

Nr. 0062

Stand 01/2019

Fach-Information

FI

U-Linien-Montagesysteme – Handlungsempfehlungen

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

- 1 Allgemeine Auslegung einer U-Linie
- 2 Gestaltung des Zusammenhangs von Arbeitsstationen
- 3 Arbeitsorganisation und Lean Management
- 4 Literatur

Einleitung

U-Linien-Montagesysteme werden seit vielen Jahren in der Produktion eingesetzt. Bei U-Linien-Montagesystemen „sind für eine festgelegte Fertigungs- oder Montageeinheit die einzelnen Stationen in einem, in der Draufsicht, u-förmigen Profil angeordnet, sodass sich Anfang und Ende des Material- und Produktionsflusses gegenüberliegen.“ (VDI 2870-2) [1].

Die Ausbringung des Arbeitssystems kann durch die Variation der Anzahl der eingesetzten Beschäftigten gesteuert werden.

Der räumliche und aufgabenbezogene Umfang eines Arbeitsplatzes in einem U-Linien-Montagesystem ist von der Arbeitsorganisation abhängig. Die Personen arbeiten entweder an einer (z. B. Person B S2), an mehreren (z. B. Person A S1 und S14) oder an allen Stationen der U-Linie (siehe Abbildung 1, kleines Bild).

U-Linien-Montagesysteme werden schwerpunktmäßig in der Metall- und Elektroindustrie in Großbetrieben und bei Zulieferern sowie zunehmend in mittelständischen Unternehmen verschiedener weiterer Branchen eingesetzt und von Beratungsunternehmen häufig als wirksames Instrument der Effizienzsteigerung und als eine Methode Ganzheitlicher Produktionssysteme empfohlen.

Bei der Gestaltung von U-Linien-Montagesystemen ist das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen

Diese Fachinformation beinhaltet arbeitswissenschaftlich ermittelte Handlungsempfehlungen für die Arbeitsgestaltung aus dem von der BGHM und der BGETEM geförderten Forschungsvorhaben „U-Linien-Montagesysteme – Instrumente zur Gefährdungsbeurteilung und arbeitswissenschaftliche Gestaltungsempfehlungen zur Prävention“. Das Forschungsprojekt wurde von den arbeitswissenschaftlichen Instituten der Universität Kassel (Federführung) und der Technischen Universität Darmstadt sowie dem Institut für Arbeitsschutz der DGUV durchgeführt in Abstimmung mit einem wissenschaftlichen Begleitkreis unter der Betreuung der Vertreterinnen und Vertreter der Sozialpartner aus der Selbstverwaltung der BGHM und der BGETEM.

Im Fokus der Untersuchung standen die in U-Linien bei Beschäftigten auftretenden physischen und psychischen Belastungen und Beanspruchungen sowie deren Wechselwirkungen. Auf der Basis dieser Untersuchungen wurden Gestaltungsmaßnahmen zur Verminderung von Fehlbelastungen identifiziert. Zielführend dabei war der ganzheitliche Ansatz mit kombinierten Messmethoden der Forschungspartner, mit dem die physischen und psychischen Arbeitsbelastungen an U-Linien-Montagesystemen untersucht wurden. Die Untersuchungen fanden unter realen Arbeitsbedingungen in Unternehmen mit unterschiedlichen Typen von U-Linien-Montagesystemen statt.

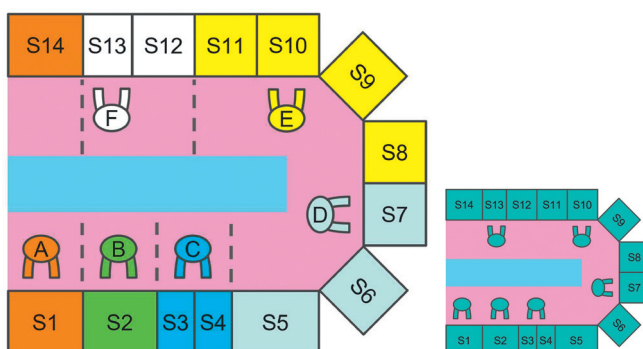


Abbildung 1 Arbeitsplätze in einer U-Linie

Quelle: DGUV-Information, FB HM-097 Entwurf 01/2018

U-Linien-Montagesysteme – Handlungsempfehlungen

1. Allgemeine Auslegung einer U-Linie

1.1 Verbesserte Geometrie der U-Linie

Viele ungünstige Körperverdrehungen, insbesondere in den Knicken der U-Linie, können durch die Verwendung günstigerer Winkel in der Gesamtauslegung der Linie vermieden werden. Statt der üblichen 90° würde sich hier beispielsweise eine Cockpit- oder Wabenstruktur mit 45° Winkeln anbieten. Solche Geometrien sind aus der Prozesswarten-Gestaltung bekannt und weisen insbesondere hinsichtlich Blickanalysen, Greifräumen und Bewegungsflüssen eine im Vergleich zu 90° Winkeln verbesserte ergonomische Geometrie auf.

Bei modernen Prozesswarten werden üblicherweise die unterschiedlichen Arbeitsbereiche (Arbeitsstationen bei den U-Linien) nicht im 90° Winkel, sondern im 45° Winkel angeordnet. Der Arbeitsbereich wird üblicherweise in einen Haupt-Aufgabenbereich und verschiedene Neben-Aufgabenbereiche eingeteilt. Die Informationssysteme und Stellteile sind so angeordnet, dass diese nach Nutzungshäufigkeit und Informationsfluss angeordnet. Auch die möglichen Kombinationen von Nutzungshäufigkeiten werden berücksichtigt. Durch Häufigkeitsanalysen von Blick- und Greifaktivitäten kann die optimale Anordnung des Systems bestimmt werden (Wickens & Hollands, 2000).

Diese für informatorische Arbeitssysteme übliche Praxis kann ohne weiteres auf U-Linien übertragen werden, indem statt des Informationsflusses der Materialfluss und statt der Informationssysteme die erforderlichen Orientierungsblicke in der Gestaltung berücksichtigt werden.

Handlungsempfehlungen

- Analyse der einzelnen Arbeitsstationen hinsichtlich Blick- und Greifaktivitäten und der Häufigkeit sowie der sich daraus ableitbare Anordnung von Informationssystemen, Entnahmeboxen und Tätigkeitsflüssen.
- Um größere Körperverdrehungen bei den Übergängen zu vermeiden, sollte der Aufbau von U-Linien in 45° Winkeln (Wabenstruktur) oder anderen kreisförmig aufgebauten Layouts erfolgen. Dabei sind die nachfolgend genannten Handlungsempfehlungen mit zu berücksichtigen, insbesondere die des seitlichen Gehens (Kap. 1.3) und die Aspekte der Arbeitssicherheit, insbesondere hinsichtlich der Fluchtweg-Problematik.
- Sind 90° Winkel nicht zu vermeiden, sollten an diesem „Knick“ weder intensive informatorische Aufnahmetätigkeiten (Planungsblicke) auf die kommende Arbeitsstation „über den Knick hinweg“ noch intensive Teiletransporte „über den Knick hinweg“ erforderlich sein.
- Durch Beobachtung sollte ermittelt werden, ob Arbeitspersonen, bedingt durch das One-Piece-Flow-System, insbesondere im Knick der U-Linie, Tätigkeiten in den Bewegungsablauf des Überganges zur kommenden Arbeitsstationen verlagern, die erst hier vorgesehen sind. Eine solche Verlagerung würde den Bewegungsablauf beim Übergang

zwischen Arbeitsstationen mit Montage- oder Fertigungstätigkeiten überlagern, was zu einem Aufsummieren ungünstiger Körperhaltungen führen kann (Verdrehungen des Rückens, ungünstige Haltung des Oberkörpers, ungünstige Belastungen des Hand-Arm-Systems).

1.2 Vermeidung einer ausschließlich einseitigen Umlaufrichtung bzw. von einseitigen Verdrehungen der Arbeitspersonen

U-Linien sind oft durch einseitige Belastungen und monotone Körperbewegungen gekennzeichnet. In derzeit konzipierten U-Linien dominieren die Linksdrehung bzw. Linksbewegungen der Arbeitspersonen. Das aus dem Materialfluss hergeleitete Prinzip, dass eine Wertschöpfungskette „von links nach rechts“ effizienter sei als umgekehrt, führt jedoch zu einseitigen Belastungen und Beanspruchungen der Arbeitspersonen. Bezogen auf die Genderfrage zeigt sich auch, dass weibliche Arbeitspersonen höher beansprucht sind als männliche.

Bewegungsdaten und muskuläre Beanspruchungen deuten darauf hin, dass Arbeitspersonen die rechte Körperseite verstärkt einseitig belasten. Dadurch werden die Muskeln der oberen und unteren Extremitäten stärker beansprucht (Wakula et al., 2017). Messergebnisse der muskulären Beanspruchungen in den unteren Extremitäten in der Feldstudie und im IAD-Labor zeigten, dass bei Linksdrehungen und -bewegungen in der U-Linie ausgewählte Muskeln im rechten Bein stärker beansprucht werden als im linken Bein.

Hieraus resultieren folgende Handlungsempfehlungen, die analog auch auf andere einseitige Belastungen durch monotone Körperbewegungen übertragbar sind.

Handlungsempfehlungen

- Bei der Auslegung bzw. Gestaltung der U-Linien sollte die Frage nach den Bewegungsrichtungen berücksichtigt und optimiert werden.
- Permanente Linksdrehung sollte nach Möglichkeit durch Richtungswechsel in der Bewegung von Gegenuhrzeigersinn (GUZ) zur Bewegung in Uhrzeigersinn (IUZ) und umgekehrt vermieden werden. Dabei sollen die zeitlichen Aspekte (dauerhafte einseitige Bewegungsrichtung) berücksichtigt und organisatorische Gestaltungsmaßnahmen (z. B. Belastungswechsel durch Job-Rotation) vorgesehen werden.
- Nach Möglichkeit sollten Wechsel vom „Karawanenprinzip“ zum „Handübergabeprinzip“ innerhalb der Schicht (z. B. nach den geregelten Pausen) vorgesehen werden.

1.3 Vermeiden von permanentem seitlichen Gehen entlang der U-Linie

Das motorische System des Menschen ist so aufgebaut, dass die motorische Steuerung den Körper von oben nach unten auf die nächste Bewegung ausrichtet. Das heißt, der Körper

beginnt zunächst mit einer orientierenden Augenbewegung und dann Kopfdrehung, um auf die neue Arbeitsposition auszurichten. Dieser informatorischen Ausrichtung folgt dann der Bewegungsablauf, beginnend mit oberen Extremitäten und Oberkörper. Im dritten Schritt folgen der Beckenbereich und die unteren Extremitäten.

Für Arbeitsstationen, die in schneller Folge zu bewältigen sind, bedeutet dieser Sachverhalt, dass neben den bereits angesprochenen Planungsblicken der Körper nicht im Ganzen auf eine neue Arbeitsstation ausgerichtet wird, sondern in diesen drei Abfolgen. Da die unteren Extremitäten als letztes dem Arbeitsprozess folgen, werden diese auch den erforderlichen informatorischen Aufgaben und manuellen Tätigkeiten zeitlich nachgesteuert. Dies führt zu seitlichem Gehen, wenn die folgende Arbeitsstation vom Arbeitsfluss her bereits Tätigkeiten während der Orientierung der oberen Körperpartien erlaubt.

Bei einer Kombination von sehr kleinteiligen Arbeitsinhalten, kurzzyklischen Arbeitstakten und engen Geometrien ist deshalb mit seitlichem Gehen zu rechnen. Die Analyse der Bewegungsdaten der unteren Extremitäten (Schritten) zeigt, dass die Arbeitspersonen innerhalb enger U-Linien vorwiegend „mit seitlichen Schritten“ gehen, was zu asymmetrischen Belastungen in den Beinen führen kann. Ergebnisse mehrerer physiologischer Messungen der Muskelaktivitäten in der Feldstudie als auch im IAD-Labor zeigten, dass Schritte mit seitlicher Ausrichtung stärker für ausgewählte Beinmuskeln beanspruchend sind als „normal“ vorwärts ausgeführte Schritte (Wakula et al., 2016a).

Dieses Verhalten ist nur bedingt durch Verhaltensprävention gestaltbar. Entsprechend sollte hier eher an den Arbeitsinhalten gearbeitet werden. Diese sollten so gestaltet sein, dass die Verweildauer an einer Arbeitsstation so dimensioniert ist, dass sich der Körper auch mit seinen unteren Extremitäten an diesen Arbeitsstationen ausrichtet.

Handlungsempfehlungen

- Genügend lange Arbeitsinhalte, sodass sich der Körper an die entsprechende Arbeitsstation ausrichtet. Die ausreichende Länge der Arbeitsinhalte kann beispielsweise durch Prototypen oder durch Beteiligung der Arbeitspersonen im Gestaltungsprozess bestimmt werden.
- Eine Zusammenfassung von benachbarten Arbeitsstationen zu einer ‚Arbeitswarte‘, in der beispielsweise drei zusammenhängende Arbeitsstationen zusammengefasst werden. Solche Zusammenfassungen von Arbeitsstationen wurden im Rahmen des Vorhabens des Öffern insbesondere bei langen U-Linien gefunden. Arbeitspersonen haben sich oft in Arbeitsbereichen organisiert, die de facto Unterbereiche der U-Linien darstellen.
- Eine entsprechende Analyse der Arbeitsstationen kann mithilfe von Bewegungsmessungen durchgeführt werden. Alternativ können die Linien mit den entsprechenden Arbeitspersonen im Sinne eines Walk-Through Verfahrens durchgegangen werden, mit dem spezifischen Ziel,

das Gehverhalten in realistischen Taktzyklen zu erheben (beispielsweise in Prototypen von U-Linien) und durch Veränderung der Geometrie oder der Arbeitsinhalte pro Arbeitsstationen günstigeres Gehverhalten zu erreichen.

- Bewegungen durch Verringerung von seitlichen Schritten bei der Planung und Gestaltung der U-Linien optimieren und „normal“ vorwärts ausgeführte Schritte bevorzugen; evtl. auch Wechsel von „seitlichem“ zu „normalem“ Gehen einplanen.

1.4 Beleuchtungshomogenität und Blendfreiheit zwischen Arbeitsstationen

Insbesondere bei den Übergängen zwischen den Arbeitsstationen sowie bei Tätigkeiten, bei denen viele unterschiedliche Objekte mit den Augen zu fixieren sind, ergeben sich entsprechende Belastungen des visuellen Systems, die durch Unterschiede im Beleuchtungsfeld der Arbeitsstationen noch verschärft werden. Unterschiede im Beleuchtungsfeld können zwei Gründe haben:

Die durch die Beleuchtungsmittel bereitgestellten Beleuchtungsstärken können abhängig vom Arbeitsinhalt der Arbeitsstationen stark variieren. So sind Arbeitsstationen mit feinmotorischen Tätigkeiten üblicherweise mit hohen Leuchtdichten ausgestattet, Arbeitsstationen mit Verpackungsaufgaben hingegen weisen vergleichsweise geringe Leuchtdichten auf. Im Konzept eines One-Piece-Flow bedeutet dies für die Arbeitspersonen, dass sie permanent zwischen unterschiedlichen Leuchtdichten agieren.

Durch die unterschiedlichen Arbeitsgeräte, bedingt durch deren unterschiedliche Reflexionsgrade, können sich sowohl innerhalb einer Arbeitsstation als auch zwischen den Arbeitsstationen erhebliche Leuchtdichteunterschiede für die Arbeitspersonen ergeben. Dieser Sachverhalt hat also nichts mit den Leuchtmitteln zu tun, sondern mit der Leuchtdichte, die tatsächlich am Auge der Arbeitspersonen ankommt.

Gestalterisch können Probleme bezüglich der Beleuchtungshomogenität und der Blendfreiheit dadurch vermieden werden, dass ein homogenes Beleuchtungsfeld über den Arbeitsstationen gewährleistet wird. Dabei ist auch die entsprechende Blendfreiheit von Arbeitsmitteln oder Arbeitsgeräten zu berücksichtigen.

Eine allgemeine Leuchtdichtemessung bezogen auf die Raumeinheit kann hier unter Umständen zu verfälschten Ergebnissen führen, da die Blendwirkung aus der Perspektive der Arbeitspersonen nicht miterfasst wird. Dementsprechend sollten Leuchtdichtemessungen aus der Perspektive der Arbeitspersonen durchgeführt werden.

Zur Ausweisung des Beleuchtungsfeldes ist deshalb eine aus dem Blickwinkel der Arbeitspersonen orientierte Lichtstärkemessung erforderlich. Eine Blickanalyse kann dazu dienen, diese Arbeitspersonen-Perspektive auszumessen und entsprechende Messpunkte zu definieren.

Handlungsempfehlungen

- Analyse der Beleuchtungsstärken an den unterschiedlichen Arbeitsstationen aus der Arbeitspersonen-Perspektive, um Blendung und Reflexionen, wie sie am Auge der Arbeitspersonen ankommen, mit zu berücksichtigen.
- Erstellen einer Leuchtdichtekarte bezogen auf die Arbeitsstationen und die Übergänge zwischen den Arbeitsstationen.
- Die Beleuchtungsstärke innerhalb einer gesamten U-Linie sollte an den höchsten erforderlichen Beleuchtungsbedarf innerhalb der gesamten U-Linie angepasst werden. Sind beispielsweise feinmotorische Tätigkeiten an einer Arbeitsstation erforderlich, wird üblicherweise ergonomisch eine hohe Leuchtdichte gefordert. Innerhalb einer U-Linie sollte die Arbeitsstation zur Verpackung einen vergleichbaren Beleuchtungswert aufweisen, auch wenn dort nach ergonomischen Anforderungen geringere Beleuchtungsstärken erforderlich sind. Hierdurch wird die permanente Adaption des Auges im One-Piece-Flow System verringert.
- Zur Auslegung der Beleuchtungsunterschiede kann auf die Arbeitsstättenverordnung sowie die ASR A3.4 „Beleuchtung“ in Verbindung mit der Norm DIN EN ISO 9241-303:2012-03 (Abschn. 5.4.2 Ungleichmäßigkeit der Leuchtdichte) Bezug genommen werden. Unterschiede in der Leuchtdichte von mehr als 1,7 zu 1 sollten vermieden werden.

2 Gestaltung des Zusammenhangs von Arbeitsstationen

2.1 Berücksichtigung der Übergänge zwischen Arbeitsstationen in der ergonomischen Planung

Jede Arbeitsstation innerhalb einer U-Linie ist für sich genommen üblicherweise ergonomisch sinnvoll gestaltet, und die essenziellen ergonomischen Anforderungen sind üblicherweise berücksichtigt. Der Fluss im Arbeitsfeld stellt eine neue Dimension dar, die in der ergonomischen Auslegung systematisch zu berücksichtigen ist. So sind U-Linien-Systeme fast ausschließlich als reiner Steh-Geh-Arbeitsplatz gestaltet, was grundsätzlich eine erhöhte Anforderung für das Muskel-Skelett-System darstellt. Immer wenn diese Übergänge ungünstig gestaltet sind, wird sich ein verändertes Arbeitsverhalten der Arbeitspersonen einstellen. Muss ein Werkstück beispielsweise beim Übergang einer Station zu einer anderen in seiner Lage verändert werden (Rotationsbewegung), dann muss bei der Gestaltung des Übergangs davon ausgegangen werden, dass die Arbeitsperson diese Rotationsbewegung im Übergang zwischen den Stationen (und nicht erst an der Arbeitsstation) durchführen wird, weil dies dem Arbeitsfluss entspricht und hierdurch die Effizienz gesteigert wird. Benötigt die Arbeitsperson Informationen über den Zustand der kommenden Arbeitsstationen, wird sie diese bereits vor dem Übergang erfassen und damit ungünstige Körperhaltungen einnehmen.

Da sich Arbeitspersonen oft in einem One-Piece-Flow System innerhalb der U-Linie bewegen, ergibt sich hieraus, dass klas-

sische ergonomische Anforderungen besonders gut eingehalten werden sollten. Der Grund hierfür liegt darin, dass selbst geringfügige ergonomische Defizite durch den Wechsel zwischen den Arbeitsstationen und den damit verbundenen permanenten Adaptionsleistungen der Arbeitsperson besonders belastend wirken. Im Einzelfall ist auch sorgsam zu prüfen, ob es noch weitere Möglichkeiten der ergonomischen Verbesserung gibt. Insbesondere bei der nachträglichen Umgestaltung oder dem Einbau zusätzlicher Systeme können sich ergonomische Defizite ergeben.

Es muss davon ausgegangen werden, dass in der ergonomischen Gestaltung einer U-Linie der gesamte Bewegungsfluss der Arbeitspersonen berücksichtigt werden muss. Hieraus ergibt sich die Bedeutung einer Validierung der Bewegungsabläufe innerhalb einer U-Linie.

Handlungsempfehlungen

- Als Gestaltungsempfehlung für den Fluss innerhalb einer U-Linie ergibt sich deshalb bei existierenden U-Linien, diese mit den Arbeitspersonen in einem Trockenlauf, einem sogenannten Walk-Through, auf mögliche zusätzliche bzw. belastende Tätigkeiten oder Planungsaufgaben bzw. Planungsblicke durchzugehen. Für noch in der Konzeption befindliche U-Linien können hier Planungsaufgaben und Tätigkeiten bei Übergängen bereits in der Gestaltung des Ablaufes analysiert und auf mögliche Aufwandsreduzierungen untersucht werden (z. B. durch Bewegungs- oder Blickanalysen).
- Der Arbeitsfluss bezieht sich dabei sowohl auf die informatorischen als auch auf die motorischen Aspekte der Arbeitstätigkeit. Zur Analyse und Bestandsaufnahme, wie gut dieser Fluss organisiert ist, können folgende Leitfragen dienen:
 - Wo muss die Arbeitsperson hinschauen, wenn sie die Tätigkeiten in der kommenden Arbeitsstation verrichten möchte?
 - Welche Tätigkeiten sind bei dem Übergang von einer Station zur anderen auszuführen und wie unterschiedlich sind diese Tätigkeiten im Vergleich zu den Tätigkeiten, die an der aktuellen Arbeitsstation zu tun sind?
- Berücksichtigung des „Automatisierungs- & Mechanisierungsgrades“ der U-Linie bzw. der Arbeitsbereiche der U-Linie. Übergänge mit automatisierten Arbeitsstationen sind von besonderer Bedeutung hinsichtlich des Arbeitsflusses. Die Arbeitsperson kann dazu tendieren, die um die automatisierte Station herumliegenden Arbeitsstationen simultan zu bedienen und Tätigkeiten über diese automatisierten Arbeitsstationen hinweg zu verrichten. Dies führt zu weiteren hohen Verdrehungen und Belastungen.
- Die Gestaltung der Schutzsysteme ist ausreichend zu dimensionieren (Öffnungshöhe von Schutzhauben für gute Körperhaltung und Zugänglichkeit ausreichend bemessen) und auf mögliche Störungen des Arbeitsflusses hin zu untersuchen.

- Entsprechend sind Greifraumtiefe zu beachten und zu kontrollieren (Tendenz: weniger ist ergonomisch besser) und auf mögliche Störungen des Arbeitsflusses hin zu untersuchen.
- Nach Möglichkeit sollten temporäre Sitzmöglichkeiten geschaffen werden (ggfs. außerhalb der U-Linie).

2.2 Kompatibilität in der Anordnung von Blick- und Greifräumen über Arbeitsstationen hinweg

Beim Wechsel zwischen den Arbeitsstationen muss die Arbeitsperson entsprechende Planungsblicke auf die zukünftige Arbeitsstation ausrichten, um ihr mentales und motorisches System auf die dort befindlichen Gegebenheiten auszurichten. Dieser Planungsprozess ist dem Bewegungsprozess vorgelagert. Zum Ende einer Tätigkeit an einer Arbeitsstation N befasst sich das mentale System bereits mit den Planungsaufgaben für die Arbeitsstation N+1. Für diesen mentalen Übergang spielt das Konzept der Kompatibilität der Arbeitsstationen eine ganz wesentliche Rolle. Planungsaufwand und damit die Anzahl der erforderlichen Planungsblicke steigen mit dem Grad der Inkompatibilität zwischen den Arbeitsstationen. Kompatibilität bedeutet analoge Entsprechung von Anordnungen und Vorgängen. Auf eine U-Linie bezogen sollten beispielsweise ähnliche Bauteile bei unterschiedlichen Arbeitsstationen räumlich ähnlich organisiert sein. Beispielsweise sollten Schrauben jeweils an einem konstanten Ort innerhalb der Arbeitsstationen über die gesamte U-Linie hinweg bereitgestellt werden.

Weitere Planungsblicke können aus kritischen Bevorratungen entstehen. Sind beispielsweise die Behälter, in denen kritische Komponenten bevorratet sind, für die Arbeitspersonen ohne große Kopf- bzw. Körperverdrehsungen einsehbar? Analog gilt das für die Bewertung des Zustandes der Arbeitsmittel (z. B. Schraubendreher). Typische Planungsaufgaben sind: Sind die Arbeitsmittel vorhanden, an welchem Platz bzw. in welcher Orientierung sind sie dort verfügbar, sind die Arbeitsmittel einsatzfähig?

Handlungsempfehlungen

- Arbeitsstationen innerhalb der gesamten U-Linie sollten dahingehend analysiert werden, ob bestimmte Tätigkeiten, die sich inhaltlich entsprechen, zwischen den unterschiedlichen Arbeitsstationen nach den Grundsätzen der Kompatibilität gestaltet sind. Dies gilt für Anordnungen und Abläufe.
- Es sollte ein über die ganze U-Linie konzipiertes homogenes Ordnungsprinzip für die Arbeitsprozesse geschaffen werden. Ein solches Ordnungsprinzip berücksichtigt zeitliche wie räumliche Anordnungen und Abfolgen. Ein Beispiel: in der ersten Arbeitsstation der Linie sind Schrauben auf der linken Seite und Dichtungen auf der rechten Seite; in der darauffolgenden Arbeitsstation Schrauben auf der rechten Seite und Dichtungen auf der linken Seite. Solche Inkompatibilitäten erfordern beim Übergang zwischen den Arbeitsstationen entsprechende Planungsblicke,

aus denen sich ungünstige Körperhaltungen hinsichtlich Verdrehungen ergeben können.

- Kritische Parameter für die Übernahme der Tätigkeiten einer Arbeitsstation sollten systematisch mit den Arbeitspersonen besprochen werden, da diese in der Fertigung oder Montage zu entsprechenden Planungsblicken führen werden. Entsprechende Boxen oder Arbeitsmittel sollten von der vorhergehenden Arbeitsstation so einsehbar sein, dass keine übermäßigen Kopfbewegungen oder Körperverdrehsungen erforderlich sind, um diese Parameter einzuschätzen. Beispiel: ein Label-Drucker, der zu Dokumentationszwecken Ergebnisse und Seriennummern ausdruckt, muss regelmäßig mit Druckerpapier aufgefüllt werden. Ob genügend Druckerpapier vorhanden ist, ist jedoch aus der vorhergehenden Arbeitsstation sehr schlecht einsehbar, sodass die Arbeitsperson im Übergang von der aktuellen Arbeitsstation auf die mit dem Drucker Verdrehungen durch den Prüfblick bezogen auf das Druckerpapier einnimmt.
- Eine Analyse der Arbeitsstationen kann mithilfe von Blickbewegungsmessungen durchgeführt werden. Alternativ können die Linien mit den entsprechenden Arbeitspersonen im Sinne eines Walk-Through Verfahrens durchgegangen werden, mit dem spezifischen Ziel, Inkompatibilitäten zwischen Arbeitsstationen herauszuarbeiten. Inkompatibilitäten können sich auf Anordnungen oder Tätigkeitsabfolgen (Bedienabfolgen, Entnahme-Reihenfolgen, etc.) beziehen.

2.3 Kontrolle der Repetitionsbelastungen des Hand-Arm-Systems

U-Linien-Systeme werden wesentlich nach dem Prinzip der Vermeidung von Verschwendung (Muda) – der Arbeitszeit und des Materials – geplant und gestaltet. Dadurch kann es für die Arbeitenden im Vergleich zu traditionellen Fließbandsystemen zu einer deutlichen Verringerung der Wartezeiten zwischen aufeinanderfolgenden Arbeitstätigkeiten kommen.

Dies kann in der Folge – im Zusammenspiel mit der spezifischen Abfolge der Tätigkeiten – zu einer erhöhten Repetitionsbelastung führen, die sich durch fortwährend wiederkehrende gleichartige bzw. monotone Bewegungen des Hand-Arm-Systems auszeichnet. In einer solchen Situation führt der fortlaufende Wechsel von Arbeitsstation zu Arbeitsstation nicht zu einem ergonomisch wünschenswerten Wechsel in der Belastungssituation. Insbesondere besteht die Möglichkeit, dass die sogenannten Mikropausen, die essentieller Bestandteil natürlich fließender Bewegungen sind, deutlich reduziert sind und damit zu einer dauerhaften Anspannung der Muskulatur und damit auch der betreffenden Sehnen und deren Ansätze am Knochen kommt. Dies kann das Auftreten von chronischen Beschwerden im Bereich des Hand-Arm-Systems begünstigen (O'Neil et al. 2001, Nordander et al. 2013).

Handlungsempfehlungen

- Wechsel der Arbeitsaufgaben (Kontrolle, Wartung, Logistik) durch Jobrotation.
- Kein hundertprozentiges Ausreizen der Arbeitsaufgaben durch Zeitmanagementsysteme (Materialpuffer bzw. Zeitpuffer einräumen, Anlagenstandzeiten vorausschauend berücksichtigen, sinnvoller Umgang mit Ausfallzeiten, realistische Sollvorgaben; vgl. auch Kap. 3.4).
- Abstützstellen/Auflagestellen für Hände/Arme an den Stationen vorsehen, wo sinnvoll möglich -> Zielorientierung ~10 % der Zykluszeit für Hand-/Armbstützung vorsehen (dies begünstigt Mikropausen).
- Auf fließende Bewegungen (zwischen den Stationen) achten bzw. solche begünstigen.
- Vermeidung statischer Halteaufgaben bzw. dauerhafter Kraftausübung (hier sind auch Tätigkeiten zwischen den Stationen zu betrachten).

2.4 Berücksichtigung spezifischer Wirkungen des Automatisierungs- und Mechanisierungsgrades

Ein höherer Automatisierungsgrad an den U-Linien bedingt oft einen erhöhten Zeit- und Leistungsdruck mit erhöhter Repetitivität des Arbeitsablaufs. In solchen Linien können die Arbeitspersonen ihren Arbeitsrhythmus im Laufe der Arbeitszeit nicht selbst bestimmen und variieren, da die Maschinen bzw. Roboter die Zykluszeit und die Synchronisation des Zyklus bestimmen bzw. definieren. Diese Tatsache führt zu folgenden Konsequenzen: Bei niedrigerem Automatisierungsgrad ist der statische muskelphysiologische Anteil der muskulären Beanspruchung von ausgewählten Muskeln der unteren Extremitäten höher als an einer Montagelinie mit höherem Automatisierungsgrad. Hinsichtlich der sog. dynamischen muskelphysiologischen Aktivitäten in den oberen Extremitäten und im Schulterbereich konnte festgestellt werden, dass diese bei geringerem Automatisierungsgrad höher als an den höher automatisierten Montagelinien liegen (Wakula et al., 2016b). Bei der Analyse der muskulären Beanspruchung zwischen unterschiedlichen Arbeitsbereichen innerhalb einer U-Linie (Vorbereitung, Montage, Prüfung oder Qualitätskontrolle, Verpackung) zeichnen sich die niedrigsten Beanspruchungswerte an den Prüfstationen und die höchsten an den Verpack- und Palettier-Stationen ab. Ferner konnte beobachtet werden, dass die Arbeitspersonen oft nicht motiviert sind, lange Zeit an einer U-Linie mit hohem Automatisierungsgrad zu arbeiten. Die Genderfrage zeigt zusätzlich, dass die weiblichen Arbeitspersonen in den oberen und unteren Extremitäten höher als die männlichen beansprucht werden.

Handlungsempfehlungen

- Bei der Auslegung und Gestaltung der U-Linien mit hohem Automatisierungsgrad sollte die Gestaltung von unterschiedlichen Arbeitsinhalten und Arbeitsabläufen sowohl in einzelnen Bereichen als auch innerhalb der Linie so optimiert werden, dass sich die die Tätigkeitsdynamik der

Arbeitspersonen nicht allein aus den Zeitvorgaben der Automaten ergibt.

- Insbesondere an der Stelle der Einbettung des Automaten in die Linie sind die Übergänge der vorhergehenden zur kommenden Arbeitsstation hinsichtlich der sich ergebenden Arbeitsabläufe an die psychische und physische Leistungsbereitschaft der Arbeitspersonen anzupassen. Dies kann durch Bewegungs- und Blickanalysen oder durch Walk-Through- Verfahren überprüft werden.

3 Arbeitsorganisation und Lean Management

3.1 An physischen und psychischen Grenzen der Arbeitspersonen orientierte Zykluszeiten

Der Hauptparameter für die Auslegung einer Fertigungslinie wird üblicherweise im Arbeitstakt bzw. der Zykluszeit gesehen. Aus ergonomischer Sicht stellt sich die Frage, welche minimale Zykluszeit für die Arbeitspersonen noch als sinnvoll erachtet werden kann.

Ferner konnte festgestellt werden, dass bei Wertschöpfungsketten von rechts nach links (gegen Uhrzeigersinn) aufgrund der Asymmetrie der Arbeitsrichtung und -haltung stärkere Belastungen der „rechten Körperseite (Hand-Arm- & Fuß-Bein-Systemen) führt WS“) der Arbeitspersonen bei der Ausführung der Arbeitsaufgaben entstehen (dies besonders in Montagebereichen der analysierten U-Linien).

U-Linien-Systeme bieten die Möglichkeit, durch das Arbeiten an verschiedenen Stationen eine Tätigkeitsvielfalt und damit auch einen Belastungswechsel zu erzeugen. So können zumindest theoretisch Monotonie und Repetition begrenzt werden. Zu kleinteilig gestaltete Linien bergen dagegen mehrere Probleme für die Arbeitspersonen.

Stetige Bewegung der Arbeitsperson in einer Richtung mit sehr kurzen Zykluszeiten (< 30 Sek bis < 1 Min) sollte deshalb vermieden werden. Bei mehr als 90 % der im Rahmen dieses Vorhabens analysierten U-Linien ist diese in ihrer Wertschöpfungskette von rechts nach links geplant, d. h. die Arbeitsperson bewegt sich gegen Uhrzeigersinn (GUZ); in Kombination mit kurzen Zykluszeiten entsteht das Risiko eines „Drehschwindels“ (Scherer, 1992; Strupp et al. 2015).

Das Vorhaben weist zwar keinen direkten bilateralen Zusammenhang zwischen Zykluszeit und einzelnen Belastungsfaktoren auf, jedoch können auf Basis des gemeinsamen Wirkens von Zykluszeit und Drehrichtung einer U-Linie die folgenden Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden.

Handlungsempfehlungen

- Zykluszeiten von unter 30 Sekunden (in Verbindung mit einer 360°- Rotation der Arbeitspersonen) sollten auf Planungsebene grundsätzlich vermieden werden. Kurze Zykluszeiten gehen einher mit nur wenigen Arbeitsstationen bzw. wenigen Tätigkeitschritten. Das begünstigt Monotonie und erhöht die Repetitionsbelastung.

- Erstrebenswert sind Zykluszeiten von ca. 1 Minute und länger – ggfs. sind mehrere Fertigungsteile in einer U-Linie zu kombinieren.
- Sind kurze Zykluszeiten unvermeidbar, sollte zumindest ein Wechsel der Bewegungsrichtungen durch Variation der Rotation in Betracht gezogen werden. Dies wären entweder Tätigkeiten im Uhrzeigersinn (UZ) oder Job-Rotation zwischen Arbeitsbereichen oder anderen Linien. Auch käme ein möglicher zeitlicher Wechsel vom „Karawanenprinzip“ zum „Handübergabepinzip“ in Betracht.
- Berücksichtigung der „Seitigkeit“ bei der Planung und Auslegung der Arbeitsstationen oder Arbeitsbereiche innerhalb der U-Linie dahingehend, dass in den Tätigkeiten an den Arbeitsstationen selbst ausgleichende Bewegungen stattfinden können (vergleiche Kap. 1.3).
- Zeitlichen Wechsel zwischen den Bereichen innerhalb der U-Linien mit „Handübergabesystem“ vorsehen (evtl. nach den Pausen oder nach ca. 2 Stunden bei sehr kurzen Zykluszeiten).

3.2 Gute Gestaltung und richtige Bedienung von Hilfsmitteln und handgeführten Maschinen

Arbeitspersonen neigen mitunter dazu, Arbeiten mit Hilfsmitteln und handgeführten Maschinen mit einem überhöhten Krafteinsatz auszuführen und versprechen sich dadurch ein besseres Arbeitsergebnis. Allerdings können auch die ungünstige Auswahl und Konfiguration der Arbeitsmittel den erhöhten Aufwand bedingen. In solchen U-Linien, in denen überwiegend Frauen arbeiten, sollten die Geräte und Hilfsmittel an die durchschnittlich kleineren Handgrößen angepasst sein.

Da sich Arbeitspersonen oft in einem One-Piece-Flow-System innerhalb der U-Linie bewegen, ist die angepasste Gestaltung von Hilfsmitteln insbesondere beim Greifen und Positionieren von besonderer Bedeutung.

Handlungsempfehlungen

- Bei der Auswahl von Arbeitshilfsmitteln und -geräten sollte auf gute ergonomische Bedienbarkeit geachtet werden (Anthropometrie der Hände beachten).
- Es sollten Unterweisungen der Arbeitspersonen zur richtigen Bedienung stattfinden.
- Es sollten keine überhöhten Bedienkräfte für bessere Arbeitsqualität notwendig sein.
- Es sollte ein rechtzeitiger Austausch von verschlissenen Werkzeug stattfinden.

3.3 Berücksichtigung anthropometrischer Gegebenheiten der Linie und der Arbeitspersonen

In U-Linien-Systemen, in denen mehrere Personen arbeiten, können die einzelnen Arbeitsstationen nicht individuell an die anthropometrischen Voraussetzungen angepasst werden. Daher ist bei der Zusammenstellung der Arbeitsgruppe zusätzlich die Anthropometrie zu betrachten.

Handlungsempfehlungen

- Die Arbeitshöhe sollte für die Arbeitsgruppe jeweils optimal angepasst werden.
- Bei einer stark heterogenen Arbeitsgruppe sollte die Möglichkeit der Aufteilung der U-Linie in mehr Arbeitsbereiche (Wechsel vom Karawanen- auf das Handübergabesystem) in Erwägung gezogen werden.
- Bei Regalsystemen sollte auf eine möglichst geringe Dicke der Zwischenböden geachtet werden (keine überdimensionierten Aluprofile als Zwischenböden vorsehen).

3.4 Berücksichtigung der Grenzen der Kleinteiligkeit im Lean Management

Eine zentrale Idee des Lean-Ansatzes ist das Erreichen einer schlanken Produktions-Philosophie durch folgende Grundprinzipien: Materialfluss am Arbeitsplatz vermeiden außer Greifen, Zuführen und Positionieren; Materialbereitstellung oder Kommissionieren entfällt bzw. wird an andere Arbeitspersonen delegiert; Zwischen- und Zusatzhandling ist zu vermeiden. Materialtransporte werden im Lean-Management als Verschwendung angesehen, da diese scheinbar nicht wertschöpfend tätig sind. Solche Tätigkeiten bedeuten für die Arbeitspersonen jedoch eine Abwechslung sowohl hinsichtlich der physischen als auch der psychischen Belastungen. Betrachtet man das Lean-Prinzip im Kontext des Gesamtsystems (Linien, Logistik innerhalb der Fabrikhalle), so ist zusätzlich festzustellen, dass eine absolute Trennung zwischen Logistiktätigkeiten und Tätigkeiten innerhalb der Linie auch zu Reibungsverlusten an der Schnittstelle zwischen den Logistiktätigkeiten und den wertschöpfenden Tätigkeiten in der U-Linie führen kann. Dies können beispielsweise Störungen der Arbeitspersonen durch Nachfragen des Logistikers über Materialbedarfe, komplexe Nachfüll-Tätigkeiten, die den Arbeitsfluss in der Linie stören, oder Nachfragen aufgrund mangelnden Wissens des Logistikers über spezifische Aspekte und Bedarfe der U-Linie sein.

Damit ist bei zu enger, kleinteiliger Auslegung des Lean-Prinzips von einer negativen Auswirkung auf die Wertschöpfung des Gesamtsystems auszugehen. Durch die Austaktung der Arbeitsinhalte können diese in ihrer Komplexität abnehmen Monotonie, Ermüdung oder Sättigung bei den Arbeitspersonen in der U-Linie zur Folge haben. Es besteht insgesamt ein Trade-Off zwischen Kleinteiligkeit im Lean-Management und der menschlichen Leistungsfähigkeit (physiologisch wie psychologisch).

Transport und Logistiktätigkeiten innerhalb der U-Linie (also nicht der Materialtransport innerhalb der Fabrikhalle), sind auch nach Lean-Prinzipien besser durch die Arbeitspersonen in den Linien durchzuführen. Die Arbeitspersonen innerhalb der U-Linie wissen am besten, nach welchen Gesichtspunkten, nach welchem Prozedere und zu welchen Zeitpunkten der Materialzufluss organisiert sein soll. Durch einen allgemeinen Logistiker, der unter Umständen die aktuelle Produktions-Situation innerhalb der U-Linie nicht einzuschätzen vermag, kann eine Verschwendung durch Interferenz der logistischen Tätigkeiten mit denen

der Arbeitspersonen an der U-Linie zustande kommen.

Diese Grenze des Lean-Prinzips ist kongruent zu den Anforderungen der psychischen Arbeitszufriedenheit, denn durch Überlassen der Transport- und Logistikaktivitäten innerhalb der U-Linie ist auch die Anforderung an die Ganzheitlichkeit einer Aufgabe erfüllt und damit ein wichtiger Faktor für die Reduktion des psychischen Belastungsempfindens gegeben. Neben dem psychischen Aspekt werden durch solche Tätigkeiten auch physische Belastungswechsel möglich und damit viele Probleme von U-Linien hinsichtlich der einseitigen Belastung der Arbeitspersonen kompensiert.

Handlungsempfehlungen

- Genügend lange Arbeitsinhalte, sodass sich der Körper an die entsprechende Arbeitsstation ausrichtet. Genügend lange Arbeitsinhalte könnten im Lean-Prinzip als Verschwendung angesehen werden, sind aber für die nachhaltige Produktivität der U-Linie essentiell (Bezug zu Kap. 1.3 „Seitliches Gehen am Arbeitsplatz“).
- Überlassen der Transport- und Logistikaktivitäten innerhalb der U-Linie an die Arbeitspersonen innerhalb der U-Linie. Wechsel der Arbeitsaufgaben durch Kontrolle, Wartung und Logistik (Bezug zu Kap. 1.2 „Repetitionsbelastung“).
- Kein hundertprozentiges Ausreizen der Arbeitsaufgaben durch Zeitmanagementsysteme. Dies ist nach Lean-Prinzip Verschwendung und widerspricht scheinbar dem Lean-Prinzip; aus Nachhaltigkeitsaspekten ist dies jedoch sinnvoll (Bezug zu Kap. 3.1 „Zykluszeiten“).
- Arbeitssysteme sollten so gestaltet werden, dass Mikropausen in den Tätigkeiten vorgesehen sind und damit eine permanente dynamische Belastung der Gelenke vermieden wird. Hier würde wieder ein Widerspruch mit dem Lean-Prinzip dahingehend aufkommen, dass dies als Verschwendung oder zusätzliche Warte- oder Pausenzeiten angesehen werden könnte. Trotzdem können Mikropausen in den Arbeitsfluss eingebaut werden, indem Tätigkeiten derart in ihrem Ablauf vorgeplant werden, dass bestimmte Gelenke/Muskelgruppen rhythmisch entlastet werden und sich so Mikropausen für die Gelenke/Muskelgruppen ergeben. Dies wirkt sich nachhaltig positiv auf die Produktivität aus (Bezug zu Kap. 2.3 „Mikropausen“).

4 Literatur

DIN EN ISO 9241-303:2012-03 „Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen“, Beuth Verlag, Berlin.

Hansson, G.; Balogh, I.; Ohlsson, K.; Granqvist, L.; Nordander, C.; Arvidsson, I.; Akesson, I.; Unge, J.; Rittner, R.; Strömberg, U.; Skerfving, S. (2009). Physical workload in various types of work: Part I. Wrist and forearm International Journal of Industrial Ergonomics, 39, 221-233.

Nordander, C.; Ohlsson, K.; Akesson, I.; Arvidsson, I.; Balogh, I.; Hansson, G.; Strömberg, U.; Rittner, R.; Skerfving, S. (2013). Exposure-response relationships in work-related musculoskeletal disorders in elbows and hands - A synthesis of group-level data on exposure and response obtained using uniform methods of data collection. Appl Ergon, 44, 241-253

O'Neil, B.; Forsythe, M.; Stanish, W. (2001). Chronic occupational repetitive strain injury. Can. Fam. Physician, 47, 311-316.

Scherer, H. (1992). Das Gleichgewicht II - Erkrankungen, Kinetosen, Differentialdiagnose, Therapie. Berlin: Springer-Verlag.

Strupp, M., Dieterich, M., Zwergal, A. & Brandt, T. (2015). Diagnosestellung und Therapieoptionen bei Schwindelsyndromen. Nervenarzt, S. 1277–1290.

VDI 2870 Blatt 2 (2013-02) „Ganzheitliche Produktionssysteme – Methoden katalog“, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Wakula, J., Bauer, S., Spindler S., Bruder, R. (2017). Analyse von Belastungen und muskulären Beanspruchungen der unteren Extremitäten beim „seitlichen“ Gehen an einer simulierten Montagelinie mit unterschiedlichen Laufrichtungen und kurzen Taktzeiten. Frühjahrskongress 2017, Brugg und Zürich: Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund (Hrsg.)

Wakula J., Fichtner K., Bruder R. (2016b). Analyse der physischen Belastungen und der muskulären Beanspruchungen an der simulierten U-Montagelinie mit unterschiedlichen Mechanisierungsgrad in der Prozesslernfabrik der TU Darmstadt. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Dortmund: GfA-Press.

Wakula, J., Müglich, D., Bruder, R. (2016a). „Normales“ vs. „seitliches Gehen“ bei simulierten einfachen Montagetätigkeiten – Analyse der muskulären Beanspruchungen in den Beinen. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Arbeit in komplexen Systemen. Digital, vernetzt, human?!. Dortmund: GfA-Press.

Wickens, C.D. & Hollands, J. G. (2000). Engineering Psychology and Human Performance. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458