

Hochschule Ostwestfalen-Lippe  
*University of Applied Sciences*

# **Exposé zur Masterarbeit**

Produktion und Management

## **Optimierung des Produktentstehungsprozesses durch montagegerechte Produktgestaltung bei einem Maschinenbauunternehmen**

Nissrin Arbesun Perez

zur Erlangung des akademischen Grades  
Master of Engineering (M.Eng.)

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Sven Hinrichsen  
Melissa Paris, M.Sc.

Partner:

Brandt Kantentechnik GmbH

Lemgo, 30. Juni 2016

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	1
1. Einleitung .....	1
2. Stand der Forschung.....	3
3. Lösungsansatz .....	3
4. Ergebnisse und kritische Würdigung .....	6
5. Zusammenfassung und Ausblick .....	10
Literaturverzeichnis.....	12

## Abkürzungsverzeichnis

PEP	Produktentstehungsprozess
PDMS	Produktdatenmanagementsystem
MTM	Methode Time Measurement
PDA	Product Design for Assembly
ProKon	Produktionsgerechtes Konstruieren
RACI	Responsability Assignment Matrix
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
IE	Industrial Engineer

## 1. Einleitung

Die Brandt Kantentechnik GmbH in Lemgo ist eine 100%-ige Tochter der HOMAG Group, welche Holzbearbeitungsmaschinen herstellt. Die hauptsächlichen Produkte des Maschinenbauers sind Kantenanleimmaschinen.

Am Standort Lemgo werden drei Serien der Maschine hergestellt.

Ein wichtiger Bestandteil dieser Maschinen ist eine Fräse. Diese Bündigfräse fräst die angeleimten Kanten (Massivholz, PVC usw.) längsseitig und gibt diesen eine bündige Form, eine Fase oder einen Radius. Die folgende Abbildung 1 zeigt eine vollständige Bündigfräse nach dem Einbau in die Kantenanleimmaschine.



**Abbildung 1:** Bündigfräse Brandt Kantentechnik (Ellermeier, 2016)

Die Bündigfräse wird in allen Serien verarbeitet. Sie wird auftragsbezogen in kleiner Stückzahl hergestellt, manuell montiert und setzt sich aus 14 Baugruppen zusammen. Die Baugruppen werden an vier Montageplätzen zusammengesetzt und letztlich aneinander montiert. Mit einem Anteil von 17% Montagekosten an den gesamten Herstellkosten des Fräsaggregats hat die Brandt Kantentechnik GmbH zwar verglichen mit den üblichen Werten aus dem Maschinenbau einen guten Durchschnitt, doch die Montage der Bündigfräse kennzeichnet sich durch einen komplexen Montageablauf, der durch Gestaltungsänderungen vereinfacht werden könnte (Ellermeier, 2016). Außerdem hat allein das am meisten verbaute Aggregat – die Bündigfräse BF 6240 (ohne Zylinderschaltung) – 48 unterschiedliche Varianten. Die interne Variantenvielfalt soll spezifische Kundenwünsche bedienen, schafft jedoch in der Montage zusätzliche Herausforderungen.

Da ihre Montage sehr komplex und langwierig ist und viel Erfahrung des verantwortlichen Monteurs benötigt, ist die Montage der Bündigfräse ein kritischer Engpass im Produktionsprozess der Brandt Kantentechnik GmbH. Aus diesem Grund wurden bei der Brandt Kan-

tentechnik GmbH bereits in vorhergegangenen Projekten verschiedene Maßnahmen ergriffen, um die Montage der Bündigfräse zu vereinfachen und beschleunigen. Dennoch konnte noch nicht die gewünschte Optimierung erzielt werden. Das Lemgoer Unternehmen möchte durch eine montagegerechte Produktgestaltung Aufwand und Kosten in der Montage reduzieren. Die Brandt Kantentechnik GmbH sieht in der Produktgestaltung der Bündigfräse Verbesserungspotenzial. Aus diesem Anlass stellte sich das Unternehmen die Frage, inwiefern montagegerechte Produktgestaltung zukünftig im Produktentstehungsprozess stärker verankert werden kann.

Seit 2015 implementiert die Brandt Kantentechnik GmbH einen von der HOMAG Group ausgearbeiteten Produktentstehungsprozess. Dieser Produktentstehungsprozess berücksichtigt die Montage nur am Rande und soll methodengestützt um Aspekte der montagegerechten Produktgestaltung angereichert werden. So sollen zukünftige Produkte von Anfang an so entwickelt werden, dass Montageanforderungen berücksichtigt werden. Aus dieser Anforderung ergab sich das erste Ziel dieser Masterarbeit: den Produktentstehungsprozess des Unternehmens mit Hilfe einer Methode zu analysieren und um Elemente zur montagegerechten Produktgestaltung zu ergänzen.

Weiterhin sollte die bereits dargestellte Bündigfräse auf Montagegerechtheit geprüft werden und es sollten idealerweise erste Verbesserungsvorschläge zur montagegerechteren Gestaltung der Bündigfräse generiert werden. Die ausgewählte Methode sollte exemplarisch an der bereits erwähnten Bündigfräse BF 6240 (ohne Zylinderschaltung) erprobt werden und erste Gestaltungshinweise zur Verbesserung der Montagegerechtheit des Aggregats liefern. Die Zielsetzung hier war, das Produkt mit Hilfe der in den Produktentstehungsprozess implementierten Methode zu analysieren.

Bei der Auswahl einer geeigneten Methode zur montagegerechten Produktgestaltung existierten mehrere Optionen. Diese sollten in dieser Masterarbeit dargestellt, einander gegenübergestellt und eine der Optionen für die Anwendung ausgewählt werden. Aus der Anwendung der Methode sollten Rückschlüsse gezogen werden, wie geeignet die Methode ist und wie gut sie sich in einen bestehenden Produktentstehungsprozess integrieren lässt. Die ausgewählte Methode sollte bei der Anwendung kontinuierlich begutachtet und die Ergebnisse in einer Stärken-Schwächen Analyse zusammengefasst werden. Das dritte Ziel dieser Masterarbeit war entsprechend, die Methode in ihrer Anwendbarkeit zu beurteilen.

Die Motivation der Masterarbeit ließ sich also in den folgenden drei Zielen zusammenfassen:

*Ziel 1: Analyse des bestehenden Produktentstehungsprozesses der Brandt Kantentechnik GmbH und Integration von Aspekten zur montagegerechten Produktgestaltung (Prozessanalyse)*

*Ziel 2: Exemplarische Analyse des Produkts Bündigfräse BF 6240 und Generierung erster Gestaltungshinweise (Produktanalyse)*

*Ziel 3: Beurteilung der ausgewählten Methode zur montagegerechten Produktgestaltung (Methodenanalyse)*

## 2. Stand der Forschung

Die heutige Produktentstehung unterliegt vielen verschiedenen Einflüssen, die sich aus der Unternehmensumwelt ergeben. Durch die Globalisierung entsteht ein verstärkter Druck auf Unternehmen, in kürzerer Zeit, innovativer und effizienter als die globale Konkurrenz zu produzieren. Kunden erwarten zunehmend ein Angebot an vielfältigen und kundenspezifischen Produkten. Die Herausforderung für Unternehmen ist, ihren Produktentstehungsprozess so zu gestalten, dass sie diesen Anforderungen gerecht werden können. Da die Montage besonders zeitaufwendig und kostenintensiv ist, befindet sich vor allem in diesem Teilprozess der Produktentstehung ein hohes Potenzial zur Rationalisierung. Viele Überlegungen und Methoden richten sich zunehmend danach, Produkte so zu gestalten, dass sie in ihrer Herstellung möglichst wenig Aufwand verursachen – besonders in der Montage. Durch eine effiziente Montage kann nämlich zum einen die Zeit zum Markteintritt verkürzt werden und dadurch ein Innovationsvorsprung gegenüber der Konkurrenz gewonnen werden (Feldhusen & Gebhardt, 2008, p. 16). Zum anderen verursacht die Montage bis zu 70% der Herstellkosten, was durch montagegerechte Produktgestaltung gleichfalls positiv beeinflusst werden könnte (Lotter & Wiendahl, 2006, p. 6).

Die Strategie der montagegerechten Produktgestaltung berücksichtigt schon in der Konzeption und Konstruktion eines Produkts Anforderungen der Montage mit der Zielsetzung, das Produkt so zu gestalten, dass seine Montage möglichst einfach und schnell ist.

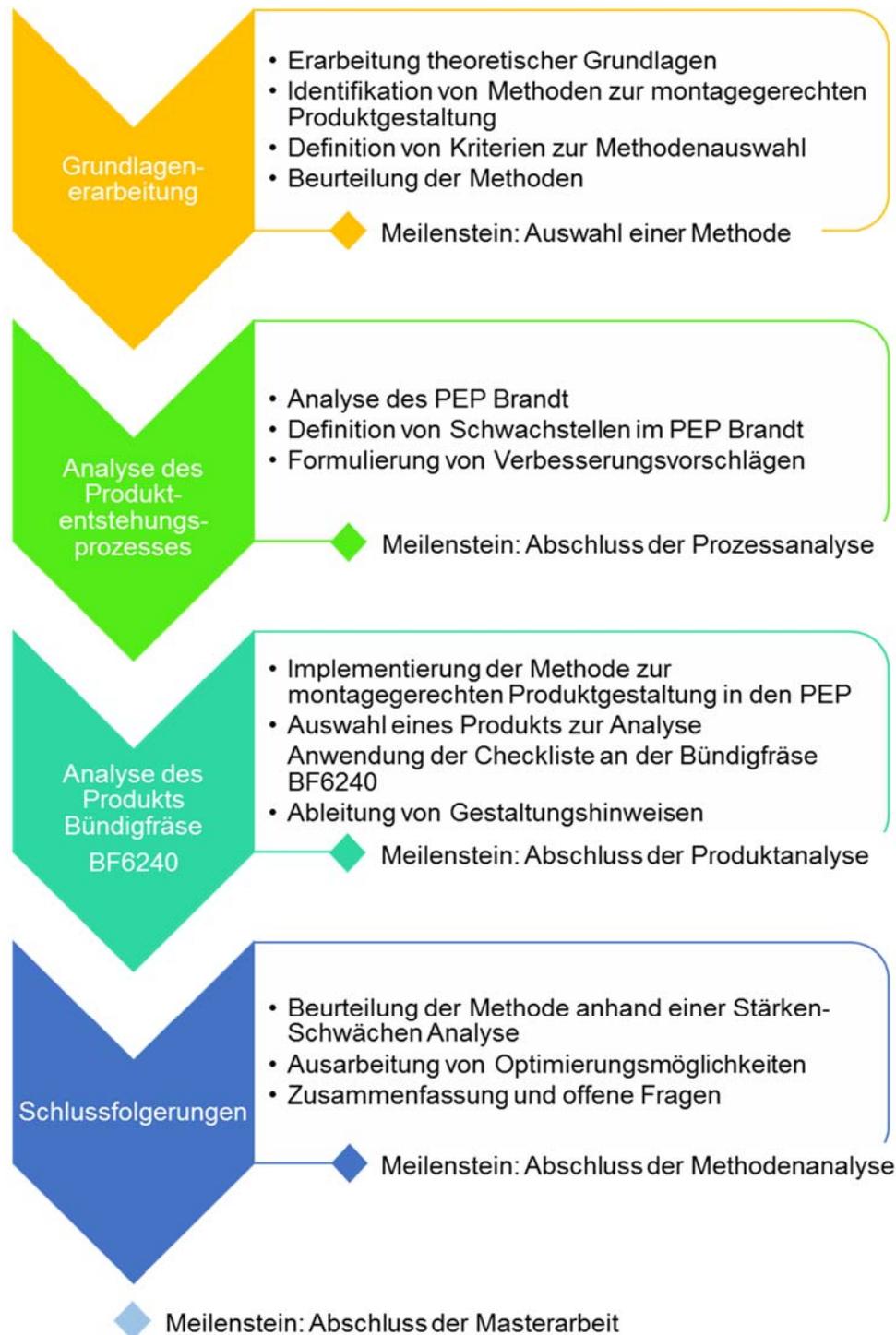
Hierbei werden bestimmte Gestaltungsrichtlinien bereits bei der Konstruktion befolgt, die eine spätere Montage vereinfachen. In der Literatur werden mehrere Gestaltungsregeln empfohlen wie eine Verringerung der Teilezahl, eine einfache Bauteilgestaltung, die Ermöglichung beliebiger Montagereihenfolgen, eine Baukastenweise oder den Einsatz effizienter Verbindungstechnik beispielsweise durch einen Verzicht auf Schrauben (Lotter & Wiendahl, 2006, S. 38; Klein, 2010, S. 145). Mehrere Methoden wurden auf Grundlage dieser Gestaltungsregeln entwickelt, die der Konstruktion Werkzeuge anbieten, um frühzeitig in der Produktentstehung Produkte auf montagegerechte Gestaltung zu überprüfen.

Zu den wichtigsten Methoden in diesem Bereich zählen MTM ProKon, Product Design for Assembly (PDA) und die REFA Methode „PEP und montagegerechte Produktgestaltung“. MTM ProKon untersucht einzelne Bauteile auf Montageerschwerisse und ermöglicht dadurch schnelle Rückschlüsse auf konstruktive Handlungsfelder (Deutsche MTM Vereinigung, A/AJ, S. 23). PDA verfolgt konsequent die Strategie, verzichtbare Teile zu eliminieren und stellt durch einen Vorklärungs- und Leitfragendialog die Notwendigkeit von Bauteilen in Frage (Klein, 2010, S. 40). Die REFA Methode kombiniert beide Verfahren, integriert jedoch den gesamten PEP und bietet Checklisten an, mit denen der PEP und Bauteile jeweils analysiert werden können (REFA, 2015, p. 8). Diese drei Methoden wurden im Laufe der Masterarbeit zentral betrachtet.

## 3. Lösungsansatz

Wie in der folgenden Abbildung 2 dargestellt, wurden nach einer Erarbeitung theoretischer Grundlagen zu den Themen Produktentstehung und montagegerechter Produktgestaltung

verschiedene Methoden vorgestellt. Anhand einer Nutzwertanalyse wurde die Geeignetste ausgewählt. Diese wurde auf den Anwendungsfall der Brandt Kantentechnik GmbH angewendet und es wurden zum einen Rückschlüsse auf den Produktentstehungsprozess auf das Produkt sowie auf die Methode gezogen.

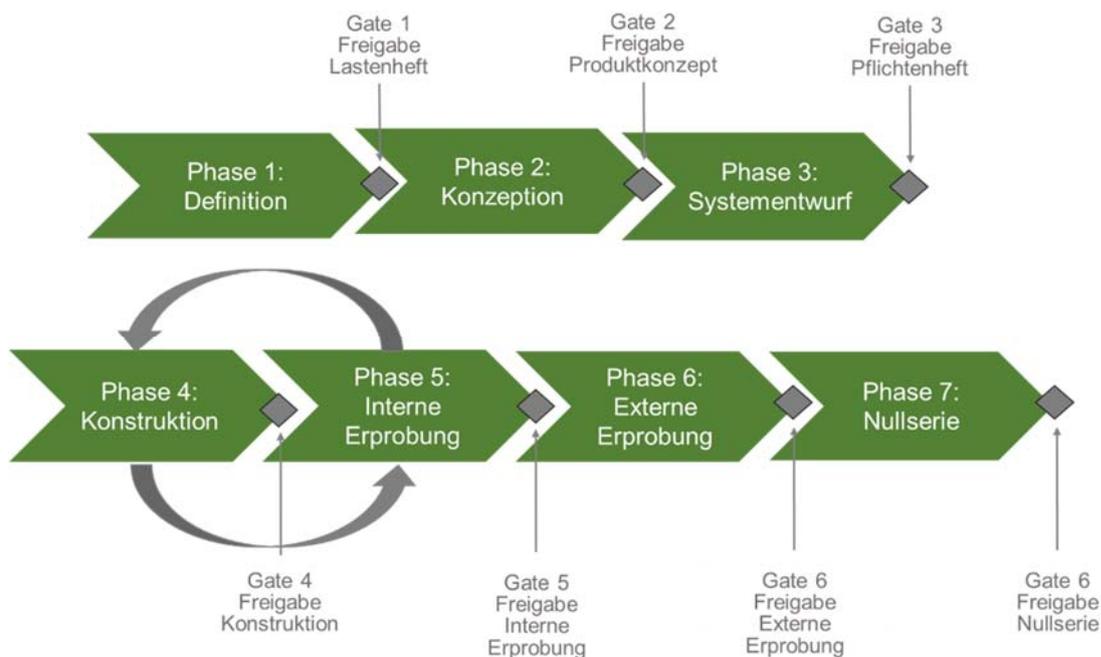


**Abbildung 2:** Vorgehen in der Masterarbeit (eigene Darstellung)

Die drei Methoden Product Design for Assembly (PDA), MTM ProKon und REFA „PEP und montagegerechte Produktgestaltung“ wurden miteinander verglichen und in einer Nutzwertanalyse einander gegenübergestellt. Keine dieser drei Methoden wurde bisher

bei der Brandt Kantentechnik GmbH eingesetzt. Die ausgesuchte Methode sollte möglichst einfach, eindeutig, vollständig, handhabbar, ressourceneffizient und gut dokumentierbar sein. Außerdem sollte sie auf konstruktive oder prozessuale Schwachstellen hinweisen können, quantifizierbare Ergebnisse liefern und sich gut in bestehende Prozesse einbetten lassen. Die Kriterien wurden von dem Industrial Engineering der Brandt Kantentechnik GmbH gewichtet und die Methoden von Mitarbeitern der Hochschule bewertet. Die REFA Methode setzte sich im Vergleich durch die Nutzwertanalyse mit 7,21 Punkten gegenüber MTM ProKon (7,17 Punkte) und PDA (5,78 Punkte) durch und wurde im weiteren Verlauf der Arbeit angewendet.

Für die Anwendung der Methode wurden zur Vorbereitung Informationen zum Produktentstehungsprozess und zum Produkt eingeholt. Der PEP bei der Brandt Kantentechnik GmbH war bereits gut dokumentiert und bot eine stabile Grundlage für die Anwendung der REFA Methode. Der PEP besteht aus den sieben Phasen Definition, Konzeption, Systementwurf, Konstruktion, interne Erprobung, externe Erprobung und Nullserie. Wie in Abbildung 3 dargestellt schließt jede Phase mit einem Meilenstein –„Gate“ – ab.



**Abbildung 3:** PEP bei Brandt im Überblick (HOMAG Group, 2015, p. 11, modifiziert)

Die Unterlagen zum Produkt waren jedoch noch nicht so vollständig. So wurde zur Vorbereitung der Produktanalyse der Montageablauf dokumentiert und die Stücklisten analysiert. Die am häufigsten verbaute Variante wurde hierzu ausgewählt und der Montageablauf anhand einer Videoaufnahme und Vorranggraphen erfasst. Hierdurch wurde eine gute Grundlage geschaffen, um die REFA Methode in allen Bereichen einmal anzuwenden und sich ein umfassendes Bild über die Möglichkeiten der Methode zu verschaffen.

## 4. Ergebnisse und kritische Würdigung

Die REFA Methode bietet Checklisten an, mit denen sowohl ein PEP als auch ein Produkt hinsichtlich montagegerechter Produktgestaltung analysiert werden können. Diese Checklisten wurden sukzessive mit den PEP Phasen der Brandt Kantentechnik GmbH abgeglichen und die entsprechenden Phasen, Aufgaben und Lieferobjekte hieraus in die Spalte Bezeichnung/ Erläuterung eingetragen.

In einem ersten Schritt wurden in dem Anwendungsfall der Brandt Kantentechnik GmbH die Verantwortlichkeiten und Ziele analysiert, die grundlegend für einen erfolgreichen PEP sind. Die HOMAG Group verfährt hier nach dem RACI Prinzip, welches vier Stufen der Einbindung von Personen in einen Prozess bestimmt (Viswanathan, 2016). Die bei REFA analysierte Funktion des Industrial Engineering ließ Optimierungspotenzial bei den Verantwortlichkeiten des Industrial Engineers feststellen, das in den einzelnen PEP Phasen umgesetzt werden kann.

Eine Zielabfrage zu Beginn der Analyse soll Zielkonflikte klären und feste Ziele für den PEP definieren. Die Zielabfrage bei der Brandt Kantentechnik GmbH ergab einen Schwerpunkt von Zielsetzungen zur Verringerung der Material- und Produktentwicklungskosten. Diese formulierten Ziele könnten auch Eingang in das Lastenheft zur Definition der Produkteigenschaften finden.

Nach der Analyse dieser beiden Punkte wurden die einzelnen in Abbildung 3 aufgezeigten Phasen des PEP mit den REFA PEP Phasen (Produktfindung, Produktplanung, Produktkonzeption, Produktentwicklung/ Konstruktion, Prozess-/Produktionsplanung, Vorserie, Serie, Vertrieb, Service und Recycling/ Entsorgung) abgeglichen und schrittweise analysiert. Hierbei ergaben sich einige Optimierungsvorschläge aus dem REFA Analyseverfahren.

Bei der Produktfindung könnte eine fundierte Entscheidungsgrundlage durch die stärkere Umsetzung von Marktforschung geschaffen werden. In der Phase der Produktplanung wurde die Empfehlung gegeben, eine Machbarkeitsstudie einzubetten um frühzeitig das Produkt beurteilen zu können. Die Produktkonzeption zeigte wenige Lücken, könnte jedoch die Wirtschaftlichkeitsanalyse des geplanten Produkts vertiefen. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch die Analyse der darauf folgenden Produktentwicklungsphase. Hier sollte zusätzlich ein fester Meilenstein zur Designfreigabe eingeführt werden, der eine gute Übergabe des finalen Designstands an die Konstruktion sicherstellt. Dabei könnte die Rolle des Industrial Engineering gestärkt werden. Das Industrial Engineering sollte nach RACI zu bestimmten Punkten konsultiert anstatt nur informiert werden.

Die Phasenanalyse der Produkterprobung, Prozessplanung und Produktionsplanung zeigte an einigen Stellen Handlungsempfehlungen auf. Exemplarisch zeigt sich in Abbildung 4, wie diese drei Phasen mit Hilfe der REFA Checkliste auf Vollständigkeit untersucht wurden.

		Checkliste „Phasen und Meilensteine (5)“	
PEP-Phasen und Meilensteine (Literatur)		Unternehmen: <u>Brandt Kantentechnik GmbH</u> Projekt: _____	
<b>Produkerprobung</b>		Bezeichnung	
✓		Bezeichnung/Erläuterung	
▪ Prototypen erstellen und testen	■	Phase 4 – 22 & 23, Phase 5, Phase 6	
<b>Prozessplanung</b>		Bezeichnung	
✓		Bezeichnung/Erläuterung	
▪ Produktionsverfahren, -prozesse, -abläufe planen	■	Phase 4 Konstruktion - 24	
▪ Logistikprozesse planen	■	Phase 4 Konstruktion - 24	
▪ Qualitätssicherungsprozesse planen	■	Phase 4 Konstruktion - 21	
▪ Lieferanten auswählen/Kaufteilbeschaffung	■	Phase 4 Konstruktion - 21	
<b>Produktionsplanung</b>		Bezeichnung	
✓		Bezeichnung/Erläuterung	
▪ Betriebsmittel/Arbeitssysteme planen, beschaffen und in Betrieb nehmen	■	Phase 4 Konstruktion - 24	
▪ Layout erstellen	■	Nicht für Produktions- und Montageaufbau	
▪ Qualifizierung planen und umsetzen	■	Phase 5 Interne Erprobung - 28	
▪ Notfallkonzept erstellen	■	Phase 4 Konstruktion - 22	
↓ Freigabe Beschaffung der Produktionsressourcen	↓	Lieferobjekt Phase 6: Externe Erprobung	

Produkerprobung

Prozessplanung

Produktionsplanung

Nicht/kaum realisiert

Zum Teil realisiert

Nahezu realisiert

**Abbildung 4:** Checkliste „Phasen und Meilensteine (5)“ Produkterprobung, Prozessplanung, Produktionsplanung (REFA, 2015, p. 31)

In der Phase der Prozess- und Produktionsplanung wurden ebenfalls einige Lücken sichtbar. Vorlagen für die Konstruktion wie z.B. Montageablaufpläne oder Abfragen zu Montageerschwerpunkten sowie Vorlagen für das Qualitätsmanagement sollten hier aufgesetzt und stärker genutzt werden.

Die Konstruktionsphase sollte mit der Abnahme des Prototyps abschließen und die Rolle des Industrial Engineerings in dieser Phase ebenfalls stärker eingebunden werden. Bestimmte Lieferobjekte wie z.B. die vorläufigen Konstruktionsunterlagen bedürfen einer stärkeren Einbindung des Industrial Engineerings nach RACI. In dieser Phase soll zukünftig auch die REFA Checkliste „Gestaltungsrichtlinien zur Montagegerechten Produktgestaltung“ verankert werden, die bei Produktentwicklung Aspekte der montagegerechten Produktgestaltung frühzeitig einfließen lässt.

Als nächste Phase bei REFA wurden die Vorserie und Serie analysiert, in denen auffiel, dass bei der Brandt Kantentechnik GmbH mitlaufende Kalkulationen, KVP Aspekte und die Messung der Zielproduktivität nicht innerhalb der Phase sondern mitlaufend organisiert sind.

Die letzte Phase bei REFA ist die des Vertriebs, Service und Recyclings. Diese Phasen liegen außerhalb des PEP bei der Brandt Kantentechnik GmbH, wobei in der Produktentstehung das Thema Recycling überhaupt nicht in das Produktkonzept einfließt. Hier liegt ebenfalls Optimierungsbedarf im Unternehmen hinsichtlich des ökologischen Fußabdrucks.

Nach der Analyse der PEP-Phasen wurde die Bündigfräse BF6240 mit Hilfe der Checkliste „Gestaltungsrichtlinien zur Montagegerechten Produktgestaltung“ untersucht. Hierzu wurden die einzelnen Bauteile in die Checkliste übertragen und nach der Klärung der Verzichtbarkeit das Bauteil auf Montageerschwernisse untersucht. Von den 14 Baugruppen des Aggregats wurden 7 Baugruppen durch drei studentische Anwender analysiert und 3 Baugruppen im Rahmen der Masterarbeit wie hier folgt beschrieben.

Baugruppe 1 – wie in Abbildung 5 links dargestellt – zeigt neun Teile auf, die verzichtbar sind. Dies sind vor allem Befestigungselemente – wie Schrauben und Muttern, die zusammengeführt werden könnten. Die Unterlegscheibe und die Hülse könnten beispielsweise in den Anschlag integriert werden, die Sechskantmutter könnte in den Gewindestift integriert werden. Aufgrund der vielen Montagestufen von sechs wäre ein Gestaltungshinweis, die Konstruktion von einer Schichtbauweise auf eine Nestbauweise umzugestalten (REFA, 2015, p. 2). An einigen Fügstellen ergeben sich schwierige Befestigungsprozesse, bei denen Werkzeug erforderlich ist und hohe Fügetiefen vorhanden sind. Auch hier kann durch die Nestbauweise und Integration von Bauteilen eine Verringerung der Fügetiefen und Montagestufen erreicht werden. Anstelle von Befestigungselementen, die die Anwendung von Werkzeug voraussetzen, könnten Verbindungstechniken wie Clipsen oder Einrasten genutzt werden (REFA, 2015, p. 8). Die bisherigen Schraubverbindungen erhöhen den Montageaufwand unnötig.



**Abbildung 5:** Baugruppe 1 (links) und Baugruppe 3 (rechts), Bilder aus Video

Baugruppe 3 - in Abbildung 5 rechts dargestellt - kennzeichnet sich durch sieben verzichtbare Befestigungselemente – Schraubverbindungen und Verbindungselemente wie Rohre. Das Montagebasisteil ist sehr schwer und unhandlich. Hier könnte eine Änderung des Materials in Betracht gezogen werden, das leichter ist und eine ähnliche Stabilität aufweist (REFA, 2015, p. 3). Die Montage des Schlittens weist aufgrund seines Gewichts, Ausricht- und Prüfvorgängen und den zusätzlichen Befestigungsprozessen einen hohen Aufwand auf. Zentrierhilfen, Fasen an dem Schlitten, eine Änderung des Befestigungsprozesses und Vorrichtungen zur Unterstützung der Ausrichtung würden den Montagevorgang erleichtern (REFA, 2015, p. 9). Auch bei der Baugruppe 3 sollten aufgrund der vielen Befestigungsvorgänge Teile integriert werden, um den Montageaufwand zu verringern. Federn könnten beispielsweise bereits direkt in die Öffnungen des Schlittens integriert werden. Beengte Räume bei der Montage insbesondere mit Werkzeug, wie bei der Montage des Distanzzylinders und der Ausgleichkupplung, sollten durch konstruktive Änderungen – beispielsweise einer Integration des Distanzzylinders in den Schlitten – vermieden werden (REFA, 2015, p. 5). Die Kombination aus dem Flansch, der Feder und der Schraube ist

sehr unhandlich und könnte durch eine Integration von Flansch und Feder in der Handhabbarkeit optimiert werden.

Baugruppe A weist sechs Teile auf, auf die verzichtet werden könnte – vorwiegend Befestigungselemente. Die Baugruppe muss häufiger gedreht werden, bzw. sie weist viele unterschiedliche Fügerichtungen auf. Dies sollte generell konstruktiv überdacht werden, da es zusätzlichen Montageaufwand verursacht. Ideal wäre eine Lösung mit nur möglichst wenigen Fügerichtungen (REFA, 2015, p. 2). Zumindest sollte die Montagereihenfolge so gestaltet sein, dass die Montage von einer Seite des Bauteils komplett abgeschlossen ist, bevor eine Drehung des Bauteils nötig wird. Der Abstreifer kennzeichnet sich zum einen dadurch, dass er und die dazugehörigen Befestigungselemente sehr schwer zu greifen sind, zum anderen durch verzichtbare Befestigungselemente. Hier könnte eine konstruktive Änderung des Abstreifers hin zu einer Integralfeder.

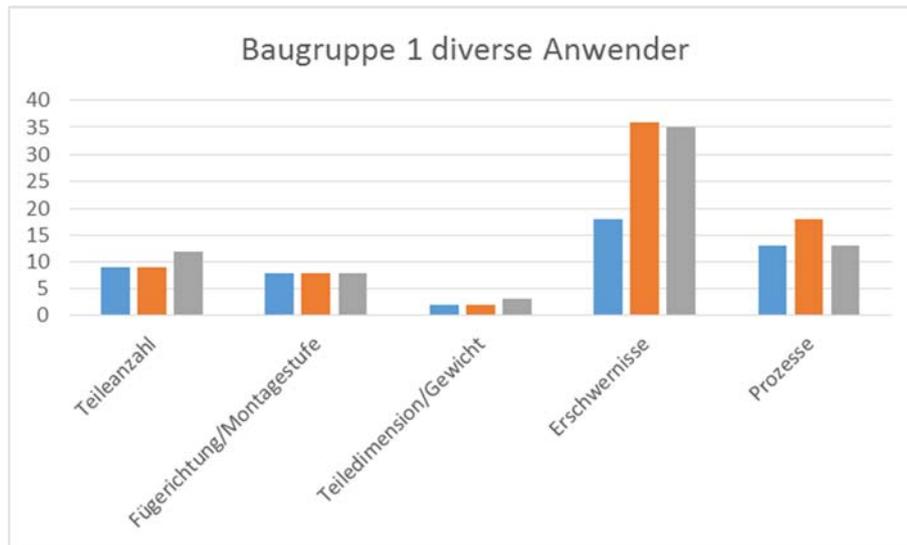
Die Fügeverfahren der Baugruppe A sind durch einige Erschwernisse gekennzeichnet, wie z.B. häufiger Werkzeugeinsatz, Ausrichtvorgänge oder instabile Lagen, die ein Festhalten des Bauteils nach dem Fügen nötig machen, wie bei dem Montieren einer Platte. Sicherungselemente könnten das Bauteil stabiler verankern und die Montage somit erleichtern (REFA, 2015, p. 7). Die Platte könnte symmetrisch gestaltet und mit Zentrierhilfen versehen werden.

Nach der Anwendung der REFA Methode im PEP und an der Bündigfräse der Brandt Kantentechnik GmbH konnte die Methode selber in einer Stärken-Schwächen Analyse zusammenfassend beurteilt werden. Wie im vorherigen Abschnitt sichtbar wurde, können durch praktikable Checklisten und den Einsatz des Ampelsystems Potenziale gut ausgearbeitet und visualisiert werden. Die Methode nutzt Theorien verschiedener Methoden und ist daher wissenschaftlich fundiert. Viele in der Theorie bekannten Richtlinien zur montagegerechten Produktgestaltung, wie die Teilevereinheitlichung, Erleichterung der Handhabung etc. werden in der REFA Methode aufgegriffen und gezielt als Gestaltungsrichtlinien empfohlen. Die Schwachstelle von Bauteilen oder Baugruppen kann sehr gut ausgemacht werden; Handlungsempfehlungen geben dem Konstrukteur gute und konkrete Gestaltungshinweise für eine Optimierung.

Allerdings fehlt für die Nutzung der REFA Methode ein Vorgehensmodell wie bei MTM ProKon oder PDA vorhanden ist und erschwert ungeübten Anwendern so den Einstieg in die Methode. Die anfangs definierten Ziele werden außerdem nachher nicht mehr aufgegriffen und beispielsweise im Controlling konsequent verfolgt. Das Ziel der Variabilität und Flexibilität wird beispielsweise später in den PEP Phasen nicht weiter untersucht. Dabei ist das Thema Variantenvielfalt insbesondere aufgrund der industriellen Ausrichtung hin zu kundenindividueller Produktion ein wichtiger Aspekt. Für den Anwendungsfall der Bündigfräse hat die REFA Methode keine Empfehlungen gegeben, wie die interne Variantenvielfalt verringert werden kann. Die REFA Methode betrachtet auch nicht die Verwaltung der entstehenden Produktdaten, die gerade bei interner Variantenvielfalt eine große Herausforderung im PEP darstellen.

Bei der Reihenfolge der PEP-Phasen können Missverständnisse entstehen, da die Konstruktionsphase in der Industrie häufig früher erfolgt und nicht erst nach der Produktionsplanung. In der Anwendung der Methode zeigten sich darüber hinaus bei der Übertragung von Inhalten auf den jeweiligen Anwendungsfall Unterschiede bei den Ergebnissen. Die

REFA Methode lässt also zum Teil Interpretationsspielraum bei der Anwendung durch unterschiedliche Anwender. Dies verdeutlicht auch Abbildung 7, die die Ergebnisse verschiedener Anwender gegenüberstellt.



**Abbildung 7:** Anwendung der Checkliste durch unterschiedliche Anwender (eigene Darstellung)

Diese dargestellten Lücken könnten in der Weiterentwicklung der REFA Methode adressiert werden und Berücksichtigung finden.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der Masterarbeit war es, das Unternehmen Brandt Kantentechnik GmbH methodisch bei der Umsetzung montagegerechter Produktgestaltung in den Produktentstehungsprozess zu unterstützen. Die Anwendung sollte am bestehenden PEP und exemplarisch an einem wichtigen Produkt durchgeführt werden.

Nach Analyse verschiedener Verfahren wurde die REFA Methode „PEP und montagegerechte Produktgestaltung“ ausgewählt. Die REFA Methode bildet nicht nur eine Produktanalyse ab, sondern betrachtet den gesamten Produktentstehungsprozess und ist daher umfassender und vollständiger als bisherige Methoden.

Die Analyse des PEP wies auf einige Lücken hin, die die Einführung von zusätzlichen Meilensteinen wie einer Designfreigabe, die Stärkung der Verantwortlichkeiten des Industrial Engineers in der Konstruktions- und Produktentwicklungsphase und die Nutzung zusätzlicher Dokumente wie einer Machbarkeitsstudie oder eines Montageablaufplans betreffen. Durch die Umsetzung dieser Handlungsempfehlungen kann die Brandt Kantentechnik GmbH ihren PEP stärker auf die Anforderungen der Montage ausrichten.

Die Produktanalyse der Bündigfräse BF6240 stellte mehrere verzichtbare Teile heraus und führte zu konstruktiven Gestaltungsempfehlungen der Bündigfräse mit bis zu 40% Einsparpotenzial. Die Analyse der Bündigfräse wurde im Rahmen der Masterarbeit jedoch noch

nicht abgeschlossen. Es müssen die noch verbleibenden 7 Bauteile untersucht werden, um ein vollständiges Bild über die möglichen konstruktiven Änderungen zu gewinnen.

Zusammenfassend kann die REFA Methode als eine sehr gut handhabbare und ressourceneffiziente Methode zur Analyse von Produktentstehungsprozessen und Produkten eingeordnet werden. Nach kurzer Einarbeitung war es unterschiedlichen Anwendern möglich, den Produktentstehungsprozess sowie das Produkt auf Lücken bzw. Montageerschwer-nisse zu untersuchen und gute Hinweise zur Optimierung auszuarbeiten. Die Stärken-Schwächen Analyse zeigte viele Vorteile der REFA Methode auf, bildet aber gleichermaßen noch einige Lücken ab. Die Methode kann weiterentwickelt werden, indem das Controlling mit den Zielen stärker gekoppelt wird – beispielsweise durch die Einbettung einer Capability Scorecard. Außerdem könnte ein gutes Produktdatenmanagementsystem die REFA Methode unterstützen und sie zudem digitalisiert abbilden. Durch ein Vorgehensmodell für die Anwendung könnte der Anwender bei der erstmaligen Nutzung der REFA Methode besser unterstützt werden. Bei den Checklisten können einige Änderungen, zusätzliche Erläuterungen etc. die Handhabbarkeit und Verständlichkeit verbessern.

Offen bleiben Fragen, inwiefern sich die REFA Methode in Fällen anwenden lässt, in denen noch kein Prozess definiert oder ein Produkt vorhanden ist - also bei Neuentwicklungen oder Prozessgestaltungen. Auch die Anwendung in anderen Branchen außerhalb des Maschinenbaus könnte zu neuen Fragestellungen führen. In weiterführenden Arbeiten könnten hierzu zukünftig Erkenntnisse gewonnen werden.

## Literaturverzeichnis

- Boothroyd, G. (3. 11 1987). Design for Assembly - The Key to Design for Manufacture. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, S. 3-11.
- Deutsche MTM Vereinigung. (A/AJ). Lehrunterlagen MTM ProKon. MTM Institut.
- Ellermeier, R. (02 2016). Brandt Kantentechnik.
- Feldhusen, J., & Gebhardt, B. (2008). *Product Lifecycle Management für die Praxis*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- Klein, B. (2010). *Kostenoptimiertes Produkt- und Prozessdesign*. München: Carl Hanser Verlag München Wien.
- Konold, P., & Reger, H. (2003). *Praxis der Montagetechnik* (2. Ausg.). Wiesbaden: Springer.
- Lotter, B., & Wiendahl, H.-P. (2006). *Montage in der industriellen Produktion*. Heidelberg: Springer.
- REFA. (2015). Lehrunterlagen: Checkliste und Vordrucke zur Analyse montagegerechter Produktgestaltung. REFA Bundesverband e.V.
- REFA. (2015). Lehrunterlagen: Montagegerechte Produktgestaltung im Produktentstehungsprozess. REFA Bundesverband e.V.
- Viswanathan, B. (2016). *Understanding Responsibility Assignment Matrix*. Abgerufen am 25. 03. 2016 von <http://project-management.com/understanding-responsibility-assignment-matrix-raci-matrix/>