

*Simulation in Produktion und Logistik 2023
Bergmann, Feldkamp, Souren und Straßburger (Hrsg.)
Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau 2023
DOI (Tagungsband): 10.22032/dbt.57476*

Praxisbeispiele zur simulationsbasierten Belastungsplanung und -steuerung des Personaleinsatzes in der Montage

Practical Examples of Simulation-based Load Planning and Control of Personnel Deployment in the Assembly Department

Lothar März, STREMLER AG, 88181 Lindau (Bodensee), Germany
lothar.maerz@strempler.de

Abstract: The shortage of skilled workers and the increasing aging of European society make it necessary to deploy qualified but performance-impaired employees in assembly in such a way that the load is tolerable and does not lead to absences. To be able to determine the load on an assembly employee, it is necessary not only to consider the aspects for determining the physical and psychological effects of activities on the individual, but also to record the load profile as accurately as possible. Practical examples are used to show how load-oriented personnel deployment can be supported by simulation during planning and control during operation.

1 Personaleinsatz in der Montage und demographischer Wandel

In der Montage entstehen die meisten Produktvarianten durch die Kombination von Modulen und Komponenten. Mit der hohen Produktvarianz geht eine hohe Prozessvarianz einher. Die hohe Variabilität des Produktionsprogramms erfordert eine hohe Arbeitsflexibilität, die nur durch den Einsatz von Mitarbeiter möglich wird. Aufgrund der hohen Arbeitskosten in Deutschland und den westeuropäischen Ländern kommt der Planung eine entsprechend große Bedeutung zu (Boysen et al. 2007). Eine optimierte Auslastung bei wechselndem Produktionsmix macht die Unternehmen auch gegenüber Konkurrenten aus dem Osten konkurrenzfähig.

Einen weiteren Trend im produktionstechnischen Umfeld stellt der demografische Wandel dar. Sinkende Geburtenzahlen und ein steigender Altersdurchschnitt der gegenwärtigen Belegschaft führen zu deutlichen Veränderungen in der Altersstruktur (EU Commission 2020). Studien des statistischen Bundesamtes besagen, dass die Zahl der Menschen im Rentenalter ab 67 Jahren in den 2020er und 2030er Jahren massiv steigen wird (Statistisches Bundesamt 2022). Hinzu kommt, dass die alternde

Belegschaft in ihrer Einsatzfähigkeit zunehmend durch „Beeinträchtigungen aus Krankheit, Unfällen, kumulierten Belastungen oder einfach ungesunden Lebensgewohnheiten“ (Prasch 2010) eingeschränkt ist (Abbildung 1).

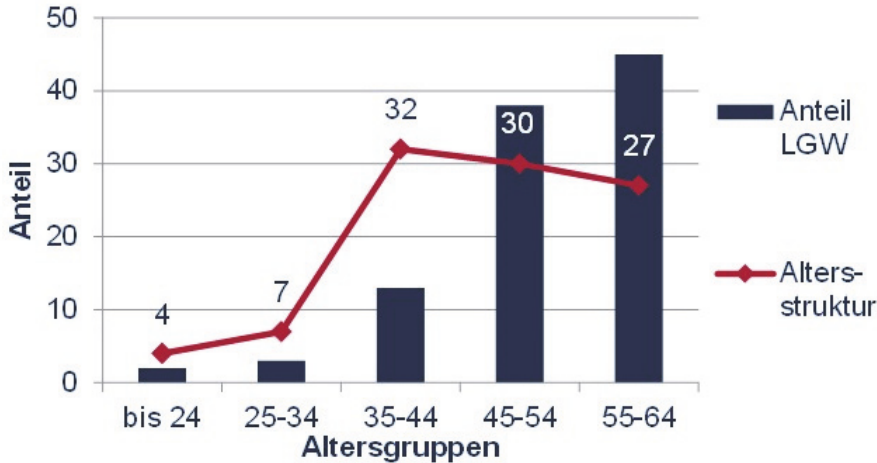


Abbildung 1: Altersstruktur und Anteil Leistungsgewandelter (Reinhart und Egbers 2012)

Dieser Anteil der Arbeiterschaft wird den sogenannten leistungsgewandelten Mitarbeitern (LGW) zugeordnet. Zudem wird sich im Zuge des demografischen Wandels nicht nur das Durchschnittsalter erhöhen, sondern ebenfalls ein Mangel an Fachkräften einstellen (Barstedde und Schüler 2020). Die Zahl der Menschen im Erwerbsalter wird in den kommenden 15 Jahren um 1,6 bis 4,8 Millionen Menschen sinken (Statistisches Bundesamt 2022).

Der Beitrag zeigt anhand exemplarischer Anwendungsbeispiele auf, welche Ansätze es ermöglichen, leistungsgewandelte Mitarbeiter in die Montagelinie zu integrieren, um deren Wissen und Kompetenzen in der Montagelinie zu halten. Die Herausforderung liegt darin, Tätigkeiten bzw. Belastungsprofile über der Zeit zu identifizieren, die trotz Leistungswandlung erfüllt werden können und Arbeitsplätze so zu gestalten, dass sie notwendige Bedingungen aufweisen (Abele und Reinhart 2011). Die Simulation unterstützt dabei, Überbelastungen im Vorfeld der Montage zu erkennen, während die Simulation in Kombination mit digitalen Unterstützungssystemen im laufenden Betrieb Belastungsspitzen vermeiden hilft.

Die Betrachtung solcher sozialen Aspekte, die die Auswirkungen der Planung einer Produktion auf die Gesundheit, dem Einsatz, der Zufriedenheit und der Entwicklung der Mitarbeiter berücksichtigt, gewinnt zunehmend an Bedeutung und ist Gegenstand weitergehender Untersuchungen (Trost et al. 2022)

Eine wesentliche Komponente bei der Beurteilung der Belastung der Mitarbeiter ist die Erfassung der physischen und psychischen Belastung über der Zeit. Hierbei kann die Simulation der Arbeitsabläufe einen entscheidenden Beitrag leisten, da sie die einzige Methode ist, die den Zusammenhang zwischen Produktionssequenz,

Mitarbeiterzuordnung und den dynamischen Wirkzusammenhängen präzise im Vorfeld der Umsetzung ermitteln kann.

Zur Austaktung von Fließbandproduktionen gibt es eine Vielzahl an Verfahren, die eine gleichmäßigere und insgesamt höhere Auslastung des eingesetzten Personals versprechen (Becker und Scholl 2006, Naveen und Dalgobind 2013). Die meisten Anwendungen setzen allerdings auf einen periodenbezogenen Ver- und Ausgleich von Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf je Zyklus. Die Bewertung von Unter- und Überlastfällen erfolgt über den Summenvergleich von Prozesszeitsummen und Personalverfügbarkeit. Dieser Ansatz ist allerdings nicht hinreichend, um die individuellen Belastungsanforderungen je Prozessschritt und Mitarbeiter ermitteln zu können. Dazu muss die zeitliche Zuordnung eines jeden Prozesses zu Mitarbeitern unter Berücksichtigung der zeitlichen, ressourcenbezogenen und wechselseitigen Abhängigkeiten ermittelt werden. Der Einfluss der dynamischen Wirkzusammenhänge je Prozessschritt kann durch die ereignis-diskrete Simulation aufgezeigt werden (März et al. 2012). Im Zusammenhang mit Verfahren zur Bewertung der physischen und psychischen Auswirkungen durch körperliche und mentale (Zeitdruck) Belastungen eignet sich die simulationsbasierte Personaleinsatzplanung daher ideal als Grundlage zur Bewertung und Vergleich von Belastungsprofilen.

2 Simulationsgestützte Planung zur Belastungssteuerung

2.1 Anwendungsbeispiel 1: Planung leistungsgewandelter Mitarbeiter

Im ersten Praxisbeispiel wird aufgezeigt, wie durch die Auswahl und Abstimmung von Montagestationen, dem Workflow von Mitarbeitern und der Auslegung von Puffer vor den Montagestationen eine optimale Konfiguration erreicht werden kann, die eine hohe Ausbringung verspricht. Die Berücksichtigung von leistungsgewandelten Mitarbeitern spielte in diesem Anwendungsszenario eine besondere Rolle, um den Einsatz dieser Mitarbeiter als Springer, mit höherer Qualifikation als die der Linienmitarbeiter, einbinden zu können. Der Begriff leistungsgewandelte Mitarbeiter „charakterisiert Personen, die aufgrund körperlicher, geistiger oder psychischer Beeinträchtigungen nicht in der Lage sind, allgemeine Arbeitsanforderungen in vollem Umfang gerecht zu werden“ (Zäh et al. 2005). Mit der vorgestellten Methodik kann in der Planung der Einsatz erfahrener, aber leistungsgewandelter Mitarbeiter berücksichtigt werden (Prasch 2010, Dollinger und Reinhart 2016). Die Simulation der Abläufe unterstützt bei der Ermittlung der Belastung, die die Mitarbeiter erfahren (Dollinger 2021).

Grundlage der Planung ist eine Simulationsanwendung, mit dessen Hilfe alternative Konfigurationen (z. B. Variation des Stammpersonals) analysiert, bewertet und Springerbedarfe quantifiziert werden können. In einem ersten Schritt wurde dazu die reale Montagelinie in einem Simulationsmodell abgebildet. Nach Validation der Simulation durch Vergleich der Simulationsergebnisse mit dem Realverhalten der Linie konnten in der weiteren Folge die Auswirkungen geänderter Konfigurationen abgebildet und bewertet werden. Konkret ging es um die Fragestellung, wie sich der Einsatz eines leistungsgewandelten Mitarbeiters als Springer zwischen mehreren

Arbeitsstationen unter Berücksichtigung der dynamischen Abläufe auswirkt. In Abbildung 2 ist der letztgültige Modellierungszustand dargestellt, bei dem der Einsatz des leistungsgewandelten Springers mit aufgenommen ist.

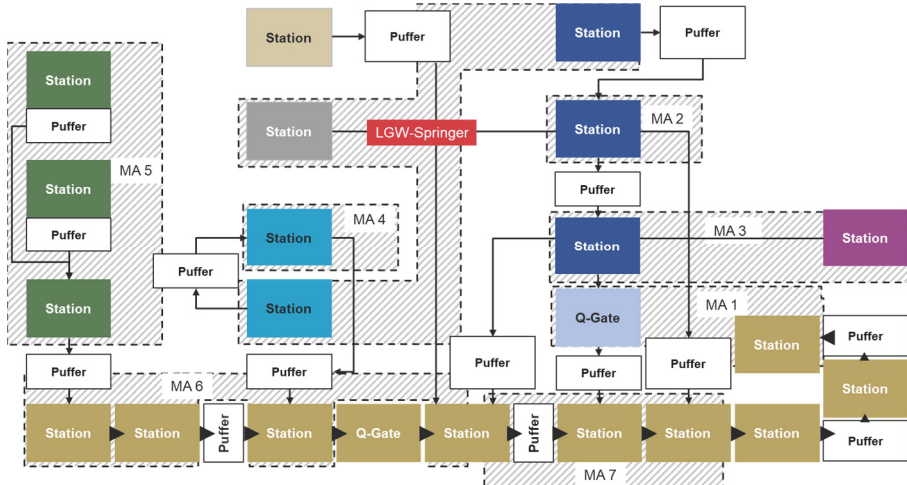


Abbildung 2: Linienstruktur und Einsatz der LGW-Springer

Durch Variation der Einstellparameter und der Berücksichtigung der Wirkzusammenhänge der Montage konnten im Simulationsmodell das dynamische Verhalten vorausgesagt werden. Die Ergebnisse der Simulation können in Form von Ganttcharts analysiert und bewertet werden. Das Modell dient zur Abbildung von alternativen Szenarien und zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter als Springer. Durch Rekonfiguration der Arbeitsablauffolgen und alternativer Zuordnung der Prozesse zu Arbeitsstationen konnte die Produktivität der Linie bei gleichzeitiger Erhöhung des Einsatzes der leistungsgewandelten Mitarbeiter gesteigert werden. In Abbildung 3 sind die Ergebnisse aufgeführt. Die Auswertung zeigt auf, dass die Auslastung der Mitarbeiter um 1,6% erhöht wurde und die Auslastung (Zeitanteil) des leistungsgewandelten Mitarbeiters um knapp 20% erhöht wurde.

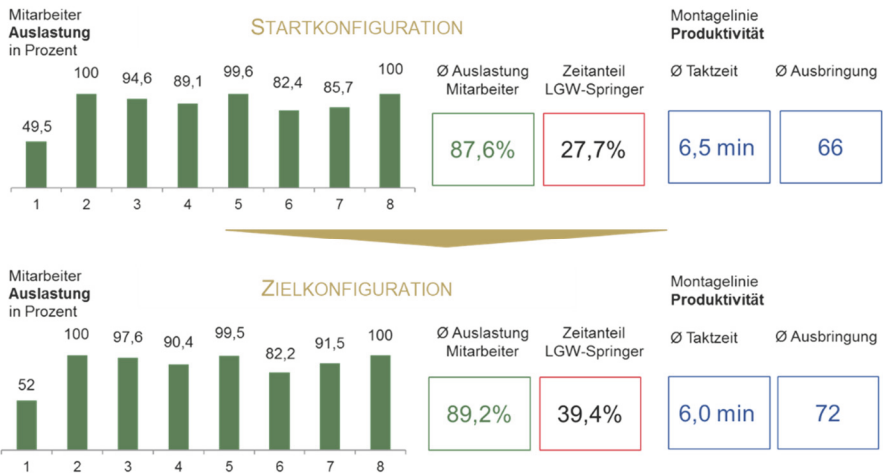


Abbildung 3: Ergebnisse der Optimierung des LGW-Mitarbeiterereinsatzes

In diesem Beispiel stand vor allem die Leistungswandlung älterer Mitarbeiter im Vordergrund, welche sich aus dem natürlichen Alterungsprozess ergibt. Das Potential von Leistungsgewandelten wird in ihrer Erfahrung und hohen Kompetenz gesehen. Somit entsprechen sie den vorherig erläuterten Charakteristika von Springern in der Rolle des Wissensvermittlers.

Der hier vorgestellte Ansatz verfolgte daher das Ziel, eine Methode zu entwickeln, welche es ermöglicht, Leistungsgewandelte als Springer einzusetzen und sie nicht in andere Unternehmensbereiche, in denen sie weniger belastet werden, umzusiedeln. Dadurch, dass Springer nicht Vollzeit im Takt arbeiten, ist ihr Tätigkeitsspektrum belastungsärmer und kann auch von nicht voll leistungsfähigen Mitarbeitern erledigt werden. Damit die Personaleinsatzplanung eine optimale Zusammensetzung aus Leistungsgewandelten und nicht Leistungsgewandelten bestimmen kann, wurde im vorgestellten Fall die Simulation zur Bedarfsprognostizierung sowie Einsatzsteuerung genutzt.

2.2 Anwendungsbeispiel 2: Belastungssteuerung durch Job Rotation

Eine andere Möglichkeit, eine Überbelastung von Mitarbeitern zu vermeiden, ist es, die physische und psychische Belastung während der Montagetätigkeiten transparent zu machen und die Auswirkungen von geplanten Montagetätigkeiten auf die Belastung der Mitarbeiter zu analysieren (Tropschuh et al. 2021). Denn langfristige psychische und physische Überlastung führen zu zunehmenden Fehlzeiten und chronischer Erkrankung der Mitarbeiter (Langhoff und Schmelzer 2015, Storm 2020).

Das Simulationsmodell dient hierbei zur Ermittlung der mitarbeiterindividuellen Belastungsprofile, die in der weiteren Folge mit Methoden zur Ermittlung der physischen und psychischen Belastung verknüpft werden. Die Belastungsprofile aus der Simulation ergeben sich aus dem Belastungskennblatt einer jeden einzelnen Tätigkeit. Mit der Zuordnung von Mitarbeiter zu Stationen bzw. Montageprozessen lassen sich somit die Belastungskurven über der Zeit aufstellen.

Durch die Abbildung verschiedener Szenarien im Simulationsmodell, bei denen die Mitarbeiter durch Job Rotation andere Aufgaben zugeteilt werden, können die Belastungsverläufe hinsichtlich Überlast bewertet und verglichen werden.

Im konkreten Beispiel liegt eine Simulationsanwendung vor, mit dessen Hilfe beanspruchungs- und kompetenzorientierte Rotationspläne, Schichtzusammensetzungen sowie gemittelte Beanspruchungswerte erstellt werden können. Ziel der Simulation ist es, die Prozesszeitanforderungen der anliegenden Sequenzen sowie die Auslastungen der Mitarbeiter an der Linie mit hoher Genauigkeit abzubilden und verschiedene Szenarien der Mitarbeiterrotation zu simulieren. Das zugrundeliegende Konzept zur Ermittlung der Belastungsprofile inklusive der Zuordnungssystematik des Simulationsmodelles ist in Abbildung 4 dargestellt.

Auf Prozessseite wird hier von der Arbeitsstation ausgegangen, welche Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeitenden stellt. Die Arbeitsstation wird durch die vorherrschende physische und psychische Belastung definiert, welche durch Arbeitsplatzbewertungen, Gefährdungsbeurteilungen und Analysen der Arbeitsfehler und Krankschreibungen erfolgt. Die Station dient dabei als Zuordnungsschlüssel zwischen den einzelnen Klassen. Die Klasse Station ist wiederum eingebettet in Prozesse und Sequenzen. Bei einer Sequenz wird die Reihenfolge der zu montierenden Produkte festgelegt, wodurch Lastspitzen auftreten können. Die Simulation ermittelt die Auslastung der Mitarbeitenden anhand der zeitlichen Dauer der Tätigkeiten bei verschiedenen Produktvarianten einer Sequenz. Die Auslastung ergibt sich aus den Prozesszeitanforderungen. Die Kategorie Mitarbeiter definiert sich über das Qualifikationsprofil, die Beanspruchungen und Leistungsgruppe. Die Leistungsgruppen beziehen sich auf Leistungsvoraussetzungen und die Rückmeldungen der Mitarbeitenden im Betrieb.

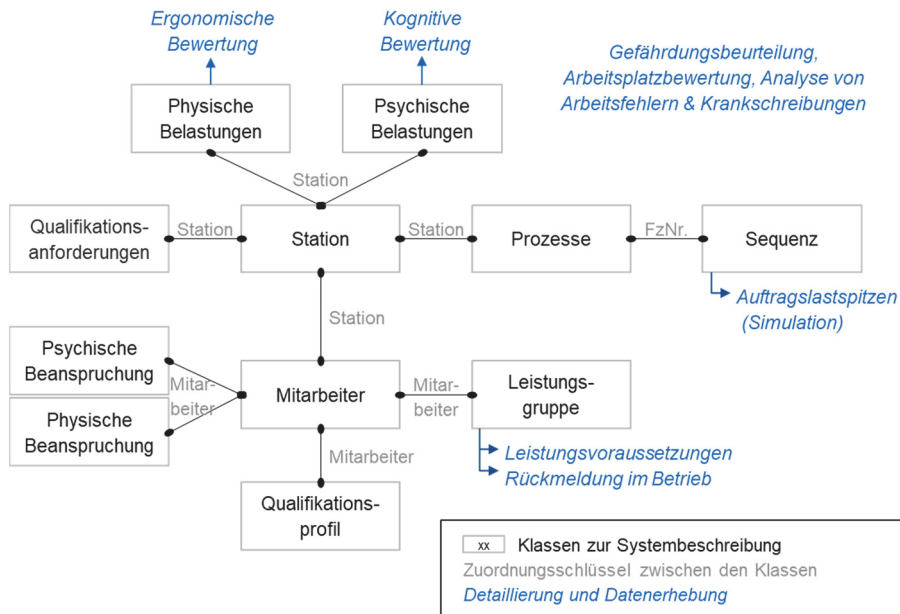


Abbildung 4: Konzeptschaubild und Zuordnungssystematik des Simulationsmodells

Im Rahmen der Simulation wird einerseits die Produktionsumgebung mit den einzelnen Arbeitsplätzen, variantenspezifischen Prozesszeiten und Auslastungen abgebildet. Diese Produktionssimulation ist in Abbildung 5 dargestellt. Die blauen Balken repräsentieren die Prozesszeitanforderungen je Takt bzw. Auftrag in Relation zur verfügbaren Kapazität der ausgewählten Station. Die grünen Balken zeigen für jeden Mitarbeiter die Auslastung in Prozent seiner Kapazität je Takt an. Die roten Balkenbereiche stellen sogenannte Überlastzeiten dar, bei denen die variantenspezifische Prozesszeit die Taktzeit überschreitet. Diese Überlastzeiten sind Indikatoren für Überbeanspruchung durch Zeitdruck und können für normalgeschulte Mitarbeitende bereits zu psychischer Überbeanspruchung führen.

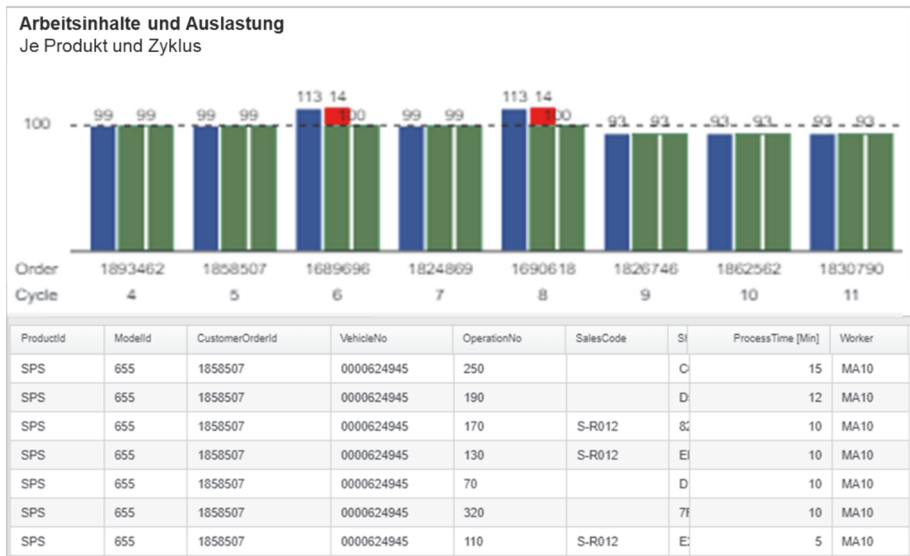


Abbildung 5: Produktionssimulation mit Abbildung der Überlastzeiten

Die in der Abbildung dargestellte Auslastung der Mitarbeitenden kann zudem noch personenindividuell angepasst werden. Mitarbeitende mit einer höheren Montagekompetenz erledigen die Arbeitsaufgaben routinierter und schneller als neue Mitarbeitende. Daher wird die jeweilige Kompetenz in die individuelle Auslastung mit integriert. Die Simulation der Mensch-Faktoren beinhaltet zudem noch die Prädiktion der physischen und psychischen Beanspruchung. Hierdurch kann mit Hilfe der Simulation die geschätzte Beanspruchung visualisiert und mögliche Überbeanspruchungen vor der Anwendung der Einsatzplanung identifiziert werden.

3 Belastungsorientierte Steuerung mit Smart Devices

Häufige Ursache von Belastungsspitzen zu Beginn und im laufenden Betrieb der Montage sind ein abweichender Personalantritt, kurzfristige Störungen oder Taktzeit- bzw. Prozesszeitabweichungen. Dadurch verändern sich die Zeitpunkte der vorab geplanten Personaleinsätze, was wiederum zu temporären Belastungsspitzen führen kann.

Durch die Steuerung der Springer durch Smart Devices können neue Modelle der Arbeitsorganisation geschaffen werden, die den Einsatz von leistungsgewandelten Mitarbeitern erleichtern (Lotter und Wiendahl 2013, Reinhart et al. 2016) bzw. Belastungsspitzen bei den Montagetätigkeiten vermeiden helfen. Zum Ausgleich zunehmender Kapazitätsengpässe und Taktzeitüberschreitungen aufgrund eines variantenreichen Produktionsprogramms mit unterschiedlichen Montageumfängen werden zukünftig zunehmend Springer als Unterstützer eingesetzt. Der Einsatz als Springer ist prädestiniert für leistungsgewandelte Mitarbeiter, wie bereits in Kapitel 2.1 aufgezeigt.

Die Koordination der Zuweisung von wechselnden Arbeitsstationen und -inhalten kann durch den Einsatz von Smart Devices unterstützt werden. Smart Devices sind nach neueren Definitionen elektronische Geräte, die kabellos, mobil, vernetzt und mit verschiedenen Sensoren (bspw. Geosensoren, Gyroskopen, Temperatur aber auch Kameras) ausgerüstet sind. Hierunter fallen z.B. Smartphones, Tablet PCs und Datenbrillen (google-glass) und Smart Watches (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Beispiele für Smart Devices

Durch zeitnahe Rückmeldung des aktuellen Produktionsstatus und einer dialogfähigen Simulation mit kurzen Laufzeiten in Sekunden können die Prozesse über digitale Medien wie Smart Watches, Mobilfunktelefone oder Tablets situations- und belastungsgerecht an die Mitarbeiter übermittelt werden (Voith Group 2023). In Abbildung 7 ist modellhaft aufgezeigt, wie das Zusammenspiel zwischen simulationsgestützter Planung und der Rückmeldung über Smart Devices während der operativen Montage erfolgen kann. Dabei werden die Belastungsgrenzen während der Planung bereits berücksichtigt und kontinuierlich mit den Rückmeldungen aus der Produktion abgeglichen.

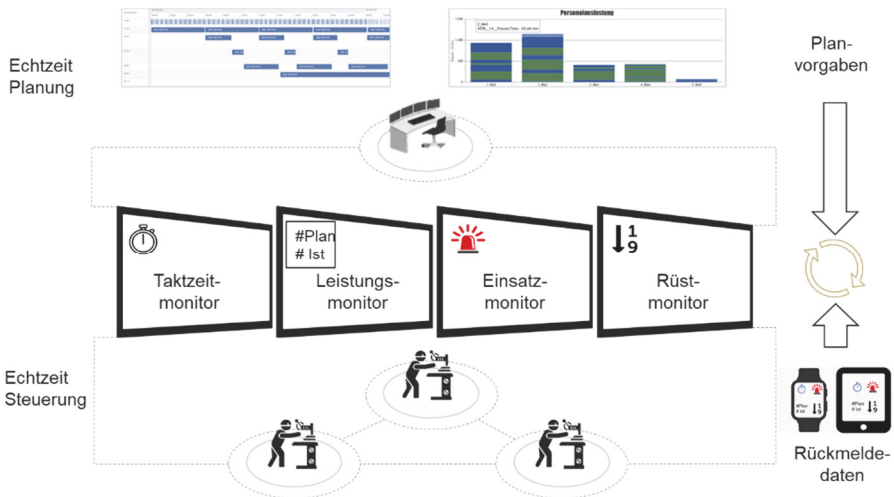


Abbildung 7: Synchronisation von Planung und Steuerung zur Belastungssteuerung

Das Ziel ist ein kompetenzbasierter Ansatz, der zum einen die Effizienz von Springereinsätzen erhöht und zum anderen eine neue Rolle des Springers - als Wissensvermittler - aufnimmt. Durch die Nutzung von Smart Interfaces als Steuerungsmedium wird eine schnelle Kommunikation sowie ein Datentracking ermöglicht. Die aufgezeichneten Daten können auf Basis von Erfahrungswerten zur prospektiven Planung einer effizienteren Zusammensetzung von Springerpools genutzt werden.

Das Forschungsvorhaben „Smart-Interface gesteuerte Springerunterstützung durch leistungsgewandelte Mitarbeiter in der Montage“ der Bayerischen Forschungsstiftung (Bayerische Forschungsstiftung 2023) beschäftigte sich mit der Entwicklung und Evaluation eines Ansatzes zur Smart-Interface-gesteuerten Springerunterstützung in der Montage. Dabei wurde insbesondere der Einsatz leistungsgewandelter Mitarbeiter in einer praxisorientierten Industrieanwendung als Unterstützer in der Linie untersucht, in der diese einerseits ihr Erfahrungswissen an unerfahrene Mitarbeiter weitergeben können und andererseits hinsichtlich ihrer auszuführenden Tätigkeiten einen Belastungswechsel erfahren.

Die Smart Devices können auch bei der Erhebung der individuellen Beanspruchungszustände der Mitarbeitenden und als Kommunikationsschnittstelle zwischen Mitarbeitenden, Teamleitenden und Planenden dienen. Durch die Rückmeldung individueller Beanspruchungswerte kann beispielsweise eine Rotationslogik an die einzelnen Mitarbeitenden angepasst und somit zum langfristigen Leistungserhalt beitragen.

4 Fazit

Der demographische Wandel und der Fachkräftemangel zwingt die Unternehmen dazu, neue Arbeitszeitmodelle in der Montage zu entwickeln, um einerseits das Wissen erfahrener Mitarbeiter im Unternehmen zu erhalten und andererseits die individuellen physischen und psychischen Belastungsgrenzen bei zunehmender

Varianz der operativen Anforderungen zu berücksichtigen. Durch die präzise Abbildung der zeitlichen Abläufe in einer Simulation kann die Transparenz geschaffen werden, um

- den Einsatz von Mitarbeitern planen zu können, die mit verminderter Leistung Tätigkeiten mit höherer Qualifikation vornehmen,
- die zeitlichen Belastungsprofile eines jeden Mitarbeiters in Kombination mit ergonomischen und kognitiven Belastungen zu erstellen und
- in Verbindung mit Smart Devices im operativen Betrieb eine stressfreie und belastungsorientierte Steuerung der Mitarbeiter vornehmen zu können.

Anhand der Beispiele wurde aufgezeigt, welche Chancen und Potenziale in der simulationsgestützten Belastungsplanung und -steuerung des Personaleinsatzes in der Montage stecken.

Danksagung

Die aufgezeigten Beispiele zur simulationsgestützten Belastungsplanung und -steuerung sind u.a. im Rahmen der Forschungsprojekte „Smart Interfaces“ und „Beanspruchungs- und kompetenzorientierte Mitarbeitereinsatzplanung“ der Bayerischen Forschungsstiftung entstanden, wofür sich der Autor bedankt.

Literatur

- Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Carl Hanser 2011.
- Bayerische Forschungsstiftung 2023: Smart Interfaces - Smart Interface-gesteuerte Springerunterstützung durch leistungsgewandelte Mitarbeiter in der Montage. <https://www.forschungsstiftung.de/index.php/Projekte/Details/Smart-Interface-gesteuerte-Springerunterstuetzung-durch-leistungsgewandelte-Mitarbeiter-in-der-Montage.html>, letzter Zugriff am 11.07.2023
- Becker C.; Scholl, A.: A survey on problem and methods in generalized assembly line balancing. *European journal of operational research* 168. 2006, S.694-715.
- Boysen, N.; Flidner, M.; Scholl, A.: A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*. Volume 183, Issue 2, 1 Dezember 2007, S. 674-693.
- Burstedde, A.; Schüler R.: Reagieren Löhne in Deutschland auf den Fachkräftemangel? *IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung*. ISSN: 1864-810X, Volume 47 4, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln 2020, S. 45-66.
- Dollinger, Ch.; Reinhart, G.: A competence-based approach to support the working force within assembly lines. *Advances in ergonomics of manufacturing: Managing the enterprise of the future* 2016, S. 557-567.
- Dollinger, C.: Methode zur kosteneffizienten Konfiguration eines Springerpools in der taktgebundenen Montage. Dissertation TU München, 2021.
- EU Commission, 2020: European Commission adopted Report on the Impact of Demographic Change in Europe. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1056, letzter Zugriff 22.02.2023.

- Langhoff, T.; Schmelzer, K.-M.: Der Zusammenhang zwischen psychischen Belastungen in der Arbeitswelt und psychischen Erkrankungen, in Exploring demographics. Wiesbaden, Springer Fachmedien 2015, S. 529.
- Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Springer 2013
- März, L.; Pröpster, M.; Röser, S.: Simulationsgestützte Bewertung getakteter Linien. Varianten beherrschen durch dynamische Berücksichtigung der Mitarbeiterflexibilität. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 3, S. 145–151.
- Naveen, K.; Dalgobind, M.: Assembly line balancing: A review of developments and trends in approach to industrial application. In: Global journal of researches in engineering industrial engineering. Volume 13 Issue 2 Version 1.0 Year 2013. Global Journals Inc. (USA).
- Prasch, M.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage. Forschungsberichte / IWB, Bd. 243. München: Utz 2010.
- Reinhart, G.; Egbers, J.: Integrating ability limitations into assembly system design. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability. Heidelberg: Springer 2012, S. 35–40.
- Reinhart, G.; Dollinger, C.; Krippendorf, S.; März, L.: Smart Interface-gesteuerte Springerunterstützung in der Montage. In: ProductivITy, GITO Ver-lag Berlin, 21. Jahrgang, ISSN: 2364-737X, 2016, S. 19-21.
- Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 511 vom 2. Dezember 2022. <http://www.destatis.de>, letzter Zugriff 12.05.2023
- Storm, A.: Editor, 2020. Gesundheitsreport 2020: Beiträge zur Gesundheitsökonomie und Versorgungsforschung. Hamburg: medhochzwei Verlag 2021.
- Tropschuh, B.; Niehues, S.; Reinhart, G.: Measuring physical and mental strain during manual assembly tasks, In Cirp (2021) 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems.
- Trost, M.; Claus, T.; Herrmann, F.: Social Sustainability in Production Planning: A Systematic Literature Review. Sustainability (Switzerland), Volume 14, Issue 13, July-1 2022
- Voith Group. SmartDevices, Youtube-Video veröffentlicht 13.06.2019 <https://www.youtube.com/watch?v=1IuPvQ8PUe0>, letzter Zugriff am 22.02.2023.
- Zäh, M. F.; Wagner, W.; Guserle, R.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mit Hilfe von Roboterunterstützung. Menschengerechte Anpassung von Produktionsstrukturen zur Berücksichtigung des demografischen Wandels. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 3, S. 97–101.