

Arbeitsbelastung und Pausengestaltung im Bauwesen: Ansätze zur Arbeitsplatzgestaltung auf Basis arbeits- physiologischer Parameter

Bmstr. Dipl.-Ing. Dieter Schlagbauer

Technische Universität Graz, Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft Graz

Einführung und Problemstellung

Die Bauausführung ist trotz intensiver Planung und Arbeitsvorbereitung ein durchaus dynamischer Prozess. Entscheidungsträger, also der Bauleiter oder die Unternehmensführung, stehen aufgrund vielfältiger Ursachen oftmals vor der Entscheidung, Änderungen am geplanten Bauablauf vornehmen zu müssen.

Ein erheblicher Teil dieser Abweichungen resultiert aus externen Zwängen, wie zum Beispiel der Änderung der terminlichen Vorgaben durch den AG oder Verzögerungen beim bisherigen Bauablauf oder aus zu spät erbrachten Vorleistungen.

Abweichungen vom geplanten Bauablauf können aber auch aus unternehmenspolitischer Entscheidungen getroffen werden, um beispielsweise eine Baustelle schneller abzuschließen ist, damit einen weiteren Auftrag durchgeführt werden kann.

Im vorliegenden Beitrag wird die Entscheidungsfindung mit Hilfe der Erkenntnis von zwei wesentlichen Parametern, nämlich der Anzahl der Arbeitskräfte und der täglichen Arbeitszeit, betrachtet.

Einführend werden die aus der Literatur bekannten Bewertungsmöglichkeiten des Einflusses der täglichen Arbeitszeit kurz vorgestellt. Zur Verdeutlichung der Abhängigkeit werden ausgewählte Szenarien dargestellt, um die Auswirkungen der Veränderung der einzelnen Parameter zu zeigen.

Aufbauend auf diesen Überlegungen zum Einsatz der Arbeitsleistungskurven wird das aktuelle Forschungsprojekt „Arbeitsbelastung- und Arbeitsleistungskurven“ vorgestellt und Teile der Datenauswertung präsentiert. Im Speziellen wird die Anordnung und Verteilung der Pausenzeiten betrachtet und Überlegungen angestellt, ob eine Veränderung der derzeitigen Pausensituation nicht eine wirtschaftlich positive Auswirkung auf das Unternehmen und eine ebenso positive Auswirkung im Hinblick auf die Belastung der Bauarbeiter haben könnte.

Die Arbeitsleistungskurve

Definition der Arbeitsleistungskurve

Eine Arbeitsleistungskurve bildet den Zusammenhang zwischen der täglichen Arbeitszeit und der Arbeitsleistung graphisch ab, wobei für die Darstellung der Arbeitsleistung zwei unterschiedliche Darstellungsarten existieren. Während auf der horizontalen Achse in beiden Fällen die tägliche Arbeitszeit aufgetragen wird, erfolgt auf der vertikalen Achse entweder die Darstellung einer Summenlinie der Arbeitsleistung oder der Verhältniszahl zwischen der stündlich erbrachten Arbeitsleistung zu der täglichen durchschnittlichen Arbeitsleistung während achtstündiger Arbeit.

Die erste Darstellungsform entspricht dabei der Arbeitsleistungskurve nach Lehmann, die zweite Darstellungsform wurde von Burkhardt und Winter verwendet.

Arbeitsleistungskurven nach Lehmann

Lehmann [1] beschreibt in seinen Ausführungen die Vorgänge aus arbeitsphysiologischen Sicht und betrachtet auf diesem Weg eingehend die Auswirkungen der Arbeitstätigkeit auf den menschlichen Körper (Einarbeitung, Ermüdung, Lerneffekte und Einübung sowie Training). Dabei behandelt er folgende Themengebiete mit unterschiedlicher Tiefe:

- Formen der menschlichen Arbeit
- Mechanische Arbeitsleistung des menschlichen Körpers
- Voraussetzungen und Folgen der Arbeitsleistung
- Die Energetik des menschlichen Körpers
- Rationelle Arbeit
- Das Arbeitsklima
- Luftzusammensetzung und Luftdruck
- Arbeit und Sinnesorgane
- Ernährung und Arbeit
- Lohnsysteme, Arbeitsstudien und Arbeitsbewertung
- Zum Arbeitszeitproblem

Im Kapitel „Zum Arbeitszeitproblem“ beschreibt er einerseits das gesellschaftliche Problem, dass vielen Arbeitnehmern aufgrund höherer Wegzeiten von und zur Arbeit immer weniger persönliche Freizeit zur Verfügung steht. Er stellt dar, dass schon bei einer täglichen Arbeitszeit von 8 Stunden die zur Verfügung stehende Freizeit nur mehr im Bereich von 4 bis $6\frac{1}{4}$ Stunden liegt. Jede weitere Erhöhung der täglichen Arbeitszeit bewirkt in diesem Fall eine weitere Reduktion der Freizeit. Ein wesentlicher Einflussfaktor, der im Zuge der Arbeitsvorbereitung berücksichtigt werden kann ist die Wegzeit vom und zum Arbeitsplatz. Im Bauwesen wurde diesem Umstand durch die zur Bereitstellung von Arbeiterquartieren vor Ort, vor allem bei Baustellen in abgelegenen Gebieten bereits berücksichtigt. Durch den größer werdenden Einsatzradius der einzelnen Niederlassungen der Unternehmen ergeben sich allerdings wieder erhöhte Wegstrecken im Umkreis des Wohnortes, bei dem die zur Verfügungstellung von zusätzlichen Unterkünften nicht sinnvoll oder realisierbar ist. [1]

Neben diesen gesellschaftspolitischen Betrachtungen skizziert Lehmann in Ableitung seiner angestellten Überlegungen zur Arbeitsphysiologie seine „Arbeitsleistungskurven“.

Lehmann erklärt die Kurve dabei folgendermaßen:

„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, da kein Mensch kann mit Beginn seiner Arbeit schon seine volle Leistung erbringen kann, muss in die Überlegungen miteingebunden werden. Abzulesen ist auch, dass bis zu einer gewissen Arbeitszeit die Leistung unter der Proportionalitätsgrenze bleibt, danach steigt die Leistung stärker an als die Proportionalitätskurve.

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. [1]

Für die graphische Aufbereitung unterteilt Lehmann die Arbeitsbelastung in mäßig anstrengende und hoch körperlich belastende Arbeit und stellt hier die unterschiedlichen Verläufe schematisch dar.

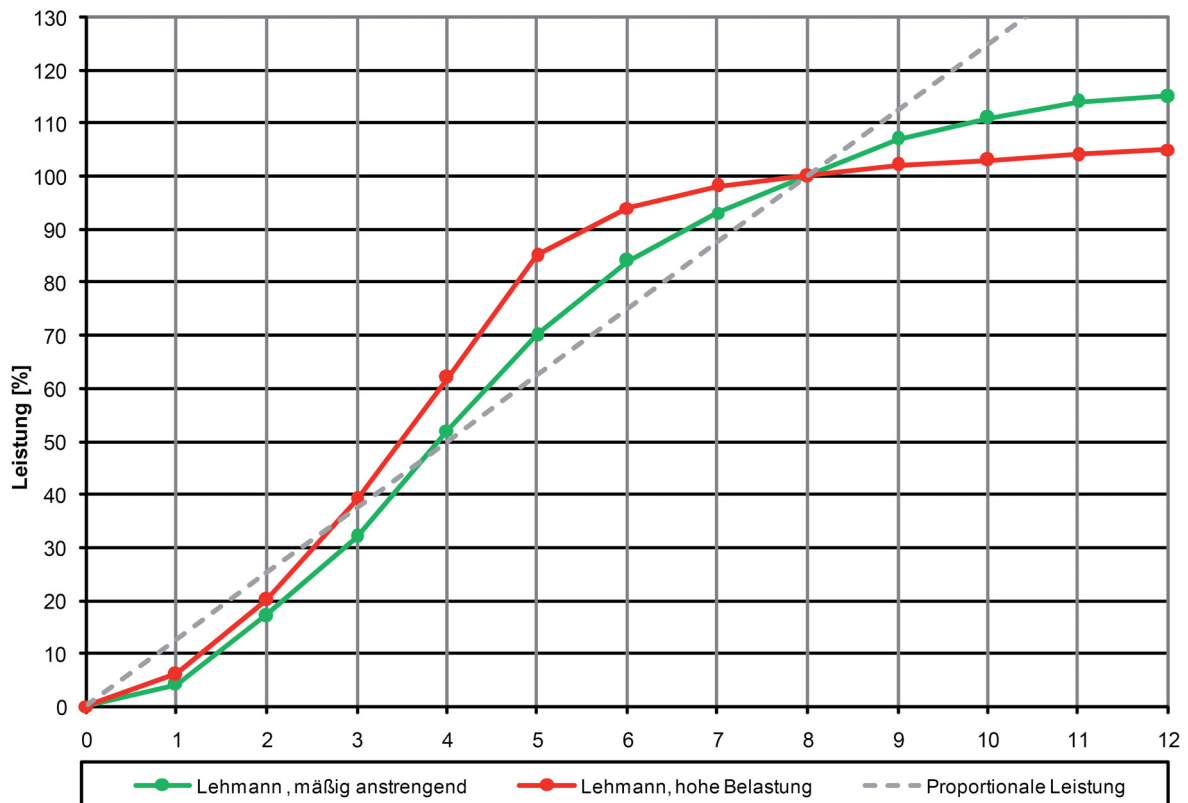


Abbildung 1 Leistungskurve nach Lehmann[1]

Die Darstellung von Lehmann geht dabei von einer Arbeitsleistung von 100 % nach 8 Stunden Arbeit aus und gibt für die jeweiligen darüber und darunter liegenden Arbeitsdauern den Prozentwert der möglichen zu erbringenden Arbeitsleistung dar.

Lehmann beschreibt in der Kurve den Verlauf der Arbeitsleistung bis zur zwölften Arbeitsstunde, wobei nur mehr mit einer zusätzliche Arbeitsleistung von 15 bzw. 5 % bei der Arbeitsausführung über die achte Stunde hinaus gerechnet werden kann.

Arbeitsleistungskurve nach Burkhardt

Burkhardt [2] betrachtet den Umstand des Leistungsrückgangs in seinen Ausführungen Kostenprobleme der Bauproduktion nur im Unterkapitel „Produktionswagnis“ des Kapitels „Das Werk und seine Kennzeichen“. Er geht dabei weder auf das entstehen noch auf Schlussfolgerungen aus seiner Kurve ein.

Zur Entstehung der Kurve findet sich lediglich folgende Anmerkung:

„Wir haben Scraper- und Baggerleistungen in Abhängigkeit von der täglichen Arbeitszeit gemessen, die zeigen, dass die Leistungsabnahme bemerkenswert ist.“ [2]

In seiner Darstellung bildet Burkhardt die jeweilige stündliche Arbeitsleistung im Verhältnis zur durchschnittlichen täglichen Arbeitsleistung ab.

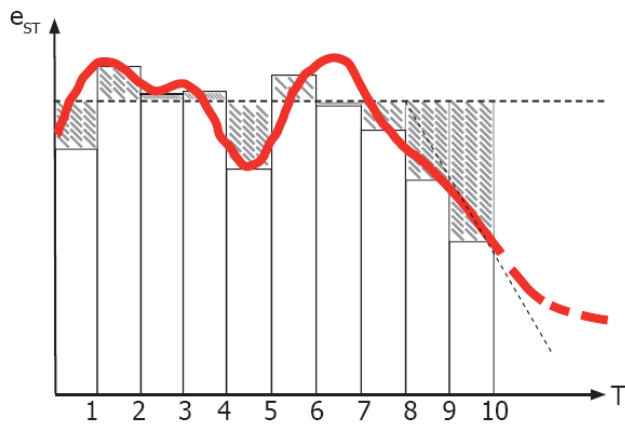


Abbildung 2 Leistungskurven nach Burkhardt [2]

Die Darstellung endet bei 10 Arbeitsstunden und einem Wert von ca. 0,5. Dieser Wert bedeutet, dass ein Arbeiter in der zehnten Arbeitsstunde nur mehr die Hälfte der durchschnittlichen stündlichen Arbeitsleistung eines achtstündigen Arbeitstages erbringen kann.

Arbeitsleistungskurve nach Winter

Aufbauend auf Burkhardt modifiziert Winter [3] die Leistungskurven für mathematische Berechnungen. Er stützt seine Überlegungen auf die Leistungsstudie bei geräteintensiven Bagger- und Scraperarbeiten von Burkhardt.

Winter führt im Hinblick auf die Anwendung dieser gerätebezogenen Leistungskurve im Kapitel „Ablaufplanung“ an, dass die erhobenen Kennwerte auch für andere Tätigkeiten verwendet werden können. Dies begründet er in seinen Ausführungen dadurch, 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.

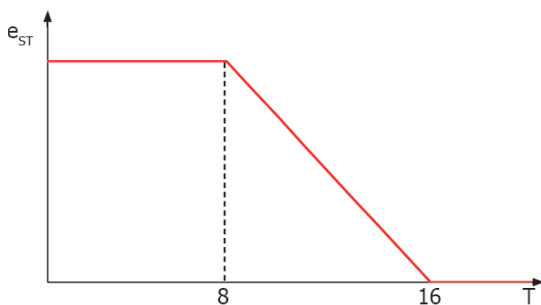


Abbildung 3 Leistungskurve nach Winter [3]

Die Darstellung von Winter ist die mathematisch vereinfachte Darstellung der Kurve von Burkhardt und kann durch die folgenden Gleichungen dargestellt werden.

Formel 1 Arbeitsleistungsgleichung nach Winter [3]

$$e * T = 12 - 16 (1 - T/16)^2$$

e ... der Leistungseffekt abhängig von der Arbeitsdauer

T ... die Arbeitsdauer

Winter extrapoliert dabei den Leistungsverlauf, der von Burkhardt bis zur zehnten Stunde dargestellt wurde, bis zur sechzehnten Stunde und prognostiziert, dass in der sechzehnten Arbeitsstunde keine zusätzliche Arbeitsleistung erbracht wird.

Anmerkungen zu den bestehenden Kurven

Zu Lehmann ist festzuhalten, dass seine Überlegungen nicht auf einer zur Leistungskurve gehörenden Untersuchung beruhen, sondern auf Basis von verschiedenen medizinischen Untersuchungen und zur damaligen Zeit bekannten oder erhobenen Tatsachen abgeschätzt wurden.

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[3].

Ebenso wie bei Lehmann können auch bei Burkhardt und vor allem bei Winter Anmerkungen gemacht werden, wobei drei wesentliche Punkte hervorzuheben sind:[4]

- Es gibt nur wenige Kenntnisse über die Untersuchung bzw. Beobachtung von Burkhardt. 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 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 Abbildung 2, da der Leistungswert dieser 10ten Stunde nur mehr etwas mehr als 50% des Leistungswertes der vorhergehenden Stunde darstellt. Dieser Umstand, also die Leistung der ersten und letzten (halben) Stunde sollte daher nochmals eingehender überprüft werden.

Auch die Anwendung von erhobenen Daten, welche sich auf Leistungen mit Maschineneinsatz beziehen, auf Arbeiten die überwiegend oder hauptsächlich durch den Einsatz von körperlicher Arbeit erbracht werden, sollte überdacht werden.

Das Forschungsprojekt „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ Forschungsinhalt und Ziel

Das Kooperationsforschungsprojekt „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“¹ beschäftigt sich, aufbauend auf den zuvor dargestellten Leistungskurven und Untersuchungen, mit dem Zusammenhang zwischen Arbeitszeit und Arbeitsleistung für den Bereich der Rohbauarbeiten (Maurer-, Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten). Dabei werden arbeitsmedizinische sowie bauleistungsbezogene Aspekte am Arbeitsplatz berücksichtigt.

Durch die Auswertung von Arbeitsablaufbeobachtungen in Kombination mit der Erhebung von persönlichen Körperwerten (Gewicht, Größe, Puls, uä.) des ausführenden gewerblichen Personals wird auf die jeweilige Belastung und Beanspruchung infolge erbrachten Leistung geschlossen. Mit diesem Projekt soll die Grundlage geschaffen werden, einen nutzbaren Zusammenhang zwischen der zu erbringenden Tätigkeit, den Arbeitszeitvorgaben und den Umgebungsbedingungen herzustellen.

Durch die Abbildung des Verlaufs der Arbeitsleistung in Abhängigkeit vom Kalorienverbrauch während eines Arbeitstages und der Ermittlung des Kalorienverbrauchs für bestimmte Tätigkeiten der Rohbauarbeiten soll so eine realistische Leistungsabschätzung erfolgen.

¹ In Kooperation mit dem HPR^{Graz}, Human Performance Research, Zentrum für Bewegungswissenschaften und Sportmedizinische Forschung, Universitätsübergreifendes Forschungszentrum der Karl Franzens Universität Graz und der Medizinischen Universität Graz.

Auswertungsergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde, wie zuvor beschrieben unterschiedliche Datensätze gesammelt bzw. aufgezeichnet. Im Folgenden werden nun zwei dieser Datenreihen dargestellt. Konkret handelt es sich um die Tätigkeitsverteilung der untersuchten Fach und Hilfsarbeiter und um die Verteilung.

Ergebnis der Tätigkeitsanalyse

Für die Tätigkeitsanalyse wurde die Multimomentaufnahme nach REFA angewandt, wobei der von REFA vorgeschlagene Bogen abgewandelt und mit dem für die Untersuchung wesentliche Datenaufnahmen ergänzt wurde. Die aufgezeichneten Tätigkeiten wurden dabei in folgende Kategorien unterteilt:

Tabelle 1 Einteilung der Vorgänge des Arbeitsablaufs nach Schlagbauer [5]

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, Toilettengang, 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.

Das Ergebnis der Aufnahmen ergibt die Tätigkeitsverteilung. Aus dieser können Rückschlüsse auf die Verteilung der durchzuführenden Tätigkeiten sowie auf die Qualität der logistischen Abläufe gezogen werden.

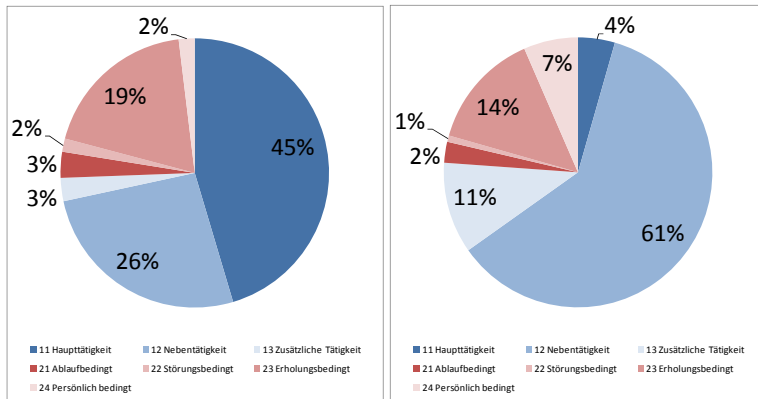


Abbildung 4 Beispiel für die Darstellung der Tätigkeitsverteilung von Facharbeiter(links) und Hilfsarbeiter (rechts)

Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass bei Facharbeitern 45% der Arbeitszeit auf Haupttätigkeiten, also Tätigkeiten die direkt im Rahmen einer Leistungsposition zur Verrechnung gebracht werden können, entfallen. Wie zu erwarten ist, stellt sich beim Hilfsarbeiter die völlig konträre Situation dar. Bei diesem ist vor allem der hohe Prozentsatz der Nebentätigkeiten, also Tätigkeiten die notwendig sind, um Hauptleistungen zu erbringen, zu erkennen. In Verbindung mit den geringen ablaufbedingten Störungen lässt dies darauf schließen, dass die logistischen Abläufe der Baustelle gut vorbereitet wurden.

Pausenanordnung

Die zweite vorläufige Auswertung betrifft die Verteilung von Pausenzeiten im Verlauf des Arbeitstages. Um alle möglichen Erholungszeiten, welche einem Bauarbeiter zur Verfügung stehen, abzubilden, wurde die Anzahl der Notierungen der Kategorien „Erholungsbedingte Unterbrechung“ und „Persönlich bedingte Unterbrechung“ im Verlauf des Arbeitstages dargestellt.

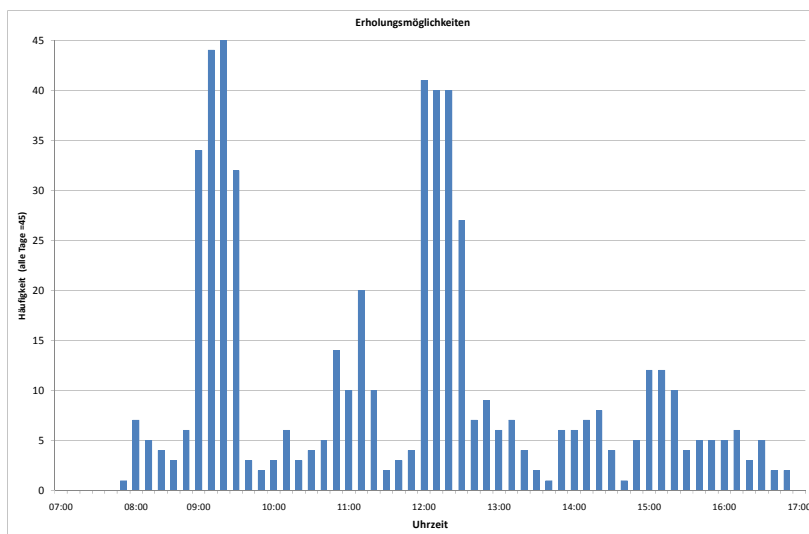


Abbildung 5 Verteilung der Erholungsmöglichkeiten im Verlauf eines Arbeitstages

Aus Abbildung 5 ist erkennbar, dass die Haupterholungsmöglichkeiten im Rahmen der vom Arbeitgeber vorgegebenen Pausen, im Zeitraum 9:10 bis 9:20 Uhr und 12:00 bis 12:30, vorgefunden wurden. Zwei weitere Spitzen ergeben sich um ca. 11 Uhr und um ca. 15 Uhr. Ebenso ist ersichtlich, dass am Nachmittag ab ca. 14 Uhr fast kontinuierlich Erholungszeiten festgehalten werden konnten. Hinterlegt man nun Abbildung 5 mit dem Verlauf der Unfallzahlen der AUYA aus dem Jahr 2008 [6], so ergibt sich Abbildung 6.

Aus der Darstellung in Abbildung 6 ist erkennbar, dass die Unfallzahlen ab Arbeitsbeginn ständig erhöhen,

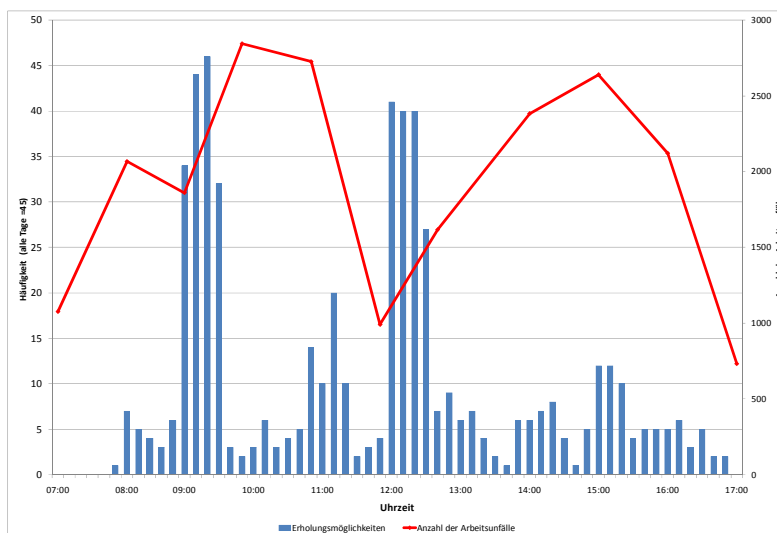


Abbildung 6 Verteilung der Erholungsmöglichkeiten und der Arbeitsunfälle im Verlauf eines Arbeitstages

lediglich unterbrochen von den vorgegebenen Pausenzeiten. Besonders stark ist der erneute Anstieg der Unfallzahlen nach der Mittagspause im Zeitraum von 13:00 bis 15:00. Erst nach 15:00 Uhr sinken die Unfallzahlen bis zum Ende des Arbeitstages.

Ergebnis, Zusammenfassung

Die dargelegten Kritikpunkte an den derzeit vorhandenen Arbeitsleistungskurven und die ebenso verbreitete Verwendung dieser gaben den Anlass zur eingehenden Bearbeitung dieses Themas. Im Zuge des Forschungsprojektes „Arbeitsbelastung und Arbeitsleistungskurven“ wurden die Grundlagen für eine Neubewertung der Leistungsverläufe für physiologisch belastende Tätigkeiten geschaffen.

Die vorgestellten Teilergebnisse zeigen dabei Folgendes:

- Bauarbeiter, unabhängig davon, ob es sich im Facharbeiter oder Hilfsarbeiter handelt, haben einen hohen Anteil an Tätigkeitszeiten und nur mehr einen geringen Anteil an Unterbrechungen und Pausenzeiten im Verlauf eines Arbeitstages
- Die Erholungsmöglichkeiten sind an vier Zeitpunkten am stärksten ausgeprägt. Einerseits an den beiden vom Arbeitgeber vorgegebenen Pausenzeiten ab ca. 9 Uhr und ab 12 Uhr. Andererseits wurden Erholungszeitpitzen um 11 Uhr und um ca. 15 Uhr vorgefunden.
- Der Verlauf der Unfallzahlen zeigt einen starken Anstieg am Vormittag, wobei dieser hier durch die Pause unterbrochen wird und einen ebenso hohen Anstieg am Nachmittag. Hier fehlt jedoch eine weitere koordinierte Pause, um auch hier einen Effekt auf die Unfallzahlen zu erreichen.

Generell zeigt sich, dass es mit den Ergebnissen des Forschungsprojektes möglich erscheint Belastungen von Arbeitsabläufen im Vorfeld zu simulieren. Mit Hilfe dieser Simulation könnte die Belastung der Bauarbeiter reduziert werden, ohne wirtschaftliche Einbußen zu befürchten. Vielmehr würde sich nach Ansicht des Verfassers die Leistungsfähigkeit verbessern.

Ebenso ist die Anordnung der Pausenzeiten zu überdenken. Diesbezüglich kann auf ein aktuell in Planung befindliches Forschungsprojekt des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft mit der Bauindustrie und dem Bau-gewerbe Steiermark verwiesen werden.

Neben dieser Betrachtung der Pausenzeiten besteht der weitere Forschungsbedarf auch in der Untersuchung weiterer Gewerke beziehungsweise Arbeitsaufgaben von Bauarbeitern, um die erarbeitete Systematik zur tätigkeitsabhängigen Leistungsverlustabschätzung für die gesamte Bauwirtschaft anwenden zu können.[7]

Literaturverzeichnis

- [1] Lehmann, G. (1962): Praktische Arbeitsphysiologie, Dissertation, Dortmund, Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- [2] Burkhardt, G.(1963): Kostenprobleme der Bauproduktion, Berlin: Bauverlag.
- [3] Winter, H.-J. (1966): Die lohnintensive Auftragsfertigung in der Bauindustrie, Dissertation, Aachen.
- [4] Schlagbauer, D. (2006): Einfluss der Arbeitszeit auf die Arbeitsleistung, Diplomarbeit, TU Graz, Graz.
- [5] Schlagbauer, D.(2010) in Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement(Hrsg.): Tagungsband 1. Assistententreffender Bereiche Bauwirtschaft, Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik 2010, Eigenverlag.
- [6] AUVA (20010): Unfallzahlen im Bauwesen für das Jahr 2008.
- [7] Schlagbauer D. (2011) in Lechner, Heck, Hofstadler: 9. Grazer Baubetriebs- und Bauwirtschaftssymposium: Bauablaufstörungen Baubetriebliche, bauwirtschaftliche und rechtliche Aspekte, Verlag der TU Graz. S77-108