

# Zirkadiane Leistungsschwankungen in der Produktion

## Performance Efficiency Fluctuation in the Production

Peter Nyhuis  
Georg Ullmann  
Jens-Michael Potthast

Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH, Hannover

**I**n diesem Beitrag werden anhand eines industriellen Arbeitssystems erstmalig zirkadiane Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten in Abhängigkeit des Einflussfaktors „Biorhythmus“ nachgewiesen. Der Zusammenhang zwischen Leistungsschwankungen und den ermittelten Einflussfaktoren wird mit einem datenanalytischen Verfahren statistisch abgesichert. Abschließend werden Anwendungsgebiete (z. B. Schichtarbeit, Taktanpassung) für eine Nutzbarmachung der nachgewiesenen Leistungsschwankungen aufgezeigt.

[Schlüsselwörter: Leistungsschwankung, Montage, Arbeitssystem, statistische Datenanalyse]

**T**his paper discusses the influence of circadian performance fluctuations on workers conducting manual assembly tasks under consideration of biorhythm. A data analysis method statistically verifies the correlations between performance fluctuations and investigated biorhythm. Finally, the paper suggests different areas of practical application of the confirmed performance fluctuations (e.g. shift work, cycle time adjustment).

[Keywords: performance efficiency fluctuation, assembly, industrial work system, data analysis method]

### 1 EINLEITUNG

Die Leistung des Menschen ist im Tagesverlauf Schwankungen unterworfen. Dieser Sachverhalt wurde in den 1960er Jahren erstmals als „Physiologische Leistungskurve“ beschrieben. Die Leistungskurve nach GRAF basiert auf einer Studie über die Häufigkeit von Ablesefehlern in einem schwedischen Gaswerk im Tagesverlauf. Auf Basis dieser Studie entwickelte GRAF ein zur Fehlerhäufigkeitskurve entgegengesetztes Näherungspolynom, mit welchem erstmals ein funktionaler Zusammenhang zwischen menschlicher Leistung und Tageszeit hergestellt wurde. Als Kritikpunkt an der Leistungskurve nach Graf ist exemplarisch die fehlende Differenzierung der Menschen nach Biorhythmus (Morgen- und Abend-

typ) zu nennen. Zudem enthält das Ablesen von Gaszählern keine wesentliche körperliche Komponente. Eine Analyse zirkadianer Leistungsschwankungen des Menschen in der industriellen Montage ist bislang noch nicht explizit untersucht worden. Mit dem vorliegenden Artikel soll diese Lücke geschlossen werden. Anhand eines geeigneten industriellen Arbeitssystems werden erstmalig zirkadiane Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten in Abhängigkeit des Einflussfaktors „Biorhythmus“ erfasst und analysiert.

### 2 PRÄMISSEN MENSCHLICHER ARBEIT

Zunächst wird der Begriff der Leistung definiert. In der Physik bezeichnet die Leistung die pro Zeitintervall verrichtete Arbeit [Eic07]. Darauf aufbauend beschreibt der Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung (REFA) die Arbeitsleistung als das auf eine bestimmte Zeit bezogene Arbeitsergebnis [Ref97]. Die Arbeitsleistung beinhaltet verschiedene Einflussfaktoren. Nach GÜNTHER und TEMPELMEIER hängt die menschliche Leistung von extrapersonellen sowie intrapersonellen Einflussfaktoren ab [Gue05]. Als extrapersonelle Einflussgrößen auf die menschliche Leistung sind die Bestimmungsfaktoren der betrieblichen Umwelt (z. B. Arbeitsplatzgestaltung, Ergonomie) zu nennen [Gue05]. Die intrapersonellen Einflussgrößen beinhalten eine physische und eine psychische Komponente. Aus der Erklärung des Leistungsbegriffs nach GÜNTHER und TEMPELMEIER lassen sich zudem weitere Voraussetzungen für die Ermittlung der menschlichen Leistung ableiten. Da die Leistung eines Menschen von extrapersonellen Einflussfaktoren abhängt, muss für eine unverzerrte Bestimmung der menschlichen Leistung in Abhängigkeit der Tageszeit sichergestellt sein, dass die betriebliche Umwelt und damit die Arbeitsbedingungen während des Untersuchungszeitraums und im Tagesverlauf konstant bleiben. Auf intrapersoneller Ebene ist es hingegen wichtig, die Leistung anhand einer manuellen Tätigkeit zu beurteilen, die sowohl physische als auch psychische Anforderungen an den Menschen stellt [Gue05]. Die genannten Voraussetzungen wurden bei der nachfolgend beschriebenen Datenerhebung berücksichtigt.

### 3 DATENERHEBUNG

Die Ermittlung zirkadianer Leistungsschwankungen von Produktionsmitarbeitern erfolgte realitätsnah durch eine Untersuchung von Mitarbeitern im produzierenden Umfeld. Bei einem Reifenhersteller wurden im Rahmen einer Studie Bearbeitungszeiten für Arbeitsgänge erfasst. Anhand dieser Bearbeitungszeiten lassen sich die von den Mitarbeitern erbrachten Leistungen für einen zuvor definierten Arbeitsgang auf Basis der zugrunde liegenden physikalischen Leistungsdefinition ermitteln. Durch Auswahl eines für die Untersuchung geeigneten Arbeitsgangs, der sowohl durch körperliche als auch durch geistige Aspekte geprägt ist, wurde weiterhin sichergestellt, dass die ermittelten Leistungen den formulierten Prämissen menschlicher Leistung gerecht werden.

In einem rumänischen Werk eines deutschen Reifenherstellers wurden manuelle Tätigkeiten beim Arbeitsgang Seitenwandspleiß in einer realen Serienmontage identifiziert. Der Seitenwandspleiß zeichnet sich durch eine hohe Komplexität der Bewegungsabläufe aus. Einerseits sind körperliche Anforderungen beispielsweise infolge der Bewegung eines Hilfsmittels, der sogenannten Rolle, gegeben. Andererseits sind geistige Anforderungen in Form von Konzentration des Mitarbeiters beim manuellen Fügen der Seitenwände auf dem zu bearbeitenden Halbzeug zu nennen. Im Folgenden wird die Abhängigkeit des Arbeitsgangs „Seitenwandspleiß“ von extrapersonellen Einflussfaktoren überprüft.

#### 3.1 EXTRAPERSONELLE EINFLUSSFAKTOREN

Um einer Verfälschung der Ergebnisse im betrachteten Untersuchungsbereich vorzubeugen, wurden mittels einer Expertenbefragung potentielle extrapersonelle Einflussfaktoren evaluiert und auf ihre Relevanz für die zu erfassenden Bearbeitungszeiten untersucht. Hierzu wurden extrapersonelle Einflussfaktoren für schwankende Bearbeitungszeiten auf Basis wesentlicher arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse aus dem Werk „Arbeitswissenschaften“ sowie arbeitspsychologischer und physiologischer Erkenntnisse aus dem Werk „Arbeitspsychologie“ ermittelt [Sch10, Fri99]. Die aus der Literatur identifizierten extrapersonellen Einflussfaktoren wurden um Expertenwissen aus dem Fachgebiet Reifenherstellung ergänzt, um festzustellen, welche Maschinenarbeitsplätze sich für die Erhebung der Daten von Bearbeitungszeiten eignen. Laut Expertenbefragung sind bei allen untersuchten sechs Maschinenarbeitsplätzen die zwölf extrapersonellen Einflussfaktoren („Beleuchtung“, „Schwingungen“, „Klima“, „Energetisch-effektorisch“, „Informativ-mental“, „Fertigungsprozess“, „Verfügbarkeit“, „Genauigkeit“, „Bedienbarkeit“, „Allgemeintoleranzen“, „Gewicht“ und „Bereitstellung“) nicht vorhanden, vernachlässigbar gering oder wirken in allen Fällen vergleichbar auf das Untersuchungsergebnis ein. Maßgebliche extrapersonelle Einflüsse auf die Ergebnisse dieser Arbeit sind somit nicht zu erwarten. Neben

den extrapersonellen Einflussfaktoren wurden intrapersonelle Einflussfaktoren ermittelt.

#### 3.2 INTRAPERSONELLE EINFLUSSFAKTOREN

Zur Erfassung intrapersoneller Einflussfaktoren auf manuelle Montagetätigkeiten wurde eine Mitarbeiterbefragung vorgenommen. Im Vorfeld der Mitarbeiterbefragung wurde den befragten Mitarbeitern das Ziel der Untersuchung erläutert und explizit darauf hingewiesen, dass keine Einzelauswertungen zu Personen veröffentlicht werden. Es wurden 24 Mitarbeiter, die an den sechs Maschinenarbeitsplätzen arbeiten und den Arbeitsgang Seitenwandspleiß verrichten, befragt.

Zur Begrenzung des Aufwands wurde sich in Anlehnung an die Merkmale menschlicher Leistung nach LUCZAK auf folgende sechs intrapersonelle Einflussgrößen konzentriert: Geschlecht, Alter, Biorhythmus, Berufserfahrung, Zufriedenheit und Ermüdung [Luc89]. Zur Prüfung des Einflusses der intrapersonellen Einflussfaktoren wurden diese erhoben. Dazu wurde ein Fragenkatalog erarbeitet, der sechs Fragen, bestehend aus vier geschlossenen Fragen und zwei offenen Fragen, umfasst.

In dem vorliegenden Artikel wird der intrapersonelle Einflussfaktor „Biorhythmus“ betrachtet. Ausschlaggebend für den angestrebten Nachweis zirkadianer Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten ist die Veränderung der menschlichen Leistung innerhalb eines Tages.

Der Biorhythmus kann in Morgen- und Abendtypen differenziert werden. Morgentypen sind im Gegensatz zu Abendtypen bereits früh am Tag zur Erbringung hoher Leistung fähig. Abendtypen hingegen können die Zeit abends bevorzugt zur Arbeit nutzen [Mei06].

Das Ergebnis der Mitarbeiterbefragung (Abb. 1) zeigt eine nahezu ausgeglichene Verteilung zum Einflussfaktor „Biorhythmus“. 14 Mitarbeiter ordneten sich selbst der Merkmalsausprägung „morgens“ und zehn der „abends“ zu. Diese Zuordnung wurde im Rahmen der Datenauswertung für eine differenzierte Analyse herangezogen. Zunächst sind jedoch die industriellen Voraussetzungen für die manuellen Tätigkeiten beim Arbeitsgang Seitenwandspleiß zu prüfen.

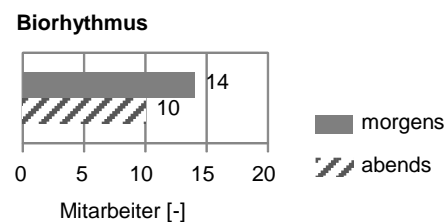


Abbildung 1. Ergebnis der Mitarbeiterbefragung zum Einflussfaktor Biorhythmus

### 3.3 VORAUSSETZUNGEN

In einem ausgewählten Untersuchungsbereich des Reifenherstellers hat die Erhebung der Daten an sechs baugleichen Maschinenarbeitsplätzen stattgefunden. Die Maschinenzeiten an den sechs Maschinenarbeitsplätzen wurden für 24 Mitarbeiter erfasst. Die Zeiten der einzelnen Arbeitsgänge (u.a. der Arbeitsgang Seitenwandspleiß) der Reifenherstellung wurden maschinenspezifisch mittels eines eigens für die Maschinen erstellten Programms mit dem Namen „Cycles“ erfasst. Unterschiedliche Arbeitsgänge wurden vom Mitarbeiter durch die Betätigung eines Fußtasters zurückgemeldet und durch ein Programm aufgezeichnet. Auf diese Weise wurden Rückmeldedaten (z. B. Arbeitsgangnummer, Maschinenummer, Artikelnummer und Artikelbezeichnung) von 23 verschiedenen Arbeitsgängen pro Artikel erfasst.

Grundsätzlich können die betrachteten Maschinenzeiten im Zeitraum der Untersuchung eindeutig zeitlich bestimmt werden. Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum mehrere Millionen Datensätze aufgenommen. Aufgrund dieses Datenumfanges wurde für eine strukturierte Auswertung eine Datenbanksoftware verwendet. Zu diesem Zweck wurde das Datenbankprogramm MS-Access ausgewählt, welches über die notwendigen Funktionen zur Auswertung umfangreicher Daten verfügt.

Die entwickelte Datenbank enthält alle Informationen, um SQL-Abfragen der Maschinenzeiten programmieren und ausführen zu können. Dementsprechend konnten so für die anschließende Datenauswertung relevante Aspekte gefiltert und ausgewertet werden.

### 4 DATENAUSWERTUNG

Aufbauend auf der beschriebenen Datenerhebung wurde die Datenauswertung durchgeführt. Hierzu wurde zuerst eine Datenbereinigung vorgenommen. Dies beinhaltet im Wesentlichen eine Bestimmung der manuellen Bearbeitungszeiten und eine Plausibilitätsprüfung.

Aus den erfassten Maschinendaten lassen sich manuelle Bearbeitungszeiten der Mitarbeiter extrahieren. Grundlage hierfür bietet eine Video-Analyse für den Arbeitsgang Seitenwandspleiß. So konnten für einen Beispielartikel die Bewegungselemente und Bewegungslängen mittels des MTM-Grundverfahrens ermittelt und so die Soll-Zeit für die manuelle Bearbeitungszeit abgeleitet werden. Für weitere Artikel liegen keine Video-Analysen vor. Deshalb erfolgt die Ermittlung indirekt. Durch eine Subtraktion der Soll-Zeit für den gesamten Arbeitsgang abzüglich der manuellen Bearbeitungszeit konnte der Maschinenzeitanteil berechnet werden. Unter der Annahme, dass der Maschinenzeitanteil für alle Artikel konstant ist, konnten so die manuellen Bearbeitungszeiten für jeden Artikel berechnet werden.

Vor der Auswertung der Maschinendaten wurde zunächst eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Hierzu wurden die Datensätze hinsichtlich externer (z. B. doppelte) und interner (z. B. fehlerhafte Datensätze) formaler Korrektheit überprüft und bestätigt. Um die inhaltliche Plausibilität (z. B. Widerspruchsfreiheit, Konsistenz) zu überprüfen, wurden Daten außerhalb einer definierten Ober- und Untergrenze eliminiert. Die Obergrenze wurde auf Basis eines in der Fachliteratur definierten Erholzeitzuschlags (15 %) festgelegt werden. Für die Untergrenze wurden manuelle Bearbeitungszeiten, die weniger als ein Drittel der manuellen Bearbeitungszeit (Soll-Zeit) betragen, als nicht plausibel definiert. Zur Überprüfung der Häufigkeitsverteilung sind beispielsweise die Ist-Zeiten für den gesamten Arbeitsgang Seitenwandspleiß mit Fokus auf die Untergrenze im Abb. 2 dargestellt.

Im Bereich von 5 s bis 10 s sind überwiegend schwarz markierte Flächen zu erkennen, d. h. es existieren keine Ist-Zeiten zu den jeweiligen Uhrzeiten. Entsprechend liefert die dreidimensionale Häufigkeitsverteilung der Ist-Zeiten eine Bestätigung für die Wahl der Untergrenze von 10 s. Infolge der festgelegten Ober- und Untergrenzen wurden ca. 5 % der Maschinendaten eliminiert. Um aus den erfassten manuellen Bearbeitungszeiten entsprechende Leistungen zu bestimmen, wurde von der physikalischen Definition des Leistungsbegriffs, der die Darstellung von Leistung als Arbeit pro Zeit beinhaltet, ausgegangen.

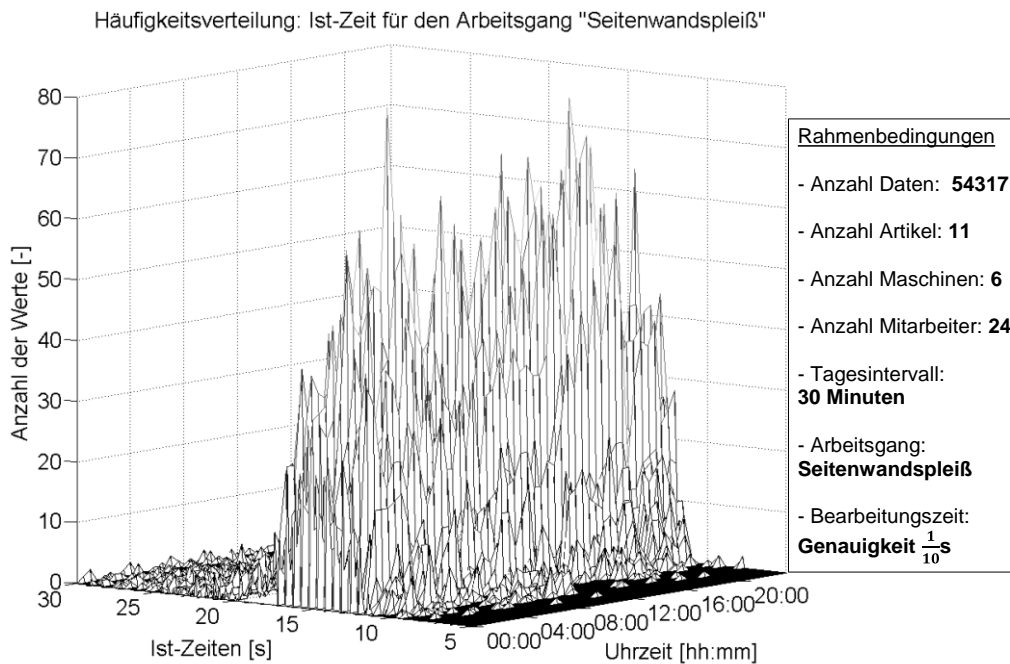


Abbildung 2. Häufigkeitsverteilung mit Fokus Untergrenze

#### 4.1 BERECHNUNG RELATIVER LEISTUNGSGRAD

Die absolute erbrachte Leistung eines Mitarbeiters ist für den an einem Artikel einmalig durchgeführten Arbeitsgang der Kehrwert der benötigten manuellen Bearbeitungszeit  $T_i$ . Bei unterschiedlichen Artikeln kann der Arbeitsaufwand (z. B. infolge unterschiedlicher Materialeigenschaften) des Arbeitsgangs (Seitenwandspleiß) variieren. Daher sind absolute Leistungen der Mitarbeiter bei verschiedenen Artikeln nicht zwangsläufig miteinander zu vergleichen. Durch die Ermittlung eines relativen Leistungsgrads wurde die Vergleichbarkeit hergestellt.

Relativer Leistungsgrad:

$$L_{i,rel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 100\% \quad (1)$$

Auf Basis der Formel (1) lassen sich aus den vorliegenden Maschinendaten relative Leistungsgrade in Prozent der durchschnittlich erbrachten Mitarbeiterleistung artikelspezifisch bestimmen. Zur Weiterverarbeitung werden für jeden Artikel aus den arithmetisch gemittelten Maschinenzeiten durch Subtraktion des Maschinezeitanteils die rein manuellen Bearbeitungszeiten ermittelt. Anschließend mittels der Formel (1) in relative Leistungsgrade umgerechnet.

Die Ermittlung der relativen Leistungsgrade erfolgte für jeden der elf Artikel sowohl mit als auch ohne Berücksichtigung der intrapersonellen Einflussfaktoren (z. B. „Biorhythmus“) und Merkmalsausprägungen (z. B.: Morgentyp, Abendtypen). Anschließend wurden die für die einzelnen Artikel gemittelten relativen Leistungsgrade durch eine erneute Bildung arithmetischer Mittelwerte artikelübergreifend und tagesintervallspezifisch als aggregierte Leistungsgrade zusammengefasst. Die aggregierten Leistungsgrade wurden in Abhängigkeit der Tageszeit grafisch dargestellt und im Folgenden als „aggregierte Leistungskurve“ bezeichnet.

Im Anschluss wurde überprüft, ob der Einflussfaktor „Biorhythmus“ die Leistung bei manuellen Montagetätigkeiten beeinflusst. Hierzu wurden auf Basis der beschriebenen Vorgehensweise mittels der Software MATLAB die aggregierten Leistungskurven differenziert nach „abends“ und „morgens“ ermittelt (vgl. Abb. 3).

Generell ist in dem Abb. 3 folgendes zu erkennen: die zirkadianen Leistungsschwankungen in Abhängigkeit von Morgen- und Abendtypen unterscheiden sich im Tagesverlauf. In der vorliegenden Arbeit wurden zum Einflussfaktor Biorhythmus vier Erkenntnisse gewonnen.

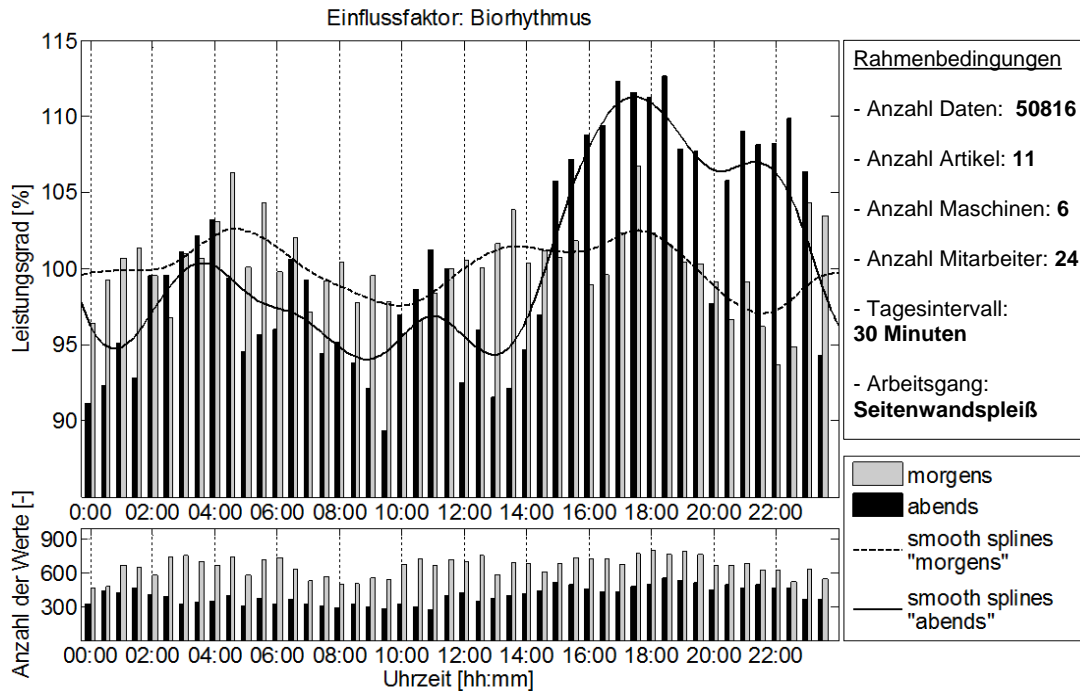


Abbildung 3. Aggregierte Leistungskurven zu den zwei Einflussfaktoren Biorhythmus und Tagesintervall

Als erste Erkenntnis verzeichnet der Morgentyp, wie in der Literatur vermutet, am Morgen ein Leistungshoch. Hier liegt das globale Maximum mit einem Leistungsgrad von 103 % um 04:30 Uhr. Die zweite Erkenntnis beinhaltet, dass bei der aggregierten Leistungskurve für den Morgentypen lediglich geringe Unterschiede in der Leistung (97 % bis 103 % Leistungsgrad) zu verzeichnen sind. Folglich erbringen Morgentypen eher konstante Leistung über den Tag. Weiterhin ist als dritte Erkenntnis deutlich zu identifizieren, dass Abendtypen am Abend wesentlich leistungsstärker sind als Morgentypen. Der Leistungshochpunkt der Abendtypen liegt bei einem Leistungsgrad von 112 %. Als vierte Erkenntnis weisen Abendtypen morgens und nachts geringere Leistungen auf als Morgentypen. Diese Erkenntnis wird durch die Leistungstiefpunkte für den Abendtypen mit einem Leistungsgrad 94 % und für den Morgentypen mit einem Leistungsgrad 97 % bestätigt. Der mittlere Leistungsgrad war dabei unabhängig vom Biorhythmus.

Mittels einer statistischen Auswertung auf Basis einer univariaten, zweifaktoriellen Varianzanalyse wurde die Signifikanz des Einflussfaktors „Biorhythmus“ nachgewiesen. Folglich sind zirkadiane Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten vom Einflussfaktor „Biorhythmus“ abhängig und im Rahmen der vorliegenden Untersuchung in der Produktion nachgewiesen. Die Vermutung liegt nahe, dass sich die Ergebnisse nicht ohne weiteres auf beliebige Standorte oder Jahreszeiten übertragen lassen. Beispielsweise können unterschiedliche extrapersonelle Einflussfaktoren (z.B. Lichtverhältnisse, Temperatur) insbesondere einen Einfluss auf die Lage der Extremwerte haben.

## 5 ANWENDUNGSGEBIETE

Im Folgenden werden zunächst ausgewählte theoretisch mögliche Anwendungsgebiete für die Nutzbarmachung der Erkenntnisse über zirkadiane Leistungsschwankungen aufgezeigt, die mit Experten des Reifenherstellers identifiziert wurden. Weiterhin werden die jeweiligen Anwendungspotentiale bewertet.

### 5.1 ARBEITSENTGELT

Laut SCHLICK umfasst das Arbeitsentgelt alle monetär bewertbaren Zuwendungen, die ein Arbeitgeber einem Arbeitnehmer im Austausch für seine Arbeitsleistung gewährt [Sch10]. In der betrieblichen Praxis finden eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeitslöhne Anwendung. Als Beispiele sind Akkord- und Prämienlohn zu nennen. Beim Akkord ist der erzielte Lohn immer proportional zur erzielten Mengenleistung. Hingegen ist der Prämienlohn einerseits durch einen Grundlohn und andererseits durch einen Prämienanteil bei Mehrleistung gekennzeichnet. Trotz langer Tradition des Akkordlohns verliert er in der betrieblichen Praxis zunehmend an Bedeutung [Ber00, Sch10].

Bisher werden in der Praxis tageszeitliche Leistungsschwankungen der Mitarbeiter bei der Prämienermittlung unzureichend berücksichtigt. Um diesem Defizit Rechnung zu tragen, empfiehlt es sich, den Prämienanteil zukünftig pro Schicht (Früh, Spät, Nacht) vorzugeben. Dadurch ist es möglich, Über- oder Unterforderung der Mitarbeiter zu reduzieren.

Exemplarischer Nutzen: *höhere Mitarbeitermotivation*

## 5.2 SCHICHTARBEIT

Schichtarbeit kann entweder zu wechselnden Zeiten (z. B. mit oder ohne Nacharbeit, mit oder ohne Wochenendarbeit) oder zu konstanten Zeiten (z. B. Dauernachtschicht, Dauerfrühschicht) ausgeführt werden. Gleiche Tätigkeiten werden somit innerhalb verschiedener Zeitabschnitte am gleichen Arbeitsplatz von verschiedenen Mitarbeitern durchgeführt [Rut79]. Strukturiert sind die Zeitabschnitte in Früh-, Spät- und Nachschicht. Untersuchungen von KNAUTH zeigen, dass auch bei mehreren hintereinander liegenden Nachtschichten keine vollständige Anpassung erfolgt [Kna07], d. h. Morgentypen können sich nur bedingt auf Nachschichtarbeit umstellen (z. B. infolge von Schlafdefiziten). Hier bietet der Nachweis zirkadianer Leistungsschwankungen für Mitarbeiter aus der Montage für die industrielle Praxis einen neuen Ansatz. Abhängig von den aggregierten Leistungskurven sollten Mitarbeiter entsprechend ihrer Leistung in die entsprechenden Schichten eingeplant werden. D. h. Morgentypen in den Morgenstunden und entsprechend Abendtypen eher in den Abendstunden. Kritisch muss bei diesem Ansatz jedoch auf begrenzte gesetzliche Gestaltungsspielräume (z. B. Ruhezeiten, Pausen, Dauer und Lage der Arbeitszeit) verwiesen werden.

Exemplarischer Nutzen: *höhere Mitarbeiterleistung*

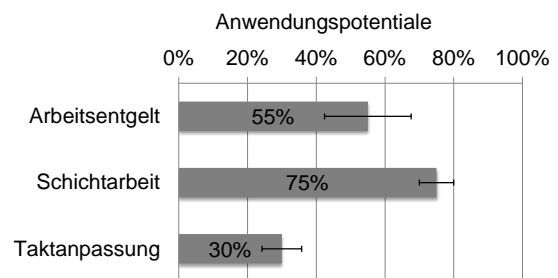
## 5.3 TAKTANPASSUNG

Reihenmontage oder Taktstraßenmontage sind unter dem Oberbegriff Fließmontage zusammengefasst. Kennzeichnend ist die Art der Bindung des Menschen an die Taktzeit bzw. Fließgeschwindigkeit bei kontinuierlich laufenden Werkstückträgern [Wie09]. Nach BEHRENS findet die Fließmontage beispielsweise in der Automobilindustrie im Karosseriebau Anwendung [Beh08]. REINHART befasst sich bereits mit der Adaption der Taktzeit an den zirkadianen Rhythmus. Bisher ist die übliche Vorgehensweise, die Taktzeit und somit die Arbeitsgeschwindigkeit über die gesamte Schichtzeit auf einem Niveau zu belassen. Er empfiehlt Veränderungen der Taktzeit bzw. Fließbandgeschwindigkeit beispielsweise in Kombination mit Pausenzeiten vorzunehmen. Daher können tageszeitliche Leistungsschwankungen der Mitarbeiter durch entsprechende unterschiedliche Taktzeiten pro Tag (Leistungshoch = kurzer Takt, Leistungstief = langer Takt) zukünftig berücksichtigt werden. Entsprechend gilt bei einem Leistungshoch des Mitarbeiters eine hohe Fließbandgeschwindigkeit. Analog ist bei einem Leistungstief eine niedrige Fließbandgeschwindigkeit einzustellen [Rei11]. Infolge einer tageszeitlichen Variation der Fließbandgeschwindigkeit sollen beispielsweise Materialflussabrisse vermieden werden.

Exemplarischer Nutzen: *weniger Fließbandstillstände*

Um das Potential der drei Anwendungsgebiete abzuschätzen, wurde eine Expertenbefragung durchgeführt. Im

Rahmen dieser Befragung haben vier Experten das Anwendungspotential in sechs Stufen (kein, sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch) bewertet. Bild 5.1 veranschaulicht die Ergebnisse der Befragung anhand von gewichteten Mittelwerten der von den Experten angegebenen Anwendungspotentiale. Zusätzlich ist die Standardabweichung der einzelnen Antworten aufgetragen. Diese gibt Aufschluss über die Streuung der einzelnen Antworten.



**Bild 5.1:** Anwendungsgebiete und -potentiale

Von den abgefragten Anwendungsgebieten wird der Schichtarbeit mit 75 % das größte Potential bescheinigt. Hingegen wird das Anwendungspotential in der Taktanpassung (30 %) deutlich geringer eingeschätzt. Ein Grund, weshalb das Anwendungspotential als gering eingeschätzt wird, liegt in der Tatsache, dass neben organisatorischen Herausforderungen zusätzlich technische Anpassungen (z. B. stufenlos regelbare Fließbandgeschwindigkeit) erforderlich sein können. Das Anwendungsgebiet Arbeitsentgelt weist ein geschätztes Potential von 55 % auf. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass im Vergleich zu den anderen Anwendungsgebieten eine relativ hohe Standardabweichung beim Arbeitsentgelt auftritt. Dies liegt an der stark heterogenen Bewertung (von sehr gering (0,2) bis hoch (0,8)) der Experten. Eine mögliche Begründung liefert die in der Praxis häufig zeitaufwendige Leistungsbeurteilung hinsichtlich der Leistungsergebnisse (z. B. Menge, Qualität), die bei einer Berücksichtigung tageszeitlicher Leistungsschwankungen noch aufwendiger werden würde. Insgesamt sind deutliche Tendenzen hinsichtlich der Anwendungspotentiale in dem Bild 5.1 ersichtlich. Allerdings konnte lediglich eine sehr geringe Anzahl an Personen befragt werden. Somit ist eine statistisch signifikante Aussage nicht möglich.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Artikel zielt auf den Nachweis zirkadianer Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten in Abhängigkeit des Einflussfaktors Biorhythmus ab. Hierzu konnte in der Reifenherstellung ein Arbeitsgang identifiziert werden, der sowohl durch körperliche als auch durch geistige Aspekte geprägt ist. Auf Basis der erfassten Maschinendaten konnten aus manuellen Bearbeitungszeiten relative Leistungsgrade berechnet werden. Diese bilden die Grundlage für die grafische Darstellung der Leistungsschwankungen in Abhängigkeit von Morgen- und Abendtypen. Hier sind im Wesentlichen zwei Erkenntnisse ersichtlich: Zum einen erbringen Morgenstypen eher konstante Leistungen (97 % bis 103 % Leistungsgrad) über den Tag. Zum anderen unterliegen Abendstypen im Tagesverlauf deutlichen Leistungsschwankungen und Erreichen ihr maximales Leistungshoch von

112 % Leistungsgrad am Abend. Auf Basis einer statistischen Auswertung mittels univariater, zweifaktorieller Varianzanalyse wurde die Signifikanz des Einflussfaktors „Biorhythmus“ auf zirkadiane Leistungsschwankungen aufgezeigt. Folglich sind zirkadiane Leistungsschwankungen bei manuellen Montagetätigkeiten vom Einflussfaktor „Biorhythmus“ abhängig und in der Produktion nachgewiesen. Abschließend konnten die vier möglichen Anwendungsgebiete Arbeitsentgelt, Schichtarbeit, Instandhaltung und Taktanpassung aufgezeigt werden. Im Rahmen einer Expertenbefragung wurde dem Anwendungsgebiet Schichtarbeit das größte Potential (75 %) bescheinigt. Künftige Forschungsarbeiten sollten speziell die Umsetzung der aufgezeigten Anwendungsgebiete in der industriellen Praxis weiter untersuchen.

## 7 LITERATUR

- [Beh08] Behrens, B.-A. et al.: Berücksichtigung von Werkzeug- und Pressenelastizitäten in der Umformsimulation zur verbesserten Vorhersage des Pressenkraftbedarfs, Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau. In: 14. Internationaler Kongress und Fachausstellung 26./27.11.2008, VDI-Berichte Band 2031 (2008), Baden-Baden, S. 185-199.
- [Ber00] Bergmann, R.: Lohndifferenzierung bei betrieblicher Gruppenarbeit am Beispiel der deutschen Automobilindustrie. Peter Lang, Frankfurt 1998.
- [Eic07] Eichler, J.: Physik: Grundlagen für das Ingenieurstudium – kurz und prägnant. 3. Aufl., Friedr. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden 2007.
- [Fri99] Frieling, E.; Sonntag, K.: Lehrbuch Arbeitspsychologie, 2. Aufl., Verlag Hans Huber, Bern u. a. 1999.
- [Gue05] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 6. Aufl., Springer-Verlag, Berlin u. a. 2005.
- [Kna07] Knauth, P.: Schicht- und Nachtarbeit. In: Landau K.: Lexikon Arbeitsgestaltung. Gentner Verlag, Stuttgart 2007, S. 1105-1110.
- [Luc89] Luczak, H.: Arbeitswissenschaften. 2. Aufl., Springer-Verlag, Heidelberg 1998.
- [Mei06] Meier, R.: Praxis E-Learning: Grundlagen, Didaktik, Rahmenanalyse, Medienauswahl, Qualifizierungskonzept, Betreuungskonzept, Einführungsstrategie, Erfolgssicherung. Gabal Verlag, Offenbach 2006.
- [Ref97] REFA-Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation e.V.: Wörterbuch der Arbeitswissenschaft: Begriffe und Definitionen. Carl Hanser Verlag, München 1997.
- [Rei11] Reinhart, G. et al.: Taktzeitadaption unter Berücksichtigung der zirkadianen Rhythmik. In: wt Werkstatttechnik online, Springer-VDI-Verlag, 101. Jg. (2011), H. 9, S. 595-599.
- [Rut79] Rutenfranz, J.: Arbeitsmedizinische Aspekte des Arbeitszeitproblems und der Nacht- und Schichtarbeit. Deutscher Ärzte-Verlag, Bergisch Gladbach 1979.
- [Sch10] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin u. a. 2010.
- [Wie09] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Carl Hanser Verlag, München u. a. 2009.

---

**Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis**

Jahrgang 1957, studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover und arbeitete im Anschluss als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA). Nach seiner Promotion zum Dr.-Ing. wurde er habilitiert, bevor er als Führungskraft im Bereich Supply Chain Management in der Elektronik- und Maschinenbaubranche tätig war. Seit 2003 leitet er das Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA) der Leibniz Universität Hannover. Im Jahr 2008 übernahm er die Funktion eines geschäftsführenden Gesellschafters des IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH.

**Dr.-Ing. Georg Ullmann**

(\*1979) studierte Maschinenbau an der TU München mit den Schwerpunkten Systematische Produktentwicklung und Raumfahrttechnik. Im Anschluss sammelte er erste Berufserfahrung am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) in Berlin im Bereich Virtuelle Produktentstehung. Von 2007 bis 2011 war er am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH als Projektingenieur im Bereich Produktionsautomatisierung tätig. Nach Abschluss seiner Promotion im November 2010 leitete er die Abteilung Logistik. Seit 2012 ist er koordinierender Geschäftsführer des IPH.

**Dipl.-Wirt.-Ing. Dipl.-Ing. (FH)**

**Jens-Michael Potthast**

Jahrgang 1979, studierte Maschinenbau an der Fachhochschule Hannover. Nach seinem Studium war er in der Forschung und Entwicklung eines weltweit führenden Automobilzulieferers tätig. Berufsbegleitend schloss er das Studium zum Wirtschaftsingenieur ab. Seit Januar 2008 ist er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gemeinnützige GmbH angestellt.