenden Tätigkeiten, um die Belastungen 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, der einzelnen, zu erbringenden Tätigkeiten bewerten.

²⁵ REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.

²⁶ Schlagbauer in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement: Tagungsband 21. Assistententreffen der Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Seite 214 ff

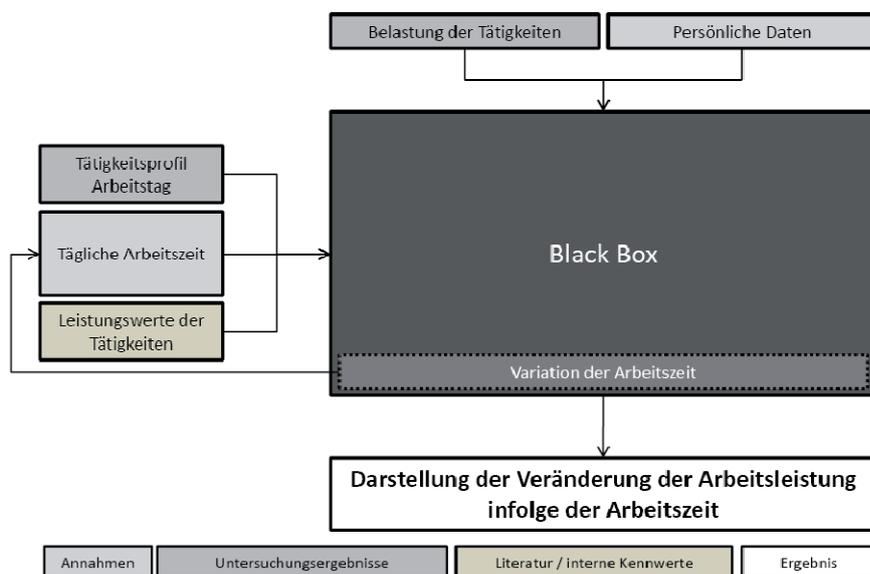


Bild IV-4 Systematik der Leistungsverlustermittlung

Nachfolgend werden die einzelnen Eingangsparameter eingehend vorgestellt und die Ergebnisse der Datenauswertung des Forschungsprojektes, welche für die weitere Verwendung notwendig sind, vorgestellt.

4.2.1. Tägliche Arbeitszeit

Die tägliche Arbeitszeit ist der erste Eingangsparameter der Arbeitsleistungskurve. Infolge der jeweiligen Arbeitszeit ergibt sich - in Kombination mit den zu erbringenden Tätigkeiten (Tätigkeitsprofil) - ein Verhältnis zwischen den zu erbringenden Tätigkeiten zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe (z.B. Errichtung einer Außenmauer) und den Pausenzeiten. Ebenso müssen Tätigkeiten, die für den allgemeinen Bauablauf notwendig sind (z.B. Herrichten zu Arbeitsbeginn und Aufräumen am Ende des Arbeitstages) berücksichtigt werden. Diese Zusammenhänge werden im Rahmen des Tätigkeitsprofils abgebildet. Ebenso kann der maximale Energieumsatz in Abhängigkeit der Arbeitszeit ermittelt werden. Dieser stellt einen Grenzwert für die Ausführung von Tätigkeiten ohne Leistungsminderung dar.

4.2.2. Tätigkeitsprofil des Arbeitstages eines Bauarbeiters

Für die Leistungsverlaufsermittlung ist neben der Art der Tätigkeit auch die Abfolge der einzelnen Tätigkeiten wesentlich. Daher wird vor der Berechnung der geplante Arbeitsablauf festgelegt. Aus diesem Tätigkeitsprofil kann somit in Kombination mit den Belastungskennwerten eine Vorbelastung für die weiteren Tätigkeiten ermittelt werden. Das Tätigkeitsprofil kann dabei aufgrund der Erfahrung von Bauleitern oder Polieren abgeschätzt oder durch gezielte Baustellenbeobachtungen bestimmt werden.

4.2.3. Persönliche Daten des Bauarbeiters

Neben diesen tätigkeitsbezogenen Eingangsparametern muss die individuelle körperliche Leistungsfähigkeit berücksichtigt werden. Kein Arbeiter kann über einen längeren Zeitraum über seinem persönlichen Leistungslevel arbeiten, ohne dass sich Folgeerscheinungen in Form von erhöhter Abnutzung oder Überbelastungssyndromen einstellen. Zur Einstufung der körperlichen Leistungsfähigkeit werden auf Basis des Alters die maximale Herzfrequenz und die Herzfrequenz an der Dauerleistungsgrenze bestimmt.

4.2.4. Relative Belastungen der Tätigkeiten

Ein wesentliches Ergebnis des Forschungsprojektes stellen die relativen Belastungen einzelner Tätigkeiten dar. Die relative Belastung bildet das Verhältnis der Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeit zu einer individuellen Herzfrequenzschwelle unter der weiteren Berücksichtigung der individuellen Einflussfaktoren Körperbau und Vorbelastung am jeweiligen Arbeitstag ab.

4.2.5. Leistungswerte für Tätigkeiten

Der abschließende Eingangsparameter ist der Leistungswert der zu erbringenden Tätigkeit. Zu beachten ist, dass es sich bei diesem Aufwandswert um den Netto-Aufwandswert handeln muss.²⁷

5. Anwendung der Arbeitsleistungskurve für Mauerwerksarbeiten

Die Bestimmung des Leistungsverlustes infolge unterschiedlicher Arbeitszeit erfolgt in fünf Schritten mit Hilfe den aus dem Forschungsprojekt gewonnenen Datengrundlagen.

Diese fünf Schritte sind:

- Ermittlung der personenbezogenen Parameter
- Festlegung der Tätigkeitsverteilung am Arbeitstag
- Ermittlung der Herzfrequenzwerte der einzelnen Tätigkeitskategorien
- Bestimmung des Leistungsfortschritts
- Veränderung der Arbeitszeit

²⁷ Diese Unterscheidung ist notwendig, da die weiteren Zeiten (z.B. Verteilzeiten oder Wartezeiten), die üblicherweise in Tabellenwerken (z.B. ARH) bei der Angabe von Aufwandswerten mit berücksichtigt werden, in diesem Fall im Tätigkeitsprofil des Arbeitstages Eingang finden

Die vom Bauarbeiter erreichbare Leistung wird dabei von zwei Schwellenwerten begrenzt:

- Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze, welche hier mit dem Wert der Herzfrequenz an der aeroben Schwelle (HF_{LTP1}) bestimmt wird.
- Maximaler Energieumsatz des Arbeitstages in Abhängigkeit der Arbeitsdauer ($AEE(t)$).

Wird bei der Zusammenstellung der Tätigkeiten der Wert von HF_{LTP1} überschritten, so wird eine Pause vorgesehen, um die Herzfrequenz zu senken. Ergibt sich trotz der Anordnung von Pausen eine weitere Überschreitung der Herzfrequenzschwelle, so muss mit Hilfe eines Abminderungsfaktors diese Überschreitung der Beanspruchungsgrenze berücksichtigt werden.

Mit fortschreitender Arbeitsdauer wird der maximale Arbeitsenergieumsatz wesentlich, da es sich hier um die Begrenzung der Belastung handelt, um die Tätigkeit über einen längeren Zeitraum als einen Arbeitstag ausführen zu können. Bei Überschreitung dieses Grenzwerts wird mit Hilfe eines zweiten Abminderungsfaktors dieser Überbeanspruchung Rechnung getragen.

6. Vergleich der bestehenden mit der tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurven

Zur Darstellung, welche Auswirkungen die Neubearbeitung der Arbeitsleistungskurve hat, wird eine beispielhafte Berechnung des Leistungsverlustes mit Hilfe der bestehenden Arbeitsleistungskurven und mit Hilfe der neu erstellten Systematik durchgeführt.

6.1. Ausgangssituation und Aufgabenstellung

6.1.1. Arbeitsaufgabe und -umfang

Als zu erbringende Leistung wurde die Erstellung einer 25 cm dicken Mauer aus Hochlochziegeln als Außenwand eines zweigeschossigen Wohnbaus ausgewählt. Die Abmessungen des Gebäudes sind:

- Länge: 38,60 m
- Breite: 12,62 m
- GeschöÙhöhe 3,00 m , Deckenstärke 18 cm

Somit ergibt sich eine Gesamtaußenwandfläche (A_{Ges}) von 577,8 m².

$$A_{Ges} = 2 * (38,60 + 12,62) * (2 * (3,0 - 0,18)) = 577,8 \text{ m}^2 \quad (2)$$

In diesen Wänden sind je Geschoss folgende Öffnungen vorgesehen:

- Südseite: 8 Fenstertüren 2,2 x 1,1 m und 8 Fenster 1,4 x 1,3 m
- Westseite und Ostseite: je 2 Fenster 1,4 x 1,3 m
- Nordseite: 4 Fenster 0,5 x 0,8 m und 4 Eingangstüren 1,2 * 2,1 m

Daraus ergibt sich eine Gesamtfensterfläche (A_F) entsprechend Glg. 3 von 52,9 m².

$$A_F = 8 * (2,2 * 1,1 + 1,4 * 1,3) + 2 * (2 * (1,4 * 1,3)) + 4 * (0,5 * 0,8 + 1,2 * 2,1) = 52,9 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Durch die Subtraktion der Gesamtfensterfläche (A_F) von der Gesamtaußenwandfläche (A_{Ges}) ergibt sich, dass die reine Mauerwerksfläche (A_M) 524,9 m² beträgt.

6.1.2. Personal

Zur Ausführung dieser Arbeitsaufgabe wurden sechs Bauarbeiter in drei Partien mit jeweils einem Facharbeiter und einem Hilfsarbeiter vorgesehen.

6.1.3. Aufwandswert

Aus der Fachliteratur kann ein mittlerer Aufwandswert für die Mauerwerksarbeiten entnommen werden. In diesem Beispiel wurde der Wert der ARH²⁸ herangezogen. Aus diesen Tabellen ergeben sich folgende Werte:

- Aufwandswert volles Mauerwerk $AW_V = 3,10 \text{ Std/m}^2$
- Aufwandswert bei Mauerwerk mit Öffnungen $AW_G = 3,50 \text{ Std/m}^2$

In Anmerkungen zu den Tabellen findet sich in der ARH im Hinblick auf die Erschwernisse von Öffnungen folgender Hinweis:

„Aufmaßregelung:

*Die nach VOB abzugsfähigen Öffnungen sind durch die Gliederung des Mauerwerks nach Schwierigkeitsgraden bereits in den Arbeitszeit-Richtwerten berücksichtigt und werden nicht gesondert vergütet.*²⁹

Entsprechend dieser Überlegungen wird der Aufwandswert für die zuvor beschriebene Außenwand mit $AW = AW_G = 3,50 \text{ Std/m}^2$ festgelegt.

²⁸ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten

²⁹ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Anmerkungen unter Punkt 6.13 zu Mauerarbeiten mit großformatigen Steinen

6.1.4. Ausführungszeitraum

Aus der Leistungsmenge und dem Aufwandswert in Kombination mit der Partiestärke ist es nun möglich den Ausführungszeitraum (D) für diese Arbeitsaufgabe mit Hilfe der Glg. 4 zu ermitteln:

$$D = \frac{A_{Ges} * AW}{Anzahl AK} = \frac{577,8 * 3,5}{6} = 337,05 h \quad (4)$$

Anhand der Glg. 4 ist ersichtlich, dass die Ausführung dieser Arbeiten beim Einsatz von sechs Bauarbeitern 337,05 h bzw. 42,13 Arbeitstage bei einer täglichen Arbeitszeit von acht Stunden oder 8,42 Arbeitswochen bei einer Arbeitszeit von 40 h pro Woche dauert.

6.2. Bestimmung des Leistungsverlustes mit den bestehenden Arbeitsleistungskurven

Um nun die Anwendung der Arbeitsleistungskurven zu veranschaulichen, wird exemplarisch der Ausführungszeitraum gekürzt und die weiteren Überlegungen, die die Baufirma anstellen würde, unter Beibehaltung der Partiestärke aufgezeigt:

Üblicherweise verändert die Bauunternehmung auf Basis des geänderten Ausführungszeitraums die tägliche Arbeitszeit, ermittelt auf Basis dieser täglichen Arbeitszeit die effektive Leistung und gelangt so mittels mehrerer Iterationsschritte zu einer neuen täglichen Arbeitszeit, mit welcher der gekürzte Ausführungszeitraum eingehalten werden kann.

In diesem Beispiel wird allerdings ein anderer Weg gewählt, um eine signifikante Aussage über die Unterschiede zwischen den bestehenden Arbeitsleistungskurve und der neuen tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve darstellen zu können.

In diesem Fall erfolgt eine Festlegung der täglichen Arbeitszeit, darauf aufbauend die Bestimmung der Auswirkungen der verlängerten Arbeitszeit und erst im abschließenden Schritt die Bestimmung der neuen Ausführungsdauer. Mit dieser Anordnung können die Ergebnisse bei einer festgelegten täglichen Arbeitszeit besser verglichen werden.

Dargestellt wird dabei die Verlängerung der Arbeitszeit auf neun und zehn Stunden.^{30,31}

³⁰ Da auf Grund der derzeitigen Arbeitszeitgesetze eine tägliche Arbeitszeit nur in Ausnahmesituationen möglich ist, wird auf eine Darstellung über zehn Arbeitsstunden verzichtet

³¹ Vgl. Heck/Schlagbauer in Gralla (Hrsg): Innovation im Baubetrieb – Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag, Seite 254 ff

6.2.1. Bestimmung des Leistungsverlustes nach Winter

In Kapitel 2.2.2 wurde die Glg. 1, welche die Grundlage für die Leistungsverlustermittlung darstellt, bereits vorgestellt.

$$e * T = 12 - 16 * \left(1 - \frac{T}{16}\right)^2 \quad (5)$$

Setzt man nun jeweils den veränderten Wert für die Arbeitszeit T in die Glg. 5 ein, ergeben sich folgende Werte für den Reduktionsfaktor der Leistung (e_T).

- Bei einer täglichen Arbeitszeit von neun Stunden ergibt sich $e_{T=9} = 0,993$ infolge Glg. 6

$$e_{T=9} = \frac{12 - 16 * \left(1 - \frac{9}{16}\right)^2}{9} = \frac{12 - 16 * \left(1 - \frac{9}{16}\right)^2}{9} = 0,993 \quad (6)$$

- Bei einer täglichen Arbeitszeit von zehn Stunden ergibt sich $e_{T=10} = 0,975$ infolge Glg. 7

$$e_{T=10} = \frac{12 - 16 * \left(1 - \frac{10}{16}\right)^2}{10} = \frac{12 - 16 * \left(1 - \frac{10}{16}\right)^2}{10} = 0,975 \quad (7)$$

Auf Basis dieser Abminderungsfaktoren ergeben sich folgende neuen Aufwandswerte und Ausführungszeiträume infolge der veränderten täglichen Arbeitszeit durch die Multiplikation des Basisaufwandswertes mit dem jeweiligen Abminderungsfaktor entsprechend Glg. 8

$$AW(T) = AW / e(T) \quad (8)$$

- Tägliche Arbeitszeit von neun Stunden:

Durch Einsetzen in Glg. 8 ergibt sich ein veränderter Aufwandwert für die Arbeitsdauer von neun Stunden mit $AW(T=9) = 3,525 \text{ Std/m}^2$.

Mit Hilfe der Glg. 4 kann die veränderte Ausführungszeit ermittelt werden. Diese weist nun den Wert $D(T=9) = 339,46 \text{ h}$ auf. Dies bedeutet eine Erhöhung um ca. 2,5 h gegenüber der Ausgangssituation, wobei sich durch die längere tägliche Arbeitszeit eine verkürzte Ausführungsdauer von 37,72 Arbeitstagen oder 7,54 Arbeitswochen ergibt.

- Tägliche Arbeitszeit von zehn Stunden:

Analog zum Vorhergehenden wird auch für die tägliche Arbeitszeit von $T = 10 \text{ h}$ durch einsetzen in Glg. 8 ein veränderter Aufwandwert von $AW(T=10) = 3,59 \text{ Std/m}^2$ ermittelt.

Erneut wird mit Hilfe der Glg. 4 die veränderte Ausführungszeit ermittelt. Diese weist den Wert $D(T=10) = 345,72 \text{ h}$ auf. Dies bedeutet eine weitere Erhöhung um 6,25 h gegenüber der Situation zuvor. Auch hier ergibt sich durch die längere tägliche Arbeitszeit eine verkürzte Ausführungsdauer. Diese beträgt 34,57 Arbeitstage oder 6,91 Arbeitswochen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bei der Leistungsverlustermittlung entsprechend den Überlegungen von Burkhardt und Winter der Aufwandswert nur geringfügig steigt und der Ausführungszeitraum um bis zu 1,5 Wochen verringert werden kann.

6.2.2. Bestimmung des Leistungsverlustes nach Lehmann

Im Gegensatz zu Winter, bei dem keine Unterscheidung der Tätigkeiten vorgenommen wird, muss bei Lehmann im ersten Schritt überlegt werden, ob die Tätigkeit mäßig oder hochanstrengend ist. In diesem Beispiel wird die Tätigkeit der Mauerwerksarbeiten als mäßig anstrengend angesehen. Daher wird die Kurve B aus Bild IV-1 verwendet.

Um den Leistungsverlust nach Lehmann zu ermitteln, ist es erforderlich den Leistungswert $LW(T)$ entsprechend der gewählten täglichen Arbeitszeit (T) aus dem Diagramm abzulesen und danach den Ausgangsleistungswert bei einer Arbeitszeit von acht Stunden $L(T=8)$ mit dem Leistungswert der jeweiligen Stunde zu multiplizieren (Siehe Glg. 9).

$$L(T) = L(T = 8) * LW(T) \quad (9)$$

Der Ausgangsleistungswert im betrachteten Beispiel kann mit Hilfe der Glg. 10 ermittelt werden:

$$L(T = 8)[m^2/AT] = \frac{6 AK [Std/h]}{3,5 [Std/m^2]} * 8 [h/AT] = 13,71 [m^2/AT] \quad (10)$$

Für die veränderte tägliche Arbeitszeit ergeben sich folgende Leistungswerte für mäßig anstrengende Tätigkeiten:

- Tägliche Arbeitszeit neun Stunden: $LW(T=9) = 107 \%$

Damit ergibt sich eine tägliche Leistung entsprechend Glg. 9 von 14,67 m^2/AT . Mit Hilfe dieser täglichen Leistung und der zu erbringenden Gesamtleistung von 577,8 m^2 ergibt sich ein Ausführungszeitraum von 39,4 Arbeitstagen oder 7,88 Arbeitswochen.

- Tägliche Arbeitszeit zehn Stunden: $LW(T=10) = 111 \%$

Bei der weiteren Verlängerung der täglichen Arbeitszeit auf zehn Stunden ergibt sich ein Leistungswert von 15,22 m^2/AT aus Glg. 9. Mit dieser täglichen Leistung ergibt sich ein Ausführungszeitraum von 37,96 Arbeitstagen oder 7,59 Arbeitswochen.

6.3. Bestimmung des Leistungsverlustes mit Hilfe der neu entwickelten Systematik des tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustes

Zur Ermittlung des Leistungsverlustes mit Hilfe der neu entwickelten Systematik müssen die in Kapitel 4.2 vorgestellten Eingangsparameter ermittelt bzw. festgelegt werden.

6.3.1. Bestimmung der Eingangsparameter

Die Festlegung dieser Eingangsparameter ist der wesentliche Schritt bei der Ermittlung des Leistungsverlustes für einen bestimmten Arbeitstag und hat aufgrund der individuellen Anwendung für jeden Betrachtungstag einzeln zu erfolgen.

6.3.1.1. Tägliche Arbeitszeit

Als tägliche Arbeitszeit wird, ebenso wie bei den Berechnungen zuvor eine Arbeitszeit von acht Stunden gewählt, welche im Rahmen der Berechnung auf neun und zehn Stunden erhöht wird.

6.3.1.2. Tätigkeitsprofil der Bauarbeiter

Im Gegensatz zu den bestehenden Leistungskurven ist es erforderlich ein Tätigkeitsprofil des Arbeitstages zu bestimmen.

Die Datengrundlage für diesen Einflussparameter liefern die Ergebnisse der Auswertung der Datenaufzeichnungen des Forschungsprojektes Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven.

Aus den erhobenen Daten des Forschungsprojektes ergibt sich im ersten Schritt die mittlere Verteilung der Tätigkeitsaufgaben getrennt nach Facharbeiter und Hilfsarbeiter, wie in Bild IV-5 dargestellt.

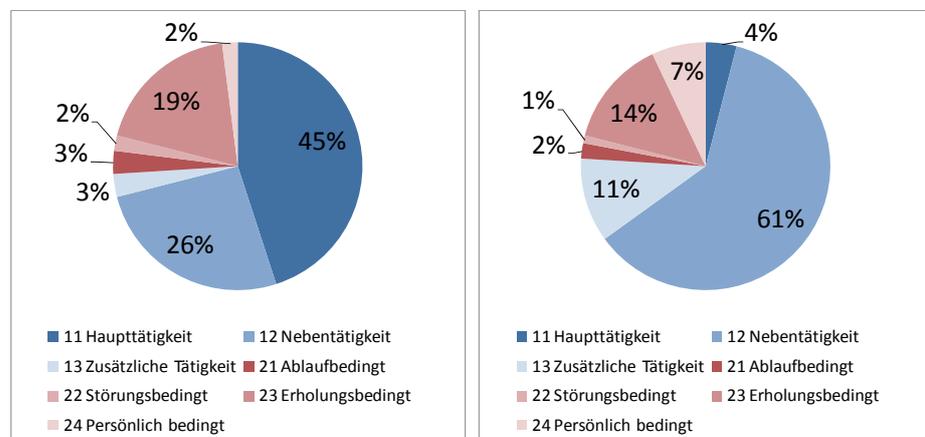


Bild IV-5 Verteilung der Arbeitsaufgaben getrennt nach Facharbeiter und Hilfsarbeiter

Da im Beispiel die Fach- und Hilfsarbeiter gleichmäßig verteilt sind, wird ein gemittelter Wert dieser beiden Anteile der einzelnen Arbeitsaufgaben für die weitere Berechnung angesetzt. Diese gemittelten Anteile sind in Bild IV-6 dargestellt.

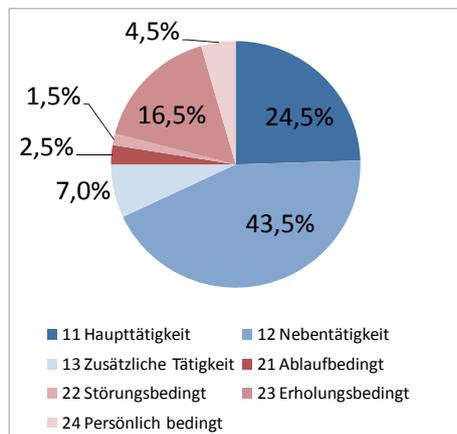


Bild IV-6 Gemittelte Verteilung der Arbeitsaufgaben bei gleichem Fach- und Hilfsarbeiteranteil

Somit ergibt sich, dass im Mittel 24,5 % der täglichen Zeit auf der Baustelle³² für die Ausführung der Mauerwerksarbeiten zur Verfügung stehen. Nach dieser generellen Verteilung ist es weiterhin notwendig, die in Bild IV-6 dargestellten Tätigkeitsaufgabenanteile im Verlauf des Arbeitstages anzuordnen.³³

6.3.1.3. Persönliche Daten der Bauarbeiter

Ein weiterer wesentlicher Eingangsparameter sind die persönlichen Kenngrößen der einzelnen Bauarbeiter.³⁴ Für das Beispiel wurde angenommen, dass alle Bauarbeiter 30 Jahre alt, 80 kg schwer und 1,80 m groß sind.

Auf Basis dieser Kenngrößen wird mit Hilfe der Formel von Åstrand³⁵ die maximale Herzfrequenz und entsprechend einer Studie des HPR^{Graz}³⁶ die Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze berechnet.

Für den repräsentativen Bauarbeiter ergibt sich eine maximale Herzfrequenz (HF_{max}) von $183,64 \frac{1}{s}$ und eine Herzfrequenz an der Dauerleistungsgrenze (HF_{LTP1})³⁷ von $127,28 \frac{1}{s}$.

³² Die tägliche Zeit auf der Baustelle entspricht der täglichen Arbeitszeit zuzüglich der, entsprechend dem Arbeitszeitgesetz, erforderlichen Pause von einer Stunde

³³ Auf die Darstellung dieser Verteilung wird an dieser Stelle verzichtet. Die Darstellung erfolgt nachstehend bei der Ermittlung des Herzfrequenzverlaufs infolge der Tätigkeiten.

³⁴ Um die Berechnung an dieser Stelle zu vereinfachen wird angenommen, dass alle Bauarbeiter gleich alt, gleich schwer und gleich groß sind, da sich durch die Anwendung unterschiedlicher Kenngrößen der Berechnungsumfang noch weiter erhöhen würde

³⁵ Åstrand/Rodahl: Textbook of work physiology, Seite 189,197-198

³⁶ Unveröffentlichte Studie des HPR^{Graz} – Zentrum für Bewegungswissenschaften und sportmedizinische Forschung

³⁷ Vgl. Pokan/Hofmann/Wonisch in Pokan: Kompendium der Sportmedizin; Seite 39 f

Somit kann einerseits mit Hilfe der maximalen Herzfrequenz und der im nächsten Absatz dargestellten relativen Herzfrequenz der Herzfrequenzverlauf eines Arbeitstages ermittelt werden. Die Dauerleistungsgrenze wird im Weiteren dazu verwendet, um den Bauarbeiter vor einer Überbeanspruchung zu schützen, daher muss das Tätigkeitsprofil verändert werden, wenn die Herzfrequenz der Tätigkeit die Dauerleistungsgrenze überschreitet.

6.3.1.4. Relative Belastungen der Tätigkeiten

Die relativen Belastungen der Tätigkeiten sind ein weiteres wesentliches Ergebnis der Datenauswertung des Forschungsprojektes, wobei der Zusammenhang der Herzfrequenz einerseits nur in Abhängigkeit von der Vorbelastung³⁸ bestimmt wurde. Für Mauerwerksarbeiten ist dieser Zusammenhang in Bild IV-7 dargestellt.

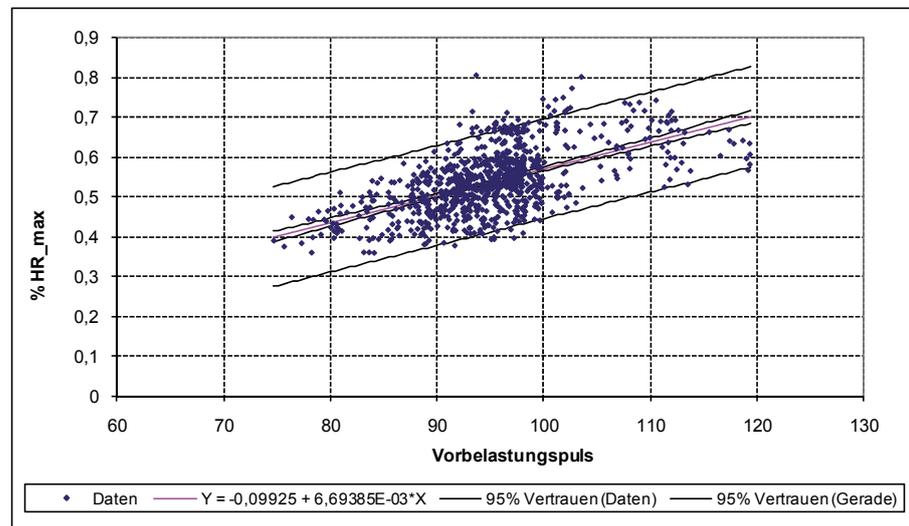


Bild IV-7 Zusammenhang zwischen Herzfrequenz der Tätigkeit und dem Vorbelastungspuls für die Tätigkeitsgruppe Mauerwerksarbeiten

Da jedoch bei dem Vergleich der Mess- und Rechenwerte der im Forschungsprojekt aufgezeichneten Daten eine Abweichung von mehr als 15% ermittelt wurde, erfolgte eine zusätzliche Korrelationsberechnung, wobei in diesem Fall nun die maximale Herzfrequenz, die Größe und das Gewicht des Bauarbeiters als weitere Einflussfaktoren berücksichtigt wurden. Dieser Zusammenhang ist in Glg. 10 dargestellt.

³⁸ Als Kenngröße für die Vorbelastung wurde der Vorbelastungspuls herangezogen. Dieser stellt den Mittelwert der Herzfrequenz von Arbeitsbeginn bis zum Zeitpunkt der Tätigkeitsausführung dar

$$\%HF_{max} = k + a * HF_{Vorbeltastung} + b * HF_{max} + c * H + d * W \quad (10)$$

Dabei sind

k ... Konstante

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

HF_{max} ... maximale Herzfrequenz berechnet infolge des Alters

$HF_{Vorbeltastung}$... Vorbeltastungsherzfrequenz

H ... Körpergröße, W ... Gewicht

Für die Tätigkeitsgruppe Mauerwerksarbeiten ergaben sich dabei folgende Teilfaktoren, die in die Glg. 10 einzusetzen sind:

| Tätigkeitsgruppe | Konstante | HF _{Vorbeltastung} | HF _{max} | Größe | Gewicht |
|------------------|-----------|-----------------------------|-------------------|----------|---------|
| Mauern | 0,73953 | 0,00566 | -0,00311 | -0,00134 | 0,00086 |

Tabelle IV-1 Teilfaktoren zur Bestimmung der Herzfrequenz der Tätigkeitsgruppe Mauerwerksarbeiten

Ebenso wie für die Tätigkeitsgruppe „Mauerwerksarbeiten“ wurden aus den Daten des Forschungsprojektes für alle weiteren Tätigkeitsgruppen die Werte für die Konstante und die Faktoren a, b, c und d ermittelt.

6.3.1.5. Leistungswerte der Tätigkeiten

Auch für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve muss der Aufwands- bzw. Leistungswert der zu erbringenden Tätigkeit bekannt sein.

Im Gegensatz zu der zuvor dargestellten, direkten Anwendung der Aufwandswerte der ARH, ist es erforderlich, dass der Aufwandswert nochmals bearbeitet wird. Dies ist notwendig, da entsprechend den Vorbemerkungen zu den Arbeitszeit-Richtwert-Tabellen auch folgende Zeitanteile in den Aufwandswerten der ARH berücksichtigt sind:³⁹

- 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.

³⁹ Zentralverband des Deutschen Baugewerbes: ARH – Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen für Mauerarbeiten, Vorbemerkungen unter Pkt. 6.02 zu Mauerarbeiten mit großformatigen Steinen

- 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 Entlüftungsröhre 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.

Da diese Zeitanteile im Zuge des Tätigkeitsprofils berücksichtigt werden, wird ein effektiver Aufwandswert für die Mauerwerksarbeiten (AW_{eff}) durch die Multiplikation des Aufwandswerts aus der ARH (AW) mit dem Anteil der Haupttätigkeiten (Anteil HT) an der täglichen Zeit auf der Baustelle sowie der Multiplikation mit der täglichen Arbeitszeit (T_{Arbeit}) und der Division durch die tägliche Zeit auf der Baustelle ($T_{Baustelle}$) ermittelt. Der Wert des effektiven Aufwandswertes beträgt somit:

$$\begin{aligned}
 AW_{eff} &= AW * \text{Anteil HT} * \frac{T_{Arbeit}}{T_{Baustelle}} = \\
 &= 3,50 * 24,5 \% * \frac{8 [Std/AT]}{9 [h/AT]} = 0,7622 [Std/m^2] \quad (11)
 \end{aligned}$$

Mit diesem letzten Eingangswert ist es nun möglich, den Leistungsverlauf in Folge des Tätigkeitsverlaufs zu bestimmen.

6.3.2. Ermittlung der täglichen Leistung

Zur Bestimmung der Leistung werden das Tätigkeitsprofil des Arbeitstages und der effektive Aufwandswert herangezogen. Das Tätigkeitsprofil für das Beispiel ist in Tabelle IV-2 dargestellt

| Tätigkeit | | Stunde | | | | | | | | | Gesamt |
|-----------|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| Nr. | Beschreibung | [min / Stunde] | | | | | | | | | [min] |
| 111 | Mauern | 12,01 | 19,20 | 10,27 | 18,03 | 4,20 | 18,03 | 17,37 | 17,40 | 15,00 | 131,51 |
| 121 | Vorbereiten Mauern | 12,60 | 20,20 | 10,83 | 18,92 | 4,40 | 18,95 | 18,29 | 18,30 | 15,78 | 138,27 |
| 126 | Vorbereiten Allgemein | 4,88 | 5,60 | 2,40 | 4,80 | 1,20 | 4,20 | 3,62 | 3,00 | 2,40 | 32,10 |
| 127 | Herrichten | 15,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,00 |
| 128 | Aufräumen | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 20,00 |
| 129 | Besprechung | 2,34 | 3,04 | 2,34 | 2,34 | 0,00 | 2,34 | 2,34 | 2,34 | 2,34 | 19,42 |
| 131 | Zusätzliche Tätigkeiten | 5,00 | 3,00 | 3,80 | 2,95 | 3,50 | 4,50 | 6,00 | 6,00 | 3,20 | 37,95 |
| 211 | Ablaufbedingte Unterbrechung | 2,25 | 2,25 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 2,00 | 2,18 | 2,18 | 2,08 | 13,24 |
| 221 | Störungsbedingte Unterbrechung | 1,12 | 1,12 | 0,92 | 1,12 | 0,00 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 0,62 | 8,26 |
| 231 | Pause | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 |
| 232 | Eigene Pausen | 4,20 | 2,30 | 2,10 | 5,60 | 0,00 | 5,06 | 5,16 | 4,26 | 1,30 | 29,98 |
| 241 | Persönlich be- dingte Unterbre- chung | 0,60 | 3,29 | 2,34 | 0,94 | 1,70 | 3,80 | 3,92 | 5,40 | 2,28 | 24,27 |

Tabelle IV-2 Tätigkeitsprofil des Beispielarbeitstages

Werden die einzelnen Leistungen der Betrachtungsabschnitte - ein Abschnitt ist fünf Minuten lang⁴⁰ - des Arbeitstages aufsummiert, so ergibt sich die tägliche Arbeitsleistung von 2,285 m²/AT je Arbeitskraft oder 13,71 m²/AT für die sechs Bauarbeiter. Dieser Wert entspricht der täglichen Arbeitsleistung, ermittelt mit den Berechnungsmethoden von Winter und Lehmann.

6.3.2.1. Bestimmung der Leistung ohne Beachtung der Herzfrequenz

Bevor nun auch in diesem Fall die tägliche Arbeitszeit verändert wird, muss noch der Herzfrequenzverlauf betrachtet werden und eine mögliche Überschreitung des Herzfrequenzlimits ($HF_{Limit} = HF_{LTP1} + 10\%$ ⁴¹) überprüft werden.

⁴⁰ Der Abstand von fünf Minuten wurde gewählt, da auch die Datenerhebung der Tätigkeiten nach REFA in einem Abstand von fünf Minuten erfolgte

⁴¹ Die Erhöhung der Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze um 10 % angesetzt, um die festgestellte Bandbreite der Ergebnisse der Datenerhebung in Bezug auf die Herzfrequenz der jeweiligen Tätigkeit zu berücksichtigen. Weiters zeigt sich in den Überlegungen von Lehmann⁴², dass eine kurzfristige höhere Belastung durch physiologische Reaktionen im Körper ausgeglichen werden kann

⁴² Lehmann: Praktische Arbeitsphysiologie, Seite 156 f

Diese Prüfung erfolgt durch die Berechnung der jeweiligen Herzfrequenz zum Zeitpunkt der Tätigkeitsausführung mit Hilfe der zuvor dargestellten Gleichung. Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Bild IV-8 dargestellt.

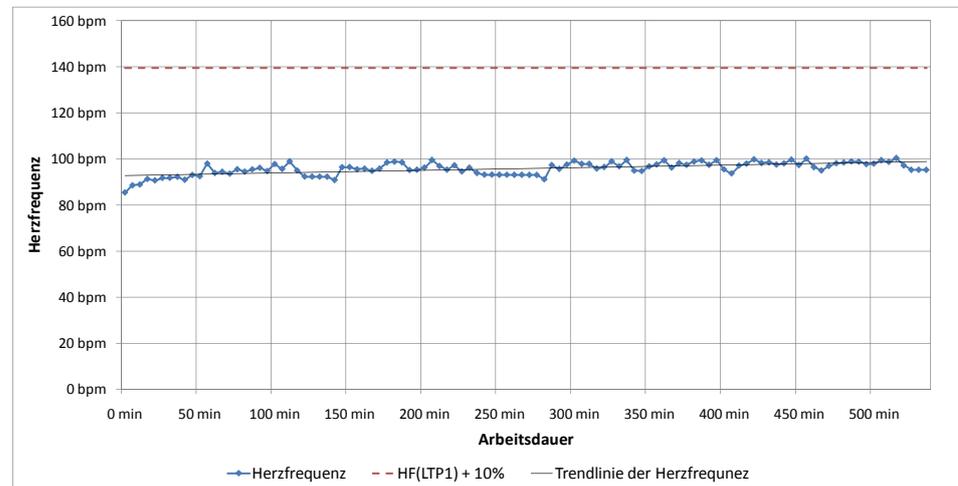


Bild IV-8 Herzfrequenzverlauf am Beispielarbeitsstag

Aus Bild IV-8 ist ersichtlich, dass die Herzfrequenz des Bauarbeiters zu keinem Zeitpunkt über der Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze⁴³ liegt, weshalb sich aus physiologischer Sicht keine Leistungseinbußen ergeben sollten.

6.3.3. Variation der täglichen Arbeitszeit

Wie bereits zuvor bei der Anwendung der Arbeitsleistungskurven von Winter und Lehmann wird auch bei dieser Berechnungsmethode die tägliche Arbeitszeit variiert. Eine proportionale Hochrechnung kann nicht erfolgen, da die Anteile der Vorbereitungs- und Aufräumzeiten zu Arbeitsbeginn, vor und nach Pausen und vor dem Arbeitsende durch die Verlängerung der täglichen Arbeitszeit nicht verändern werden. Daher muss das Tätigkeitsprofil des Arbeitstages unter Beachtung dieser Überlegungen an die veränderte Arbeitszeit angepasst werden.

6.3.3.1. Tägliche Arbeitszeit von neun Stunden

Durch die Veränderung der täglichen Arbeitszeit ergibt sich das in Tabelle IV-3 dargestellte Tätigkeitsprofil und der in Bild IV-9 dargestellte Herzfrequenzverlauf. Summiert man auch in diesem Fall die Leistungswerte der einzelnen Betrachtungsabschnitte von fünf Minuten auf, ergibt sich folgende veränderte tägliche Arbeitsleistung: 2,54 m²/AT je Bauarbeiter.

⁴³ 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.⁴⁴

⁴⁴ REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation : Lexikon der Betriebsorganisation, Seite 59

| Tätigkeit | Stunde | | | | | | | | | | Gesamt |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| Nr. Beschreibung | [min / Stunde] | | | | | | | | | | [min] |
| 111 Mauern | 12,01 | 19,20 | 10,27 | 18,03 | 4,20 | 18,03 | 17,37 | 16,80 | 16,20 | 15,00 | 147,11 |
| 121 Vorbereiten Mauern | 12,60 | 20,20 | 10,83 | 18,92 | 4,40 | 18,95 | 18,29 | 17,60 | 17,00 | 15,78 | 154,57 |
| 126 Vorbereiten Allgemein | 4,88 | 5,60 | 2,40 | 4,80 | 1,20 | 4,20 | 3,62 | 3,00 | 3,00 | 2,40 | 35,10 |
| 127 Herrichten | 15,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,00 |
| 128 Aufräumen | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 20,00 |
| 129 Besprechung | 2,34 | 3,04 | 2,34 | 2,34 | 0,00 | 2,34 | 2,34 | 3,64 | 4,84 | 2,74 | 25,96 |
| 131 Zusätzliche Tätigkeiten | 5,00 | 3,00 | 3,80 | 2,95 | 3,50 | 4,50 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 3,00 | 43,75 |
| 211 Ablaufbedingte Unterbrechung | 2,25 | 2,25 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 2,00 | 2,18 | 2,18 | 1,88 | 1,88 | 14,92 |
| 221 Störungsbedingte Unterbrechung | 1,12 | 1,12 | 0,92 | 1,12 | 0,00 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 0,62 | 9,38 |
| 231 Pause | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 |
| 232 Eigene Pausen | 4,20 | 2,30 | 2,10 | 5,60 | 0,00 | 5,06 | 5,96 | 5,96 | 5,76 | 1,30 | 38,24 |
| 241 Persönlich bedingte Unterbrechung | 0,60 | 3,29 | 2,34 | 0,94 | 1,70 | 3,80 | 3,12 | 3,70 | 4,20 | 2,28 | 25,97 |

Tabelle IV-3 Tätigkeitsprofil des Beispielarbeitstages mit neun Stunden täglicher Arbeitszeit

Mit der in Tabelle IV-3 dargestellten Verteilung und durch Einsetzen der im Forschungsprojekt ermittelten Konstanten und Faktoren für die einzelnen Arbeitsaufgaben kann die jeweilige Herzfrequenz im Abstand von fünf Minuten ermittelt werden (durch Anwendung der Glg. 10). Dies ist in Bild IV-9 dargestellt.

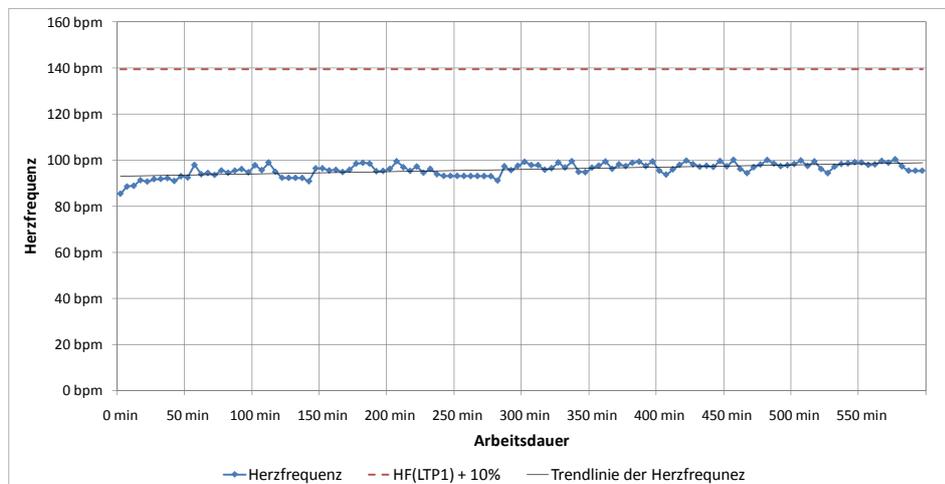


Bild IV-9 Herzfrequenzverlauf des Beispielarbeitstages mit neun Stunden täglicher Arbeitszeit

Aus Bild IV-9 ist ersichtlich, dass es einen kontinuierlichen Anstieg der Herzfrequenz im Laufe des Arbeitstages gibt, dass aber die Herzfrequenz der einzelnen Arbeitsaufgaben zu keinem Zeitpunkt die Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze erreicht oder überschreitet. Daher kann der zuvor ermittelte Tagesleistungswert von 2,54 m²/AT je Bauarbeiter ohne weitere Korrekturen verwendet werden.

6.3.3.2. Tägliche Arbeitszeit von zehn Stunden

Durch die weitere Erhöhung der täglichen Arbeitszeit ergibt sich das in Tabelle IV-4 dargestellte Tätigkeitsprofil und der in Bild IV-10 dargestellte Herzfrequenzverlauf. Summiert man auch in diesem Fall die Leistungswerte der einzelnen Betrachtungsabschnitte von fünf Minuten auf, ergibt sich folgende veränderte tägliche Arbeitsleistung: 2,79 m²/AT je Bauarbeiter.

| Tätigkeit | Stunde | | | | | | | | | | | Gesamt |
|---------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| Nr. Beschreibung | [min / Stunde] | | | | | | | | | | | [min] |
| 111 Mauern | 12,01 | 19,20 | 10,27 | 18,03 | 4,20 | 18,03 | 17,37 | 16,80 | 15,60 | 15,00 | 15,00 | 161,51 |
| 121 Vorbereiten Mauern | 12,60 | 20,20 | 10,83 | 18,92 | 4,40 | 18,95 | 18,29 | 17,60 | 16,40 | 15,75 | 15,78 | 169,72 |
| 126 Vorbereiten Allgemein | 4,88 | 5,60 | 2,40 | 4,80 | 1,20 | 4,20 | 3,62 | 3,00 | 3,90 | 3,90 | 2,40 | 39,90 |
| 127 Herrichten | 15,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,00 |
| 128 Aufräumen | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 5,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 20,00 |
| 129 Besprechung | 2,34 | 3,04 | 2,34 | 2,34 | 0,00 | 2,34 | 2,34 | 3,64 | 5,44 | 5,74 | 2,74 | 32,30 |
| 131 Zusätzliche Tätigkeiten | 5,00 | 3,00 | 4,00 | 2,95 | 3,50 | 4,50 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 3,00 | 45,95 |
| 211 Ablaufbedingte Unterbrechung | 2,25 | 2,25 | 0,00 | 0,30 | 0,00 | 2,00 | 2,18 | 2,18 | 1,78 | 1,78 | 1,78 | 16,50 |
| 221 Störungsbedingte Unterbrechung | 1,12 | 1,12 | 0,92 | 1,12 | 0,00 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 0,62 | 10,50 |
| 231 Pause | 0,00 | 0,00 | 20,00 | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 60,00 |
| 232 Eigene Pausen | 4,20 | 2,30 | 2,10 | 5,60 | 0,00 | 5,06 | 6,96 | 6,96 | 6,56 | 7,21 | 1,40 | 48,35 |
| 241 Persönlich bedingte Unterbrechung | 0,60 | 3,29 | 2,14 | 0,94 | 1,70 | 3,80 | 3,12 | 3,70 | 4,20 | 4,20 | 2,28 | 29,97 |

Tabelle IV-4 Tätigkeitsprofil des Beispielarbeitstages mit zehn Stunden täglicher Arbeitszeit

Ebenso wie zuvor für die Arbeitszeit von neun Stunden wurde auch für eine tägliche Arbeitszeit von zehn Stunden die Verteilung der Arbeitsaufgaben je Stunde in Tabelle IV-4 dargestellt. Erneut wird nun mit Hilfe der Glg. 10 die Herzfrequenz im Verlauf des Arbeitstages im Abstand von fünf Minuten ermittelt und in Bild IV-10 dargestellt.

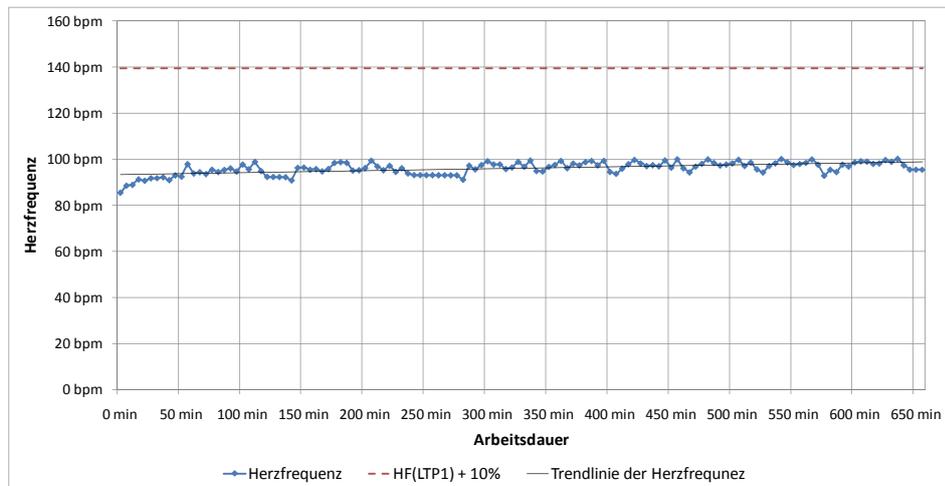


Bild IV-10 Herzfrequenzverlauf des Beispielarbeitstages mit zehn Stunden täglicher Arbeitszeit

Auch in Bild IV-10 zeigt sich ein weiterer kontinuierlicher Anstieg der Herzfrequenz über den gesamten Arbeitstag, wobei auch in diesem Fall die Herzfrequenz der Dauerleistungsgrenze zu keinem Zeitpunkt erreicht oder überschritten wird, weshalb die Tagesarbeitsleistung von 2,79 m²/ AT je Bauarbeiter ohne weitere Korrekturen verwendet werden kann.

6.4. Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Leistungsverlustberechnungsmodelle

Abschließend werden nun die Ergebnisse der drei unterschiedlichen Leistungsverlustermittlungsmethoden miteinander verglichen. Hierfür werden die Ergebnisse der mittleren täglichen Leistungswerte gegenübergestellt.

Aus den verschiedenen Berechnungsmethoden ergeben sich für die unterschiedliche tägliche Arbeitszeit die in Tabelle IV-5 dargestellten Werte.

| Berechnungsmethode | Winter | Lehmann | Schlagbauer |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Tägliche Arbeitszeit | [m ² /AT je AK] | [m ² /AT je AK] | [m ² /AT je AK] |
| 8 Stunden | 2,29 | 2,29 | 2,29 |
| 9 Stunden | 2,55 | 2,45 | 2,54 |
| 10 Stunden | 2,79 | 2,54 | 2,79 |

Tabelle IV-5 Mittlere Leistungswerte des Arbeitstages

Vergleicht man neben diesen durchschnittlichen Leistungswerten eines Arbeitstages mit unterschiedlicher täglicher Arbeitszeit auch die Leistungs-

verlustentwicklung in den einzelnen Stunden, ergibt sich der in Bild IV-11 dargestellte Verlauf.⁴⁵

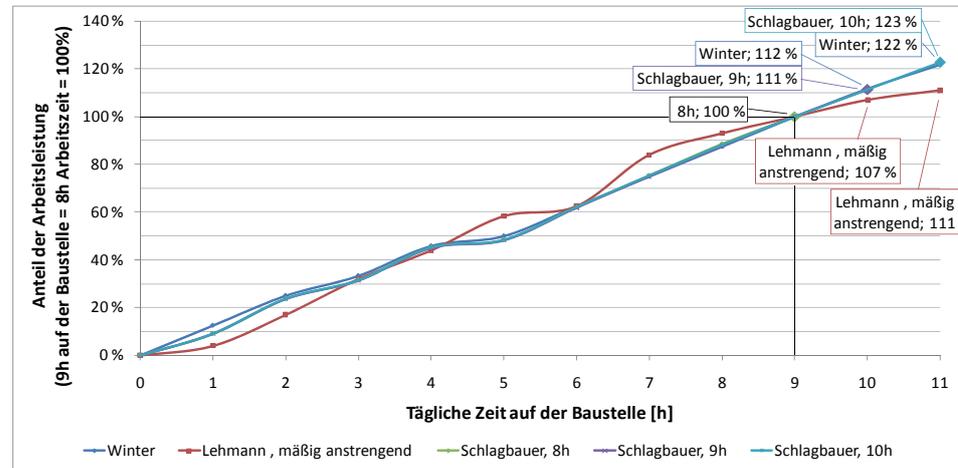


Bild IV-11 Leistungsverlauf im Verlauf des Arbeitstages

Betrachtet man den Verlauf der Kurven entsprechend der unterschiedlichen Berechnungsmethoden ist ersichtlich, dass die Leistungskurve von Lehmann zu Beginn des Arbeitstages bis zur dritten Stunde die niedrigste Leistung und von der fünften bis zur achten Stunde die höchsten Leistungswerte ausweist. Danach ist ein starker Leistungsrückgang ersichtlich, wodurch die Arbeitsleistungskurve von Lehmann für die tägliche Zeit auf der Baustelle von zehn Stunden ($\hat{=}$ neun Stunden tägliche Arbeitszeit) bzw. elf Stunden ($\hat{=}$ zehn Stunden tägliche Arbeitszeit) die niedrigsten Tagesleistungswerte ausweist.

Im Gegensatz dazu zeigt die Arbeitsleistungskurve nach Winter zu Arbeitsbeginn bis zur vierten Stunde die höchste Leistung. Danach sinkt die Leistung unter jene nach Lehmann. Erst bei einer täglichen Arbeitszeit von mehr als neun Stunden ($\hat{=}$ zehn Stunden tägliche Zeit auf der Baustelle) liegt die Leistung nach Winter über der von Lehmann.

⁴⁵ Um die drei verschiedenen Berechnungsmethoden auch in der Grafik vergleichbar darzustellen wurde auch bei den Arbeitsleistungskurven von Winter und Lehmann eine Vormittagspause von 20 Minuten ab 9 Uhr und eine Mittagspause von 40 Minuten ab 12 Uhr berücksichtigt

Der Leistungsverlauf nach Schlagbauer liegt zu Beginn des Arbeitstages zwischen den beiden zuvor dargestellten Leistungsverläufen und nähert sich ab der sechsten Stunde dem Leistungsverlauf von Winter an. Eine geringfügige Abweichung ergibt sich für die beiden betrachteten täglichen Arbeitszeiten:

- Bei einer tägliche Arbeitszeit von neun Stunden (\cong zehn Stunden tägliche Zeit auf der Baustelle) liegt der Leistungswert 1 % unter dem Wert von Winter.
- Bei einer tägliche Arbeitszeit von zehn Stunden (\cong elf Stunden tägliche Zeit auf der Baustelle) liegt der Leistungswert 1 % über dem Wert von Winter.

Es zeigt sich also, dass für Mauerwerksarbeiten die bestehenden Arbeitsleistungskurven von Winter zur Bestimmung der Gesamttagesleistung herangezogen werden können. Besteht das Interesse auch den Verlauf der Leistungserbringung zu betrachten, ergeben sich größere Abweichungen zwischen den drei Berechnungsverfahren.

7. Zusammenfassung und Forschungsausblick

Im Beitrag wurde dargestellt, dass die Veränderungen der Arbeitsausführung und der Baustellensituation den Anlass gegeben haben eine Bearbeitung der bestehenden Arbeitsleistungskurven von Lehmann und Burkhardt bzw. Winter durchzuführen.

Nach einer kurzen Analyse der bestehenden Arbeitsleistungskurven, in welcher die jeweilige Basis der Überlegungen hinter den Kurven betrachtet wurde, erfolgte die Erklärung der Eingangsparameter für die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungsermittlung nach Schlagbauer. Bei dieser Leistungsermittlung werden neben der täglichen Arbeitszeit auch arbeitsphysiologische Parameter, wie z.B. die individuelle Belastung infolge der Ausführung einer Tätigkeit, die Körpergröße, das Gewicht und das Alter der Bauarbeiter, berücksichtigt.

Aus dem abschließenden Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung der Arbeitsleistung konnte folgender Schluss gezogen werden: Für die Tätigkeit Mauerwerksarbeiten ergeben sich aus der Berechnung nach Schlagbauer ähnliche Tagesleistungen, wie bei der Berechnung nach Winter. Die Tagesleistungswerte von Lehmann liegen deutlich unter diesen beiden. Wird jedoch auch die Leistung im Verlauf des Arbeitstages betrachtet, so liegt zu Beginn des Arbeitstages die Arbeitsleistung nach Winter deutlich über jener nach Schlagbauer, welche sich erst ab der sechsten Stunde der Arbeitsleistung von Winter angleicht. Beim Vergleich der Werte für neun Stunden bzw. zehn Stunden tägliche Arbeitszeit, ergeben sich zwi-

schen diesen beiden Arbeitsleistungskurven nur geringfügige Abweichungen.

Als weiterer Forschungsbedarf kann die Aufgabe gesehen werden die Datengrundlage auch für weitere wesentliche Bautätigkeiten (z.B. Betonier-, Schalungs- und Bewehrungsarbeiten) zu erheben, um auch bei diesen Tätigkeitsaufgaben einen Vergleich zwischen den bestehenden und der neu entwickelten tätigkeitsabhängigen Arbeitsleistungskurve zu erstellen, da es auf Grund der höheren Belastungen bei Betonier- und Bewehrungsarbeiten zu erwarten ist, dass sich die tätigkeitsabhängige Arbeitsleistungskurve für diese Arbeitsaufgaben eher den Werten von Lehmann annähern wird.

Ebenso müssen der Einfluss einer abweichenden Partiezusammensetzung und die Ausführung verschiedener Arbeitsaufgaben an einem Arbeitstag betrachtet werden, um die realen Arbeitsabläufe noch besser abbilden zu können.

Literaturverzeichnis

Åstrand, Per-Olof; Rodahl Kaare: Textbook of work physiology, McGraw Hill, New York 1986.

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

Heck, Detlef; Schlagbauer, Dieter in Gralla, Mike; Sundermeier; Matthias (Hrsg.): Innovation im Baubetrieb – Festschrift für Universitätsprofessor Dr.-Ing. Udo Blecken zum 70. Geburtstag, Wernerverlag, Köln 2011.

Jodl, Hans Georg; Oberndorfer Wolfgang J. Oberndorfer (Hrsg.): Handwörterbuch der Bauwirtschaft. Interdisziplinäre Begriffswelt des Bauens, Austrian Standards Plus Publishing, Wien 2010.

Lehmann, Gunther: Praktische Arbeitsphysiologie, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart 1983.

Pokan, Rochus; Hofmann, Peter; Wonisch, Manfred in Pokan, Rochus (Hrsg.): Kompendium der Sportmedizin, Springer, Wien New York 2004.

REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V. (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation: Lexikon der Betriebsorganisation, Carl-Hanser, München 1993

Rohmert Walter: Praktische Arbeitsphysiologie (begründet von Gunther Lehmann), 3. Neubearbeitete Auflage, Thieme, Stuttgart New York 1983.

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

Schlagbauer, Dieter in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement (Hrsg.): Tagungsband 21. Assistententreffender Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag 2010.

Winter, Hermann-Josef: Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation Rheinisch-westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen 1966.

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

