

Exposé zur Bachelorarbeit

„Konzeptentwicklung zur Steigerung der Produktivität in der Fertigung der Großbatterien“

Autor: Rainer Hesse

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Engineering

Abgabe der Arbeit: 25. April 2018

Studiengang: Maschinenbau (B.eng.)

Fachhochschule Südwestfalen; Standort Soest

Fachbereich: Maschinenbau - Automatisierungstechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Thorsten Frank

Zweitprüfer: B. Eng. Martin Jata

In Kooperation mit: Voltabox AG

Betriebliche Betreuer:

Dipl. Ing. Frank Keinhorst

B. Eng. Katharina Klassen

Inhalt

1. Einleitung	3
1.1. Das Produkt	3
1.2. Zielsetzung	4
2. Stand der Forschung	5
2.1. Kleinserie	5
2.2. Arbeitssystem	6
2.3. Arbeitssystemgestaltung	7
2.4. REFA-Standardprogramm Arbeitssystemgestaltung	9
3. Lösungsansatz	10
3.1. Ausgangssituation analysieren	11
3.2. Ziele definieren	11
3.3. Arbeitssystem konzipieren	12
3.4. Arbeitssystem detaillieren	13
3.4.1. Werkzeugbereitstellung	13
3.4.2. Arbeitsanweisungen	14
3.5. Arbeitssystem realisieren	14
4. Ergebnisse & Kritische Würdigung	15
4.1. Auswertung Spaghetti Diagramm	15
5. Zusammenfassung & Ausblick	16
6. Literaturverzeichnis	17

Soweit im Folgenden Berufs- Gruppen- und/ oder Personenbezeichnungen Verwendung finden, so ist auch stets die jeweils weibliche Form gemeint. Der Verfasser sieht daher von einer genderneutralen Ausdrucksweise ab.

1. Einleitung

Die Notwendigkeit der Verwendung umweltfreundlicher Verkehrsmittel verursacht den vermehrten Einsatz elektronisch angetriebener Fahrzeuge, besonders im urbanen Raum. (Center of Automotive Management, n.d.) Einen Bereich im öffentlichen Personen-Nahverkehr stellen Oberleitungsbusse dar. Diese besitzen im Vergleich zu Bussen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren, neben den Vorteilen des Potentials der Reduzierung von Emissionen und des Erreichens von Umweltschutzzvorgaben, eine Verringerung des Geräuschpegels. Einen begrenzenden Faktor der Flexibilität und Reichweite der befahrbaren Strecken stellen Oberleitungen dar, welche die elektrische Versorgung gewährleisten. Um diesem Umstand zu entgehen und auf teure infrastrukturelle Maßnahmen verzichten zu können, werden die bei der Voltabox AG produzierten Batteriesysteme „Großbatterien“¹ in den Oberleitungsbussen eingesetzt. Dadurch können Streckenabschnitte ohne Oberleitungen überbrückt werden.

1.1. Das Produkt

Ein jedes Batteriesystem besteht aus einem Batterieraum und einem Technikraum (s. Abbildung 1). Im Batterieraum werden die Batteriemodule eingesetzt und untereinander verschaltet. Die in der Montage eine elektrische Gefährdung besteht, ist diese ausschließlich von geschulten Mitarbeitern gestattet. (Först, n.d.)

In den Modulen werden Lithium-Ionen Zellen verbaut, welche eine besonders hohe Energiedichte im Vergleich zu konventionellen Blei-akkumulatoren aufweisen. (Voltabox AG, n.d.) Im Technikraum sind Leistungs- und Steuerungselektronik, sowie Klimakomponenten angesiedelt.

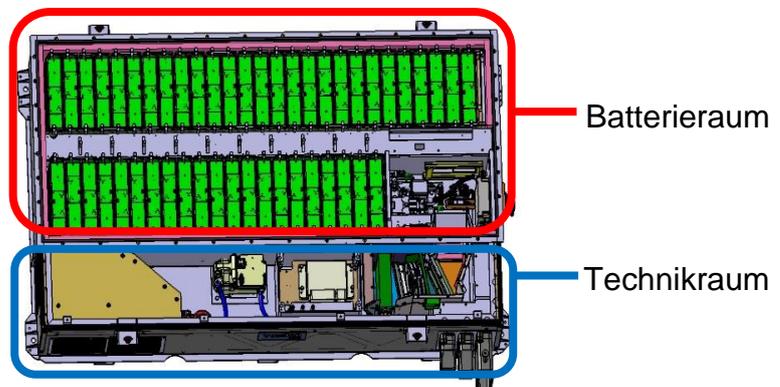


Abbildung 1: Aufbau eines Batteriesystems (Schnitt)

Das zum Zeitpunkt der Aufnahme der Ausgangssituation gefertigte Batteriesystem wird durch einen neuen Standard an Großbatterien abgelöst. Dieses unterscheidet sich als optimiertes Batteriesystem nicht nur in der Technologie, sondern auch in der Montage. Durch den Wechsel wird die Anzahl der unterschiedlich zu verbauenden Komponenten um 40 Prozent reduziert.

¹ Da es sich bei den betrachteten Batteriesystemen ausschließlich um die Großbatterie handelt, wird der Begriff Batteriesystem im Folgenden gleichbedeutend dem Ausdruck Großbatterie verwendet.

1.2. Zielsetzung

„Nur wer sein Ziel kennt, findet seinen Weg.“

Epiktet, Philosoph, 50-125 n. Chr.

Der seit dem 20. Jahrhundert stark anwachsende Individualismus, gepaart mit einer nachfrageorientierten Unternehmensphilosophie führt zu einer Diversifizierung der Produkte und einem kurzem Produktlebenszyklus. Daraus resultieren geringe Losgrößen mit hohen kundenspezifischen Anforderungen. Auch die Großbatterie wird als Kleinserie gefertigt. Um diese erfolgreich zu produzieren, ist eine systematisierte Produktionsorganisation, gekennzeichnet von einer hohen Produktivität, unabdingbar.

Darauf basiert die Aufgabenstellung der Arbeit, die *„Konzeptentwicklung zur Steigerung der Produktivität in der Fertigung der Großbatterie“*.

Im Besonderen gilt es in der Konzeptionierung den beschriebenen Wechsel des zu fertigenden Batteriesystems zu berücksichtigen. So muss eine effiziente Fertigstellung der restlichen Batteriesysteme ermöglicht werden und ein flexibles Arbeitssystem für künftige Systeme konzipiert werden.

Ferner wurden die zu erreichenden Ziele in primäre und sekundäre Ziele gesplittet. Die primären Ziele sind direkt aus der Aufgabenstellung abgeleitet und sind daher zielidentisch. Sie fungieren als Leistungsindikatoren. Die Sekundärziele sind zielkomplementär.

Primärziele	Sekundärziele
Reduzierung der Durchlaufzeit	Verringerung der notwendigen Qualifikation der Mitarbeiter
Stabilisierung / Steigerung der Qualität	Steigerung der Prozesssicherheit
	One-Piece-Flow
	Verringerung der Bestände an der Linie

Die verfolgten Ziele wurden weiter mittels des Akronyms „smart“ (Dörrenberg, 2017) spezifiziert. Auf eine detaillierte Darstellung der einzelnen Ziele wird an dieser Stelle verzichtet.

- S Spezifisch (Specific/Simple)
- M Messbar (Measurable)
- A Akzeptabel (Achievable/Attainable)
- R Realistisch (Realistic/Relevant)
- T Terminiert (Timeable/Timly)

2. Stand der Forschung

2.1. Kleinserie

Eine Kleinserie charakterisiert eine Serie mit geringer Anzahl an produzierenden Gütern. Die Stückzahl einer Kleinserie wird in der Literatur nicht genau definiert, da diese stark abhängig von der Art des produzierten Gutes ist. Nach kaufmännischem Handelsbrauch umfasst die Anzahl zwischen drei und hundert (Zey, n.d.). Die klassischen Eigenschaften einer Kleinserie, wie sie auch hier vorliegt, sind ein hohes Maß an kundenspezifischen Merkmalen (Flexibilität) und ein geringes Fertigungsvolumen. Grundsätzlich stehen die Eigenschaften Flexibilität und Fertigungsvolumen kontrahierend zueinander.

Die klassische Kostenstruktur einer Kleinserie setzt sich aus geringen Fixkosten und hohen variablen Kosten zusammen. Im Vergleich zu Produkten mit einem höheren Grad an Spezialisierung, was mit einem größeren Fertigungsvolumen und einer geringeren Vielfalt einhergeht, sind die Stückkosten hoch (Prof. Dr. Frank, 2016, S. 88).

Die Aufgabe der Produktion und somit auch der Arbeitssystemgestaltung liegt in einer möglichst hohen Paarung von Flexibilität und Fertigungsvolumen unter Berücksichtigung geringer Stückkosten. Investitionen sind in Bezug auf deren Kosten/ Nutzen-Faktor detailliert abzuwägen. Das Resultat ist häufig ein hoher Grad an manueller Montage. Dieses Erkenntnis gilt es in die Konzeptionierung zu beachten und einzubinden.

2.2. Arbeitssystem

Nach DIN EN ISO 6385:2016, S.7, in welche auch die Auffassung des REFA Bundesverband e.V.² einging, sei ein Arbeitssystem ein „System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebener Bedingungen zu erfüllen.“

Detaillierter beschreibt REFA, ein Arbeitssystem bestehe aus Eingabe, Systemgrenze, Aufgabe, Mensch, Betriebs- bzw. Arbeitsmittel, Arbeitsablauf, Arbeitsplatz, Umgebung und Ausgabe. Diese Einflussgrößen sind aufeinander abzustimmen. Weiter gilt es Arbeitssysteme voneinander abzugrenzen. Dadurch wird eine Vermischung vermieden und die einzelnen Systeme können separat betrachtet werden. Somit seien Arbeitssysteme die Leistungseinheiten und Bausteine, aus denen Prozesse und Unternehmen bestehen. (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 64)

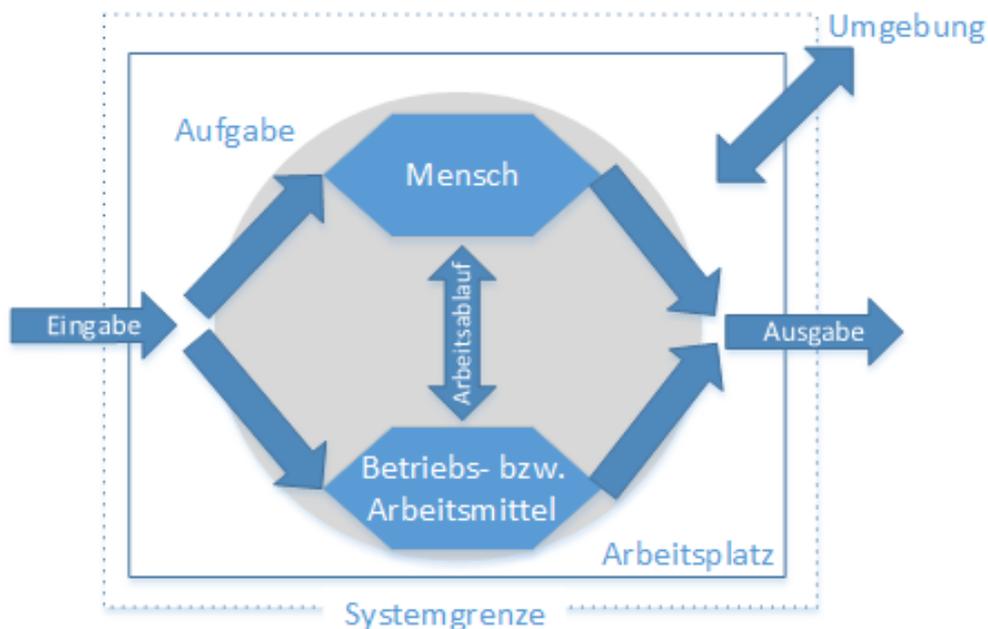


Abbildung 2: REFA Arbeitssystem (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 64)

Die Fertigung der Großbatterie lässt sich mittels der Definition eines Arbeitssystems beschreiben und beinhaltet jeden Aspekt, der ein solches charakterisiert. Daher lässt sich die Fertigung der Großbatterie als Arbeitssystem auffassen. Dementsprechend ist die eine produktivitätssteigernde Arbeitssystemgestaltung der Aufgabenstellung nach zielführend.

² Im Folgenden als REFA bezeichnet

2.3. Arbeitssystemgestaltung

Die Gestaltung von Arbeitssystemen umfasst grundsätzlich die Auslegung, Anordnung und Nutzung. Damit die zu erfüllenden Aufgaben unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, ergonomischer, ökologischer, sozialer sowie weiterer Aspekte bestmöglich realisiert werden können, gilt es Arbeitssysteme ihrer auszuführenden Aufgabe nach zu gestalten (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 65). Die Qualität der Gestaltung eines Arbeitssystems steht in Relation zu der Güte des Prozesses, in welchem es sich befindet.

Um Arbeitssysteme zu klassifizieren, können diese anhand markanter Merkmale eingestuft werden. Jedes dieser Merkmale hat Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Arbeitssystems und somit auch auf dessen Gestaltung. Die wichtigsten Merkmale sind die Form, Systemgröße, Systemart und die Systemauslegung. Im Folgenden werden die Merkmale kurz erläutert und das hier vorliegende Arbeitssystem entsprechend eingestuft.

Form

In der Arbeitssystemgestaltung wird zwischen der Form der prospektiven Gestaltung (Arbeitssystem-Neuplanung) und der korrektiven Gestaltung (Arbeitssystem-Verbesserung) unterschieden. Die Gestaltungsanstöße dagegen, welche die Forderung zur Arbeitssystemgestaltung implizieren, können den gleichen Charakter aufweisen (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 65). Das vorgefundene Arbeitssystem ist historisch gewachsen und befindet sich aktuell im Einsatz. Der Definition nach handelt es sich um eine korrektive Gestaltung.

Systemgröße

Ein weiteres Merkmal ist die Systemgröße. Es wird in Mikro und Makro Arbeitssysteme aufgeteilt. Mikro Arbeitssysteme sind Einzelsysteme, in welchen die wechselseitigen Beziehungen der wenigen Elemente den Arbeitsablauf darstellen. Makro Arbeitssysteme umfassen einzelne Geschäftsfelder bis zu gesamten Unternehmen. Die zahlreichen in diesen Systemen involvierten Elemente pflegen vielfältige Beziehungen und besitzen zahlreiche Aufgaben (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 65). Zu Makro Arbeitssystemen werden bspw. Fertigungsinseln oder Fertigungslinien gezählt (Deutsche MTM-Vereinigung e.V., MTM-Institut, 2014, S. 54). Aufgrund der vorgestellten Einteilung handelt es sich in der Fertigung der Großbatterie um ein Makro Arbeitssystem.

Systemart

Eine weitere Klassifizierung geschieht mit der Einteilung nach der Systemart. Es wird zwischen Entwicklungs-, Produktions-, Administrativen- und Transport-Arbeitssystem unterschieden (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 65). Basierend auf den zuvor beschriebenen Aspekten, ist die untersuchte Fertigung dem Bereich der Produktions-Arbeitssysteme zuzurechnen.

Systemauslegung

Die Systemauslegung beschreibt die Komponente des Aufgabenumfangs in der Ausführung als Einzel- oder Gruppen-Arbeitssystem (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 66). In der betrachteten Fertigung ist ein Gruppen-Arbeitssystem vorliegend.

2.4. REFA-Standardprogramm Arbeitssystemgestaltung

Das REFA-Standardprogramm Arbeitssystemgestaltung, basierend auf der REFA-Planungssystematik, ist ein ganzheitliches Werkzeug, welches den Prozess von der Analyse der Ausgangssituation bis zum Einsetzen der betrieblichen Leistungseinheit begleitet.

Es ist gegliedert in sechs Stufen (Abbildung 3), welche nacheinander betrachtet werden. Jede neue Stufe ist erst nach vollständiger Bearbeitung der vorangegangenen zu betreten. Bei einer Veränderung der Rahmenbedingungen kann es durchaus sinnvoll sein, vorherige Stufen erneut zu bearbeiten und auf die neue Situation anzupassen. (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 284ff).



Abbildung 3: Schalenmodell REFA-Standardprogramm Arbeitssystemgestaltung

Die phasenweise Erarbeitung reduziert das Risiko der Nichtbeachtung von elementaren Aspekten. Des Weiteren werden verfrühte Detaillierungen ablaufbedingt verhindert, Over Engineering unterbunden.

Da die Beschaffenheit und Struktur des REFA-Standardprogramms ermöglicht, Verschwendungen aufzudecken, bzw. zu beseitigen und zudem wertschöpfende Prozesse einzupflegen, ist es ein geeignetes Werkzeug, um das Arbeitssystem der Fertigung der Großbatterien zu gestalten und somit die Produktivität zu steigern.

3. Lösungsansatz

Die gesamte Konzeptionierung wurde auf Basis des REFA-Standardprogramms der Arbeitssystemgestaltung erarbeitet. Dieses fungierte nicht als eines vieler Werkzeuge, sondern schloss einen Rahmen um das Projekt. Aufgrund dessen sind die folgenden Abschnitte in die sechs Stufen des REFA-Standardprogramms gegliedert. Angewendete Werkzeuge und Methoden lassen sich in ihrer Darstellung sowie Anwendung in den einzelnen Phasen wiederfinden, in denen sie Anwendung finden.

Dazu werden diese in den einzelnen Stufen zuerst allgemein erläutert, anschließend deren Anwendung in der Fertigung der Großbatterie dargestellt und abschließend ein Fazit der Maßnahme gezogen. Somit ist jede der Stufen für sich alleine aussagefähig und bildet unter Einbeziehung der anderen ein gesamtheitliches Bild.

Ein Gesamtfazit der wichtigsten Veränderungen, Kennzahlen und Erfolge unter Einbeziehung der wechselseitigen Einflüsse geschieht in der letzten Stufe, der Einsetzung des Arbeitssystems.

3.1. Ausgangssituation analysieren

„Wer die Gegenwart nicht versteht, kann die Zukunft nicht gestalten“

Hans-Friedrich Bergmann.

In der ersten Stufe, der Analyse der Ausgangssituation, kann man sich unterschiedlicher Methoden bedienen, um ein sachliches Bild über den aktuellen Zustand des Systems und der zugehörigen Rahmenbedingungen sowie der Umgebung zu gewinnen. Es soll ein Eindruck über die betriebliche Situation verschafft werden, die überarbeitet werden soll. Hieraus lässt sich bereits eine Auswahl möglicher Ziele formulieren. Die Analyse der Ausgangssituation fungiert nicht nur als Fundament, auf dessen Grundlage die anzustrebenden Ziele zu formulieren sind, sondern auch zur Evaluation des im letzten Schritt eingesetzten Arbeitssystems. Somit ist die Analyse der Ausgangssituation zur quantitativen sowie qualitativen Bewertung der Veränderung zwingend erforderlich.

Die Auswertung der durchgeführten Arbeitsanalyse zeigt eine build-to-order Kleinserienproduktion, die im Folgenden unter den einzelnen Rubriken näher erläutert wird.

Arbeitsablauf

Als Eingabe in das Arbeitssystem fungieren der geschweißte Batteriesystemrahmen, Batteriemodule und weitere Einzelkomponenten. Baugruppen existieren, werden jedoch nicht vorgefertigt. Auf eine detaillierte Ausführung der Montage wird an dieser Stelle verzichtet. Das Ergebnis, die Ausgabe, ist das fertige Batteriesystem. Dieses wird in einem nachgelagerten Bereich getestet.

Linienlayout

Das vorgefundene Arbeitssystem ist historisch gewachsen. Arbeitsanweisungen stehen in Papierform zur Verfügung. Ein gerichteter Materialfluss ist nicht konsequent gelebt.

Sicherheitsanforderungen

Da im Rahmen der Montage der Batteriesysteme elektrische Gefährdung besteht, können hier ausschließlich Mitarbeiter mit geeigneter Qualifikation eingesetzt werden. Ein erheblicher Verlust an Flexibilität und zusätzliche Kosten für Weiterbildungen sind die Folge.

3.2. Ziele definieren

Eine hinreichende Aufstellung der zu erreichenden Ziele wurde bereits in Kapitel 1.2 vorgenommen.

3.3. Arbeitssystem konzipieren

Die Phase der Grobplanung umfasst die Entwicklung verschiedener Lösungsvarianten auf Grundlage der Ausgangssituation und der festgelegten Ziele. Diese sollten in einem vergleichbaren Rahmen erarbeitet sein, um sie vergleichen zu können. (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 300). Das aus einer Nutzwertanalyse ermittelte Konzept wird im Folgenden gekürzt vorgestellt.

Fertigungslayout

Um die Strukturen und Prozesse in der Fertigung zu definieren und zu straffen bedarf es eines definierten Fertigungskonzeptes mit zugehörigem Fertigungslayout.

Dazu wurde ein Fertigungskonzept erarbeitet, welches auf einer Splittung der Montage in drei separate Zonen basiert. Das zu fertigende Batteriesystem durchläuft diese aufeinanderfolgend.

Zone 1: Montage von Vormontagegruppen

Zone 2: Zusammenbau des Batteriesystems

Zone 3: Hochvolt (Einbringung und Verschaltung der Batteriemodule)

Farbliche Zuordnung

Durch eine farbliche Markierung der einzelnen Zonen und der entsprechenden Werkzeuge und Vorrichtungen ist eine einfache und schnelle Zuordnung möglich.

Abtrennung Hochvolt

Die Kanalisierung der Tätigkeiten mit elektrischer Gefährdung in Zone 3 ermöglicht den Einsatz von Mitarbeitern ohne entsprechende Qualifikationen in Zone 1 und Zone 2.

Materialbereitstellung

Die Materialzuführung geschieht über Fifo³ Regale. Diese sind so ausgerichtet, dass die Materialbereitstellung zur Beschickung der Regale direkt vom Gang aus getätigt werden kann. Dies erleichtert die Trennung der Materialbereitstellung von der Wertschöpfung.

Die Materialien an den Arbeitsplätzen sind mindestens innerhalb der erweiterten Einhandzone erreichbar.

³ First in first out

3.4. Arbeitssystem detaillieren

Die Feinplanung umfasst die Ausarbeitung des Konzeptes. Dies enthält die Detaillierung sämtlicher Aspekte eines Arbeitssystems, die mittels der Gestaltung angegangen werden sollen, bzw. die es beeinflusst. (REFA Bundesverband e.V., 2016, S. 308)

3.4.1. Werkzeugbereitstellung

Ein Großteil der Montagezeit ist auf die Suche nach entsprechendem Werkzeug zurückzuführen. Um diesem entgegen zu wirken, sollte das nicht notwendige Werkzeug aussortiert werden (Seiri) und den benötigten Werkzeugen definierte und gekennzeichnete Plätze zugewiesen werden (Seiton). Eine Möglichkeit um dies zu realisieren stellt die Verwendung einer mobilen Werkzeugbereitstellung.

Im Gegensatz zum klassischen Werkzeugwagen soll zur Minimierung der Zugriffszeiten auf Schubladen verzichtet werden. Das gesamte Werkzeug wird offen in Halterungen oder Shadowboards platziert, was eine Erleichterung des Handlings darstellt. Shadowboards sind Hartschaum-Platten mit Negativform, angepasst an ein spezifisches Produkt. Die Platzierung des Werkzeuges wird beschriftet, farblich markiert oder mit Bildern versehen und entsprechend des Montageablaufes angeordnet. Eine Reduzierung der Entnahmezeiten, Steigerung der Übersicht und Erleichterung der visuellen Kontrolle auf Vollständigkeit sind die Folge.

3.4.2. Arbeitsanweisungen

Mittels einer Arbeitsanweisung wird konkretisiert, wie ein Mitarbeiter seiner Pflicht nachkommen muss. Die Form einer Arbeitsanweisung ist frei wählbar, kann dementsprechend auch mündlich erfolgen (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz). Das erarbeitete Konzept sieht eine Digitalisierung der Arbeitsanweisungen vor. Die Darstellung soll über Bildschirme am Arbeitsplatz erfolgen.

In den neu einzusetzenden digitalen Arbeitsanweisungen wird schrittweise das Vorgehen der aufeinanderfolgenden Prozessschritte dargestellt. Dies geschieht sowohl durch Beschreibungen, als auch in Form bildlicher Darstellungen. Zudem wird in jedem Schritt eine Liste mit dem benötigten Material und Werkzeug angezeigt. Hinweise auf spezielles Handling oder mögliche Gefahren sind ebenfalls enthalten.

Eine Arbeitsanweisung stellt nie ein fertiges Dokument dar, sondern unterliegt, wie die gesamte Fertigung, einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess. Um das ungenutzte Wissen des Mitarbeiters einzubringen, sollte diesem die Möglichkeit des Einflusses gegeben werden.

Das Dokument, in welchem die Arbeitsanweisung vorliegt, ist im Netzwerk gespeichert und aktualisiert sich somit bei Änderungen automatisch. Für Vorschläge zur Änderung steht dem Mitarbeiter ein fest installierter Terminal zur Verfügung. Über diesen können Vorschläge direkt im System gemacht werden und liegen anschließend zur Prüfung vor. In den Vormontagen werden zwei 22 Zoll Bildschirme an den Montagearbeitsplätzen, in der Endmontage zwei 65 Zoll Bildschirme an der Wand installiert. Die Bestätigung der Abarbeitung eines Arbeitsschrittes geschieht durch die Betätigung eines gekoppelten Grobhandtasters (s. Abbildung 4). Dies führt zur Anzeige des nächsten Arbeitsschrittes in der Arbeitsanweisung. Das Verbindungssystem entstammt einer eigenen Entwicklung.



**Abbildung 4: Taster
Arbeitsanweisung**

3.5. Arbeitssystem realisieren

Die Phase der Realisierung umfasst den Aufbau, bzw. die Umgestaltung des geplanten Arbeitssystems. Als Grundlage fungiert Stufe 4, in welcher die notwendigen Voraussetzungen zur Realisierung geschaffen wurden. Auf die in der Abschlussarbeit vorliegende primär visuelle Darstellung wird jedoch an dieser Stelle verzichtet.

4. Ergebnisse & Kritische Würdigung

Die sechste Stufe des REFA-Standardprogramms, das Einsetzen des Arbeitssystems, dient der Erfolgskontrolle und der Dokumentation. Durch die Arbeit und alle Dokumente, die rund um diese Arbeit entstanden sind, ist der Bereich der Dokumentation abgegolten. Um einen Einblick in den Erfolg der Maßnahmen zu erhalten, wird im Folgenden ein Ausschnitt der Evaluation in Form eines Spaghetti Diagramms und einer REFA-Zeitaufnahme betrachtet.

4.1. Auswertung Spaghetti Diagramm

Ein Spaghetti Diagramm ist eine Methode zur visuellen Darstellung von Arbeitsabläufen und Materialflüssen in Form einer schematischen Skizzierung von zurückgelegten Strecken (Wichert, n.d.). Eine erste Analyse des Materialflusses einer markanten Baugruppe mittels eines Spaghetti Diagramms wurde bereits in der Analyse der Ausgangssituation durchgeführt. Die erneute Analyse der gleichen Baugruppe nach Einsetzen des neuen Arbeitssystems zeigt signifikant qualitative sowie quantitative Unterschiede. Die qualitative Darstellung beider Aufnahmen ist Abbildung 5 zu entnehmen. Auf die Darstellung aller Strukturen, sowie auf detaillierte Bezeichnungen wurde hier verzichtet.

Das Ergebnis des neu eingesetzten Arbeitssystems zeigt wesentlich strukturiertere Linien. Zudem ist deren Anzahl sichtlich gesunken. Die qualitative Auswertung zeigt anhand der Struktur und Anzahl der Linien eine Steigerung der Güte des Prozesses. Auch die quantitative Auswertung zeigt eine Optimierung der Montage. Der Weg reduziert sich in der untersuchten Baugruppe um mehr als 80 Prozent.

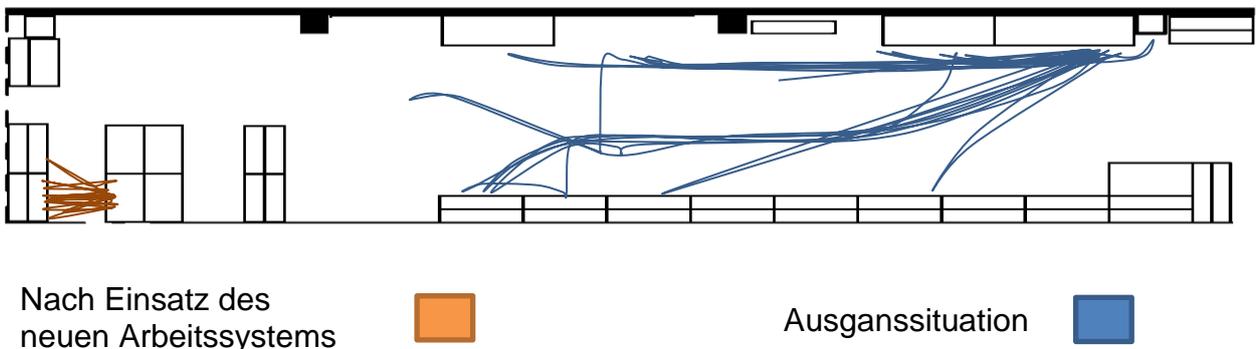


Abbildung 5: Spaghetti Diagramm Vergleich vorher - nachher

4.2. Auswertung Zeitaufnahmen Baugruppe

Die erneute Durchführung der Zeitaufnahme einer markanten Baugruppe nach Einsetzen des Arbeitssystems im Vergleich zu der Zeitaufnahme der gleichen Baugruppe in der Ausgangssituation ergibt eine Reduzierung von ca. 20 Prozent. Dies gilt als Richtwert, da die Zeitstudie in der Ausgangssituation aufgrund unzureichend definierter Prozesse nicht belastbar war. Als Maß für die Erfolgskontrolle wird diese dennoch an dieser Stelle genutzt.

5. Zusammenfassung & Ausblick

Die durchgeführten Tätigkeiten und das entstandene Arbeitssystem bieten eine gute Grundlage, eine erfolgreiche Serienproduktion des neuen Standard Batteriesystems zu gewährleisten und weiterführende Optimierungen zu implementieren. Es gliedert den Prozess in einzelne Funktionsbereiche und bietet damit eine maximale Flexibilität. Somit ist trotz zahlreicher Umgestaltungen weiterhin die Möglichkeit gegeben, das aktuelle Batteriesystem zu fertigen.

Sowohl das zu fertigende Produkt, als auch die Fertigung selbst, stellen eine zukunftsorientierte und innovative Ausrichtung dar. Durch die entstandene flexible und schlanke Fertigung, wird es ermöglicht, die Märkte von morgen erfolgreich zu durchdringen.

Die Einteilung des Arbeitssystems nach REFA ermöglichte die erfolgreiche Fokussierung auf relevante zu betrachtende Aspekte und die Abgrenzung gegen andere Arbeitssysteme.

Durch Einsatz des REFA-Standardprogramms der Arbeitssystemgestaltung erhielt die Umgestaltung des Arbeitssystems eine fundierte Struktur. Hierdurch gelang es, das Projekt in verschiedene Phasen zu splitten und diese separat zu betrachten. Zusammen ermöglichen diese eine ganzheitliche Betrachtung des Projektes. Im Standardprogramm lassen sich weitere Methoden, wie das Spaghetti Diagramm, die REFA-Zeitstudie oder die Nutzwertanalyse einfach implementieren. Sie unterstützen der Ausarbeitung der jeweiligen Ziele einer Stufe. Damit stellen die eingesetzten Methoden eine sinnvolle Ergänzung der einzelnen Phasen dar.

Die Abschlussarbeit nimmt dem REFA-Standardprogramm der Arbeitssystemgestaltung die Reduktion auf eine theoretische Methode und hebt es als effiziente und praxisnah anzuwendende Philosophie hervor. Es bildet den Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Praxis.

6. Literaturverzeichnis

- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. (kein Datum). Gewerbeordnung § 106 Weisungsrecht des Arbeitgebers.
- Center of Automotive Management. (n.d.). *Statista - Das Statistik-Portal*. Abgerufen am 27. Februar 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/699301/umfrage/anteil-von-kraftstoffarten-an-neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/>
- Deutsche MTM-Vereinigung e.V., MTM-Institut. (2014). *Basic MTM Studentische Ausbildung MTM-1/MTM-UAS*. Hamburg: Eigenverlag Deutsche MTM-Vereinigung e.V., Hamburg.
- DIN-Norm. (Dezember 2016). *DIN ISO EN 6385:2016*. Abgerufen am 12. Januar 2018
- Dörrenberg, P. D. (2017). *Planungs- und Entscheidungstechniken*. Soest.
- Finkeissen, A. (2000). *Prozess-Wertschöpfung*. Stuttgart.
- Först, A. (n.d.). *Wie gefährlich ist Elektromobilität*. DGUV, Fachbereich Holz und Metall.
- Lebefromm, U. (2003). *Produktionsmanagement* (5. Auflage Ausg.). München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- modul tec GmbH. (kein Datum). www.modultec.com/. Abgerufen am 19. 04 2018 von <https://www.modultec.com/produkte/prozessoptimierung/system-wagen/sw-modul-wagen-fuer-werkzeugbereitstellung-1.html>
- Ohno, T. (1978). *Das Toyota Produktionssystem* (2., überarbeitete Auflage Deutsche Übersetzung nach dem japanischen Original und der amerikanischen Ausgabe "Toyota Production System" (Productivity Press, Cambridge, Massachusetts 1988) Ausg.). Frankfurt/Main: Campus Verlag GmbH.
- Prof. Dr. Frank, T. (2016). *Vorlesungskript Produktionsplanung und -steuerung (MB)*. Soest.
- REFA Bundesverband e.V. (2016). *REFA Kompakt-Grundausbildung 2.0 Das Basis-Know-how in Industrial Engineering* (2., überarb. Ausg., Bd. REFA Fachbuchreihe Industrial Engineering). (Autorenteam REFA / REFA-Institut, Hrsg.) Darmstadt.
- Schlick, C. M., Moser, K., & Schenk, M. (Hrsg.). (2014). *Flexible Produktionskapazität innovativ managen*. Heidelberg: Springer Vieweg.
- Steven, M. (2007). *Handbuch Produktion*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH .
- UNEP - United Nations Environment Programme. (2017). *The Emissions Gap Report 2017*. Nairobi. Abgerufen am 30. Januar 2018 von https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22070/EGR_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Voltabox AG. (n.d.). Abgerufen am 10. Februar 2018 von <http://www.voltabox.ag/unternehmen/historie/>
- Wichert, O. (n.d.). www.lean-production-expert.de. Abgerufen am 12. Januar 2018 von <http://www.lean-production-expert.de/lean-production/spaghetti-diagramm.html>
- Zey, R. (n.d.). www.designlexikon.net. (K. Medienhaus, Herausgeber) Abgerufen am 10. 04 2018 von <http://www.designlexikon.net/Fachbegriffe/K/kleinserie.html>