

Bauernhansl, Thomas; Schneider, Marco; Schleinkofer, Uwe; Mößner, Philipp Georg; Busch, Philipp

Working Paper

Modularisierungsstrategien im Maschinenbau: Anwendung und Effekte auf Beschäftigungsgruppen, Wettbewerbsfähigkeit und Unternehmensresilienz

Working Paper Forschungsförderung, No. 322

Provided in Cooperation with:

The Hans Böckler Foundation

Suggested Citation: Bauernhansl, Thomas; Schneider, Marco; Schleinkofer, Uwe; Mößner, Philipp Georg; Busch, Philipp (2024) : Modularisierungsstrategien im Maschinenbau: Anwendung und Effekte auf Beschäftigungsgruppen, Wettbewerbsfähigkeit und Unternehmensresilienz, Working Paper Forschungsförderung, No. 322, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/290385>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>

WORKING PAPER FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Nummer 322, April 2024

Modularisierungsstrategien im Maschinenbau

**Anwendung und Effekte auf Beschäftigungsgruppen,
Wettbewerbsfähigkeit und Unternehmensresilienz**

Thomas Bauernhansl, Marco Schneider, Uwe Schleinkofer,
Philipp Mößner und Philipp Busch

Auf einen Blick

Deutsche Maschinen- und Anlagenbauer nehmen seit Jahrzehnten eine weltweit führende Rolle ein. Durch unzuverlässigere Lieferketten und zunehmenden Kosten- und Wettbewerbsdruck ist eine Steigerung ihrer Resilienz notwendig geworden. Einen Ansatz hierfür können Modularisierungsstrategien bieten. Die vorliegende Studie zeigt, inwiefern in kleinen, mittleren und großen Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus Modularisierungsstrategien angewendet werden und welche positiven und negativen Aspekte aus organisationaler und arbeitspolitischer Sicht vorliegen.

© 2024 by Hans-Böckler-Stiftung
Georg-Glock-Straße 18, 40474 Düsseldorf
www.boeckler.de



„Modularisierungsstrategien im Maschinenbau“ von Thomas Bauernhansl, Marco Schneider, Uwe Schleinkofer, Philipp Mößner und Philipp Busch ist lizenziert unter

Creative Commons Attribution 4.0 (BY).

Diese Lizenz erlaubt unter Voraussetzung der Namensnennung des Urhebers die Bearbeitung, Vervielfältigung und Verbreitung des Materials in jedem Format oder Medium für beliebige Zwecke, auch kommerziell. (Lizenztext: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/de/legalcode>)

Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. von Schaubildern, Abbildungen, Fotos und Textauszügen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

ISSN 2509-2359

Inhalt

Executive Summary	5
1. Einleitung	8
2. Zielsetzung und Studiendesign.....	11
2.1 Ziel der Studie und Forschungsfragen	11
2.2 Studiendesign und zeitlicher Ablauf	12
2.3 Untersuchungsfeld	14
3. Stand der Forschung und Definitionen	17
3.1 Modulare Produktstrukturstrategien	17
3.2 Abstufung eines Marktes in Marktschichten	20
3.3 Modularisierung in Bezug zu Beschäftigung und Resilienz	22
4. Fallübergreifende Ergebnisanalyse	25
4.1 Positionierung in Marktschichten.....	25
4.2 Praktizierte Modularisierungsstrategien	30
4.3 Modularisierung zur Positionierung in Marktschichten.....	42
4.4 Auswirkungen von Modularisierungsstrategien	48
5. Zusammenfassung und Fazit	56
6. Literatur.....	59
7 Anhang.....	63
7.1 Inhalte des Experteninterviews	63
7.2 Klassifikation der befragten Unternehmen	66
7.3 Kennzahlen zur Messung der Modularität.....	67

Abbildungen

Abbildung 1: Mögliche Wettbewerbssituation in Marktschichten.....	9
Abbildung 2: Position der befragten Mitarbeitenden	15
Abbildung 3: Position in der Zulieferpyramide.....	16
Abbildung 4: Beispielhafte Hierarchieebenen eines Produktportfolios ..	17
Abbildung 5: Beispiele modularer Produktstrukturstrategien.....	18
Abbildung 6: Unterschiede bei Marktschichten	21
Abbildung 7: Plattformstrategien nach Meyer und Lehnerd	22
Abbildung 8: Vorgehen der Erkenntnisgewinnung	25
Abbildung 9: Position der Maschinenhersteller in Marktschichten.....	26
Abbildung 10: Überprüfung von Hypothese 1	28
Abbildung 11: Überprüfung von Hypothese 2	29
Abbildung 12: Überprüfung von Hypothese 3-1	32
Abbildung 13: Überprüfung von Hypothese 3-2	34
Abbildung 14: Überprüfung von Hypothese 3-3	35
Abbildung 15: Überprüfung von Hypothese 3-4	36
Abbildung 16: Überprüfung von Hypothese 5	40
Abbildung 17: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen A.....	45
Abbildung 18: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen B.....	46
Abbildung 19: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen C.....	47
Abbildung 20: Darstellung der Nachfrage in Krisensituation	49
Abbildung 21: Klassifikation der befragten Unternehmen	66

Executive Summary

In der Branche des Maschinenbaus herrscht zunehmender Kosten- und Wettbewerbsdruck – auch durch neue Marktteilnehmer aus der Asien-Pazifik-Region.

Die aufstrebenden asiatisch-pazifischen Unternehmen konnten in den vergangenen Jahren durch eine stetige Verbesserung der Produktqualität und niedrigere Verkaufspreise im Vergleich zu deutschen Mitbewerbern ihre Marktanteile kontinuierlich ausbauen.

Um die Nachfrage aufrechtzuerhalten, entwickeln deutsche Maschinenhersteller häufig neue Produkte, Funktionen und Dienstleistungen. In Bereichen, in denen technologische Fortschritte bereits ausgeschöpft sind und nur noch geringfügige Unterschiede zwischen den Marktteilnehmern bestehen, kann diese Vorgehensweise jedoch dazu führen, dass die Unternehmen in eine High-End-Nische abdrängt werden.

Dabei können Modularisierungsstrategien ein Ansatz sein, sich strategisch in unterschiedlichen Marktschichten (z. B. Low-End, Mid-Range, High-End) zu positionieren. Solche Modularisierungsstrategien haben, je nach Ausprägung, eine Auswirkung auf die Resilienz des Unternehmens und einzelne Beschäftigungsgruppen.

Aus diesem Grund bestand das Ziel der Studie in der Untersuchung von industriell angewendeten Modularisierungsstrategien, der unternehmensseitigen Positionierung in Marktschichten sowie den Wechselwirkungen zwischen der Modularisierung und der Beschäftigung sowie der Resilienz der Unternehmen.

Um Aussagen für einzelne Unternehmenstypen generieren zu können, werden die Maschinenhersteller hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße (z. B. kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oder Großunternehmen) und der Rolle innerhalb der Lieferkette (z. B. Original Equipment Manufacturer (OEM), Modul- oder Komponentenlieferanten) unterschieden.

Die Strukturierung der Studie basiert auf vier Forschungsfragen, auf deren Grundlage neun Hypothesen mit zu bestätigenden oder zu widerlegenden Aussagen abgeleitet wurden. Die Datenerhebung fand in Form von semistrukturierten Experteninterviews mit 30 Experten¹ aus 26 Unternehmen des deutschen Maschinenbaus statt. Die Datenauswertung erfolgte in einer fallübergreifenden Ergebnisanalyse.

Die Beantwortung jeweils einer Hypothese fand abschließend durch die Darstellung einer Proposition statt. Diese Proposition stellt einen Textabschnitt dar, der zur Bestätigung oder Wiederlegung der aufgestellten

¹ Bei der Befragung nahmen ausschließlich männliche Personen teil.

Hypothese und somit zur Zusammenfassung der Studienergebnisse dient. Im Folgenden werden die Propositionen skizziert:

Aus der ersten Proposition geht hervor, dass die Positionierung von Unternehmen in den Marktschichten nicht an der Unternehmensgröße oder der Rolle in der Lieferkette festzumachen ist. Einige Unternehmen versuchen bewusst, mehrere Marktschichten zu adressieren. Andere Unternehmen legen ihren Fokus auf eine, maximal zwei obere Marktschichten.

Die zweite Proposition zeigt, dass die befragten Unternehmen Marktteilnehmer aus der Asien-Pazifik-Region mittel- bis langfristig als ernst zu nehmende Konkurrenten wahrnehmen. Dies liegt darin begründet, dass diese Marktteilnehmer durch eine stetige Verbesserung ihres Leistungsangebots in höhere Marktschichten vordringen. Nur die Hälfte der befragten Unternehmen klassifiziert diese Marktteilnehmer allerdings als aktuell relevante Mitbewerber.

Anhand der dritten Proposition wird deutlich, dass in der Hälfte der befragten Unternehmen keine systematische Anwendung von Modularisierungsstrategien stattfindet. Im Vergleich zwischen Großunternehmen und KMU liegt tendenziell eher in Großunternehmen eine systematische Umsetzung einer Modularisierungsstrategie vor. Ein Bezug zwischen der Rolle in der Lieferkette und der Umsetzung einer Modularisierungsstrategie konnten nicht festgestellt werden.

Als Ergebnis der vierten Proposition kann festgehalten werden, dass die positiven Effekte durch die Anwendung von Modularisierungsstrategien gegenüber den negativen überwiegen. Positive Effekte sind im Wesentlichen die Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität. Als negative Effekte konnten ein Flexibilitätsverlust sowie ein erhöhter Aufwand (Pflege- und Initialaufwand) im Produktentwicklungsprozess festgestellt werden.

Die fünfte Proposition zeigt, dass eine aktive Prüfung von messbaren Kenngrößen, um Rückschlüsse auf eine erfolgreiche Modularisierungsstrategie geben zu können, nur sehr begrenzt in wenigen Unternehmen stattfindet.

Darüber hinaus zeigt die sechste Proposition, dass die Disziplinen der Mechanik, Elektrik und Software hinsichtlich der Modularisierung oftmals nicht als ein Ganzes, sondern getrennt oder gar sequenziell voneinander im Produktentwicklungsprozess behandelt werden. Eine Ausnahme bilden wenige Großunternehmen, bei denen früh im Produktentwicklungsprozess alle drei Disziplinen zusammengeführt und ganzheitlich betrachtet werden.

Aus der siebten Proposition geht hervor, dass in Unternehmen, die eine Mehrfachverwendung von Komponenten und Baugruppen berücksichtigen, diese sowohl produktfamilienübergreifend als auch innerhalb

einer Produktfamilie stattfindet. Prinzipiell werden die einzelnen Produktvarianten einer Produktfamilie entweder in einer Marktschicht oder in mehreren Marktschichten positioniert.

Die achte Proposition stellt klar, dass Modularisierungsstrategien in wirtschaftlich und politisch schwierigen Zeiten das Potenzial haben, eine Diversifizierung in der Lieferstruktur aufzubauen, mit sowohl globalen als auch lokalen Zulieferern. Im Weiteren hilft die Positionierung in mehreren Marktschichten, Nachfragerückgänge auszugleichen.

Abschließend geht aus der neunten Proposition hervor, dass aus der Anwendung einer Modularisierungsstrategie neben positiven Auswirkungen (z. B. bessere Konditionen im Einkauf, übersichtlichere Disposition und Montage) auch negative Auswirkungen auf Beschäftigungsgruppen (z. B. eingeschränkte Freiheiten der Entwicklung und des Vertriebs oder ein hoher Initialaufwand) resultieren.

1. Einleitung

Der deutsche Maschinenbau genießt weltweit einen hervorragenden Ruf für Qualität, Zuverlässigkeit und technologische Führerschaft (Kühn 2016, S. 1). Allerdings sieht sich die Branche erheblichen Veränderungen hinsichtlich der Wettbewerbssituation durch einen zunehmenden Kosten- und Wettbewerbsdruck gegenübergestellt (Brecher 2011, S. 20; Matthes 2021, S. 3).

In den vergangenen Jahren haben Unternehmen aus der Asien-Pazifik-Region aufgrund vorhandener Kostenvorteile ihr Leistungsangebot überwiegend in den unteren Marktschichten² kontinuierlich weiterentwickeln können. Bedingt durch eine stetige Verbesserung der Produktqualität sowie, im Vergleich zu deutschen Mitbewerbern, geringeren Verkaufspreisen, erzielen die aufstrebenden Mitbewerber mittlerweile eine bedeutsame Erweiterung ihrer Marktanteile.

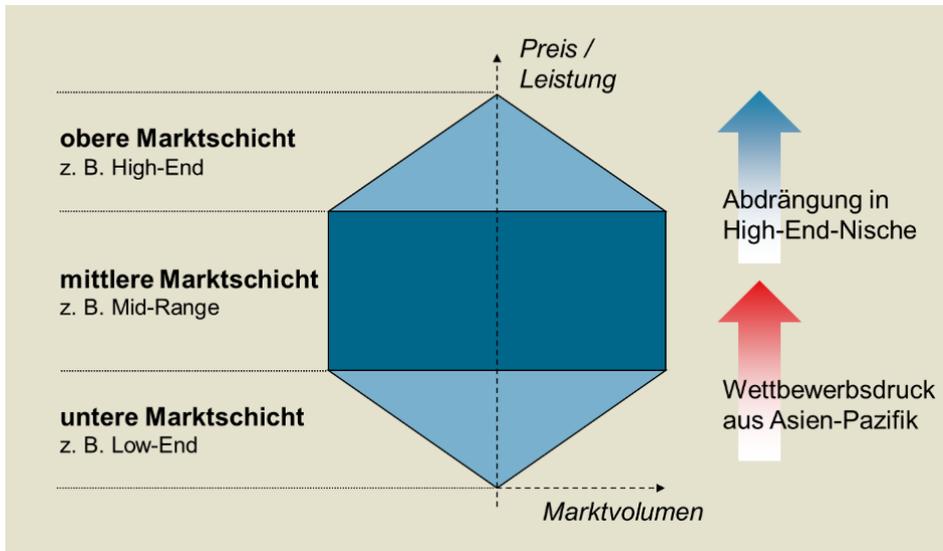
Für eine erhebliche Anzahl der Unternehmen aus dem Raum Asien-Pazifik ist es inzwischen möglich, auch anspruchsvollere und zahlungswilligere Kundengruppen zu bedienen. Dadurch konkurrieren sie direkt mit etablierten Unternehmen in den oberen Marktschichten (Frost & Sullivan 2020, S. 29).

Um aus Sicht der deutschen Maschinenhersteller die Nachfrage für die obere Marktschicht aufrechtzuerhalten, werden häufig neue Produkte, Funktionalitäten und Leistungen entwickelt. Insbesondere in Marktbereichen, in denen Technologiesprünge bereits ausgereizt sind und nur noch marginale Differenzierungsunterschiede zwischen Marktteilnehmern bestehen, kann dieses Vorgehen jedoch auch zu einer Abdrängung in eine High-End-Nische führen (Albeck 2016, S. 46–47).

In solchen Märkten wird der ausschließliche Fokus auf Spitzentechnologie womöglich in der Zukunft nicht mehr ausreichen, um die Spitzenstellung des deutschen Maschinenbaus zu erhalten (Justus 2018, S. 56). Daraus resultiert der Bedarf, Produkte an lokale Anforderungen anzupassen, um tiefere Marktschichten mit wettbewerbsfähigen Preisen zu adressieren (Bauernhansl 2014, S. 10) (vgl. Abbildung 1).

² Das Low-End, Mid-Range und High-End werden synonym auch als Marktschichten bezeichnet (Freter 2008, S. 51–52). Hierbei ist anzumerken, dass die Bezeichnungen nur Beispiele darstellen und Einordnungen in eine abweichende Anzahl an Marktschichten möglich ist.

Abbildung 1: Mögliche Wettbewerbssituation in Marktschichten



Quelle: eigene Darstellung

Zusätzlich zu den aufstrebenden Mitbewerbern aus der Asien-Pazifik-Region ist die Verbesserung der organisationalen Resilienz³ eine weitere Herausforderung, um Störungen, Veränderungen und Krisen besser zu antizipieren und um als Unternehmen widerstandsfähiger gegenüber solchen Ereignissen zu werden (Cronenberg 2020, S. 25 ff.).

Eine Option zur Erhöhung der Resilienz eines Maschinenbauunternehmens bietet die Modularisierung (Kohl et al. 2021, S. 16). Aus strategischer Sicht bietet Modularisierung hohe Potenziale, um Mitbewerbern frühzeitig in einer tieferen Marktschicht entgegenzutreten und so eine Abdrängung in eine High-End-Nische zu verhindern (Albeck 2016, S. 55–56).

Außerdem können durch Modularisierung verschiedene Marktschichten gleichermaßen adressiert werden, um z. B. rückläufige Absatzzahlen in der oberen Marktschicht zu kompensieren (Bauernhansl 2012, S. 77). In Krisen ergibt sich die Möglichkeit, durch Modularisierung Risiken auf der Nachfrageseite zu minimieren. Die Positionierung in mehreren Marktschichten kann dieses Vorgehen unterstützen (Brecher 2011, S. 24–25).

Aus finanzieller Sicht kann die Modularisierung einen Beitrag zur Reduzierung von Entwicklungs-, Produktions- und Durchlaufzeiten leisten

³ Die organisationale Resilienz kann dazu dienen, [...] katastrophenbedingte, strategische und finanzielle Vulnerabilitäten zu absorbieren und zeitnah die Leistungsfähigkeit zukunftsgerichtet wiederherzustellen (Cronenberg 2020, S. 25 ff.).

(Fuchs/Golenhofen 2019, S. 199; Greve/Krause 2019, S. 734). Folglich gilt die Modularisierung als ein wesentlicher Ansatz für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen (Dispan 2016, S. 28–32).

2. Zielsetzung und Studiendesign

2.1 Ziel der Studie und Forschungsfragen

Das Ziel dieser Studie ist es, den Einsatz von Modularisierungsstrategien im Maschinenbau empirisch zu untersuchen. Dabei sollen Erkenntnisse hinsichtlich der Adressierung von Marktschichten im globalen Wettbewerbsumfeld und dem Beitrag von Modularisierungsstrategien zu organisationaler Resilienz und Beschäftigungseffekten gewonnen werden. Aus den Erkenntnissen sind Muster und Theorien abzuleiten, mit welchen sich die angewendeten Modularisierungsstrategien und deren Auswirkungen mit Blick auf den Beitrag zur organisationalen Resilienz und den Einfluss auf Arbeitnehmende beschreiben lassen.

Für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in andere Branchen mit ähnlichen Voraussetzungen und Merkmalen werden die Maschinenhersteller hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße (z. B. KMU, Großunternehmen) und der Rolle innerhalb der Lieferkette (z. B. OEM, Modul-, Komponentenlieferant) klassifiziert. Um die Forschungsziele zu erreichen und zur Strukturierung der Studie dienen vier Forschungsfragen.

In Anlehnung an die dargestellte Wettbewerbssituation (vgl. Abbildung 1) ist zunächst die Position der Unternehmen innerhalb der Marktschichten zu untersuchen. Die erste Forschungsfrage lautet daher:

Forschungsfrage 1: Wie positionieren sich Unternehmen aus dem Maschinenbau innerhalb der Marktschichten?

Das Ergebnis der ersten Forschungsfrage soll eine Beschreibung der Positionierung von Unternehmen in Marktschichten unter Berücksichtigung ihrer globalen Wettbewerbssituation sein. Hierbei sind relevante Mitbewerber zu berücksichtigen und mögliche Gründe oder Hemmnisse für eine Positionierung in bestimmten Marktschichten zu untersuchen.

Unabhängig von dieser Betrachtung sind im Rahmen der zweiten Forschungsfrage Modularisierungsstrategien im Kontext vorhandener Rahmenbedingungen oder Restriktionen näher zu beleuchten. Diese können beispielsweise durch die Unternehmensgröße oder die Rolle in der Lieferkette vorliegen. Daher gilt es, die folgende weitere Forschungsfrage zu beantworten:

Forschungsfrage 2: Wie lassen sich die Strategien zur Modularisierung hinsichtlich der Betriebsklassengröße und der Rolle in der Lieferkette unterscheiden?

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage sind Strategien zur Modularisierung aus der Praxis zu erfassen und gruppiert auszuwerten. Zudem sind positive und negative Effekte der Modularisierung und Ansätze zur Erfolgsmessung zu untersuchen.

Die dritte Forschungsfrage liefert Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendung einer Modularisierungsstrategie in Bezug auf die Positionierung innerhalb verschiedener Marktschichten. Dabei sind Unterscheidungen hinsichtlich der Modulintegration von Mechanik, Elektronik und Software näher zu beleuchten. Die dritte Forschungsfrage lautet dementsprechend:

Forschungsfrage 3: Wie lässt sich die Modularisierung im Maschinenbau in Bezug auf die Positionierung innerhalb der Marktschichten erklären?

Mittels der dritten Forschungsfrage wird der Einsatz von Produktfamilien und -varianten in verschiedenen Marktschichten untersucht. Hierbei sind grundlegende Vorgehensweisen bei der Modularisierung in Bezug zur Positionierung in den Marktschichten zu erfassen.

Die abschließende vierte Fragestellung analysiert die Wechselwirkung zwischen organisationaler Resilienz, unterschiedlicher Beschäftigungsgruppen und Modularisierungsstrategien. Aus diesem Grund gilt es, folgende Frage zu beantworten:

Forschungsfrage 4: Wie lässt sich die organisationale Resilienz durch Modularisierung erhöhen und welche Auswirkungen auf die Beschäftigung ergeben sich dadurch?

Schwerpunkt dieser Betrachtung stellen die katastrophengebunden, strategischen und finanziellen Vulnerabilitäten von Unternehmen dar. Des Weiteren werden die Auswirkungen einer Modularisierungsstrategie auf die unterschiedlichen Beschäftigungsgruppen eines Unternehmens in der Branche des Maschinenbaus untersucht.

2.2 Studiendesign und zeitlicher Ablauf

Die Studie wurde über zwei Jahre bearbeitet und gliederte sich in eine Vorbereitungs-, Durchführungs- und Nachbereitungsphase. Die Erkenntnisgewinnung basiert auf semistrukturierten Experteninterviews. Als me-

thodologische Grundlage der Interviews dient die „Grounded Theory Methodology“ (GTM). Die Besonderheit einer GTM ist ihr zirkulierender Forschungsprozess zwischen Datenerhebung, Datenauswertung und Theoriebildung (Meyer/Reutterer 2009, S. 241).

Das Pendeln zwischen Empirie und Theorie folgt dem Prinzip des „theoretischen Samplings⁴“ mit dem Ziel, theoretische Aussagen abzuleiten (Meyer/Reutterer 2009, S. 241). Der Prozess des theoretischen Samplings wird mit dem Erreichen einer „theoretischen Sättigung“ beendet (Glaser/Strauss 2009, S. 9 ff.).

Die Anzahl der zu untersuchenden Fälle wird dementsprechend nicht von Beginn an festgelegt, sondern orientiert sich am jeweiligen Informationsgewinn durch die Berücksichtigung eines weiteren Experteninterviews. Die Durchführungsphase erfolgte über einen Zeitraum von 13 Monaten, beginnend im April 2022. In diesem Rahmen wurden semistrukturierte Interviews mit 30 Experten aus 26 Unternehmen der Maschinenbaubranche⁵ geführt. Bei einem semistrukturierten Experteninterview folgt der Gesprächsverlauf einem vorgegebenen Plan, indem zuvor festgelegte Teilbereiche des Untersuchungsgegenstandes in einer bestimmten Reihenfolge abgefragt werden.

Für die Experteninterviews wurden zu Beginn 18 Leitfragen identifiziert, die mit neuen Erkenntnissen aus bereits durchgeführten und ausgewerteten Interviews kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Die finalen Fragen des Experteninterviews und dessen Ablauf sind in Anhang 7.1 beschrieben. Die Durchführung sämtlicher Experteninterviews erfolgte mittels Videokonferenz und wurde nach Einwilligung der Gesprächspartner aufgezeichnet. Die schriftliche Visualisierung der gestellten Frage während des Gesprächs hatte zum Ziel, einer (akustischen) Fehlinterpretationen vorzubeugen. Der Zeitrahmen für die Durchführung der Interviews betrug 60 bis 90 Minuten.

Die Datenauswertung erfolgte in Form einer Transkription der aufgezeichneten Interviews sowie einer anschließenden Analyse und Interpretation dieser Transkripte. Für die Theoriebildung wurde die Qualitative Data Analysis Software MAXQDA 2022 der Firma Verbi verwendet. Die Anwendung von MAXQDA 2022 ermöglichte eine Codierung der Daten und die Herstellung von Beziehungen zwischen einzelnen Codes. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden in Form einer fallübergreifenden Ergebnisanalyse abgeleitet und für die Veröffentlichung festgehalten.

4 Beim theoretischen Sampling ist die Datenerhebung und -analyse nicht voneinander getrennt, sondern beeinflusst sich gegenseitig in einem iterativen Prozess (Glaser/Strauss 2009, S. 9 ff.).

5 Details zur Funktion und Branchenzugehörigkeit sind in Kapitel 2.3 dargestellt.

2.3 Untersuchungsfeld

Das Untersuchungsfeld der vorliegenden Studie umfasst Unternehmen des deutschen Maschinenbaus, welcher als ein zentraler Wirtschaftszweig des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland gilt (VDMA 2020, S. 17 ff.). Im Jahr 2020 erwirtschaftete der deutsche Maschinenbau mit mehr als einer Million Beschäftigten circa 204 Milliarden Euro Umsatz. Nach der Einordnung des Statistischen Bundesamtes umfasst der Maschinenbau „die Herstellung von Maschinen, die mechanisch oder durch Wärme auf Materialien einwirken oder an Materialien Vorgänge durchführen“ (GWS 2011, S. 3).

Neben einer Zuordnung zum Maschinenbau wurden für die Studie ausschließlich Unternehmen berücksichtigt, welche nach eigener Einschätzung bereits eine Strategie zur Modularisierung im Unternehmen umsetzen oder sich bereits mit der Thematik befasst haben. Die Gruppe der befragten Mitarbeitenden bestand aus erfahrenen Fach- und Führungskräften aus den Fachbereichen Anwendungstechnik, Entwicklung und Konstruktion, Produktmanagement sowie Vertrieb und Geschäftsführung.

Den größten Anteil mit 43 Prozent weisen dabei Führungskräfte aus der Entwicklung und Konstruktion auf, gefolgt vom Führungspersonal der technischen Abteilungs- oder Bereichsleitung (20 Prozent), Geschäftsführung (sieben Prozent), Vertriebsleitung (sieben Prozent) sowie der Fachkräfte aus dem Produktmanagement (13 Prozent), der Entwicklung und Konstruktion (sieben Prozent) und der Anwendungstechnik (drei Prozent) (vgl. Abbildung 2).

Da in einigen Unternehmen keine Abgrenzung zwischen Entwicklung und Konstruktion besteht, werden beide Positionen als eine Gruppe zusammengefasst.

Abbildung 2: Position der befragten Mitarbeitenden

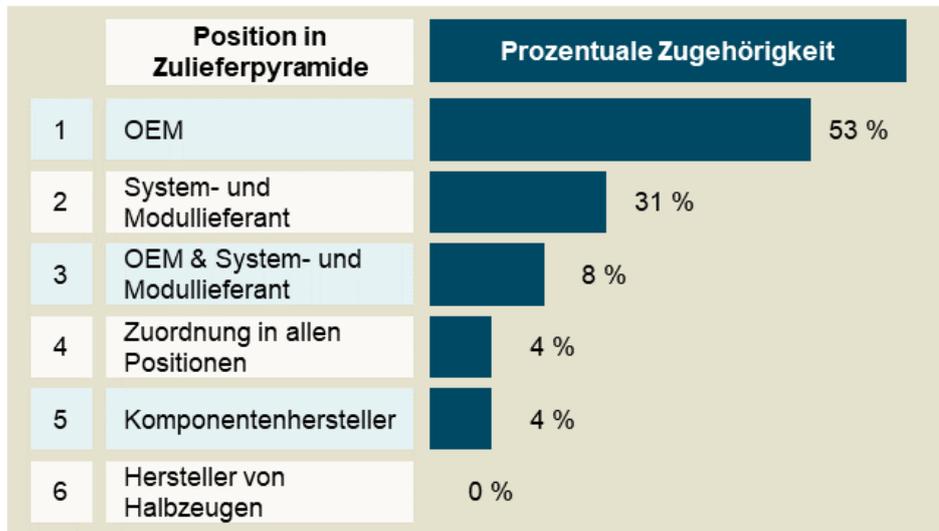


Quelle: eigene Darstellung

Ein weiteres Diversifizierungsmerkmal der befragten Unternehmen war die Zuordnung zur Zulieferpyramide. Diese teilt sich in Hersteller von Halbzeugen, Komponentenlieferant, System- & Modullieferant und OEM auf. Von den befragten Unternehmen lassen sich 53 Prozent als OEM, 31 Prozent als System- und Modullieferant, acht Prozent als eine Kombination aus OEM sowie System- und Modullieferant, vier Prozent als eine Kombination aus OEM, System- und Modullieferant und Komponentenlieferant und vier Prozent als Komponentenlieferant einordnen (vgl. Abbildung 3).

Hersteller von Halbzeugen sind in der Studie nicht repräsentiert, weil bei dieser Position eine Modularisierungsstrategie oftmals nicht von Relevanz ist.

Abbildung 3: Position in der Zulieferpyramide



Quelle: eigene Darstellung

Als Unterscheidungskriterium für die Unternehmensgröße orientierte sich die vorliegende Studie an der KMU-Definition der Europäischen Union. In Anlehnung an die Definition haben kleine Unternehmen bis zu 49 Mitarbeitende. Unternehmen mit 50 bis 249 Mitarbeitenden sind als ein mittleres Unternehmen einzuordnen. Ab 250 Mitarbeitenden wird ein Unternehmen als Großunternehmen bezeichnet (Eurostat 2023).

Prozentual teilen sich die befragten Unternehmen hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße zu 38 Prozent in mittlere Unternehmen und 62 Prozent in große Unternehmen auf. Kleine Unternehmen konnten für die Studie nicht identifiziert werden. Eine detaillierte Klassifikation der befragten Unternehmen ist in Anhang 7.2 beigefügt.

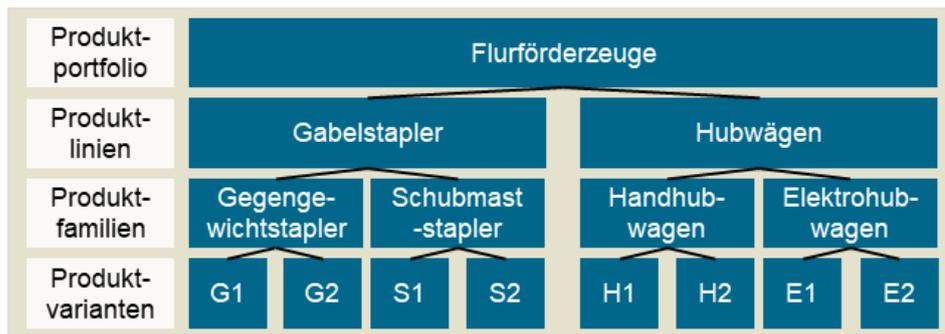
3. Stand der Forschung und Definitionen

Kapitel 3 befasst sich mit konzeptionellen Grundlagen und dem Stand der Forschung zu Modularisierungsstrategien. In Kapitel 3.1 werden relevante Begriffe zum Produktportfolio, modularen Produktstrukturstrategien und der Modularität erklärt. Ergänzend werden relevante Forschungsarbeiten vorgestellt. In Kapitel 3.2 wird der Begriff Marktschicht erläutert und in den Kontext der Modularisierung eingeordnet. Anschließend stellt Kapitel 3.3 relevante Veröffentlichungen bezüglich der Wechselwirkung von Modularisierung und Beschäftigung zusammen. Abschließend werden Ansätze zur Verbesserung der organisationalen Resilienz vorgestellt.

3.1 Modulare Produktstrukturstrategien

Bevor Begrifflichkeiten zu modularen Produktstrukturstrategien vorgestellt werden, erfolgt eine Einführung in die Hierarchieebenen eines Produktportfolios. Ein Produktportfolio beschreibt alle Leistungen (Produkte, Dienstleistungen) die ein Unternehmen zum Kauf anbietet (Meffert et al. 2019, S. 398). Das Portfolio lässt sich hierarchisch in Produktlinien, Produktfamilien und Produktvarianten unterteilen (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 4: Beispielhafte Hierarchieebenen eines Produktportfolios



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Krause/Gebhardt 2018, S. 68 ff.

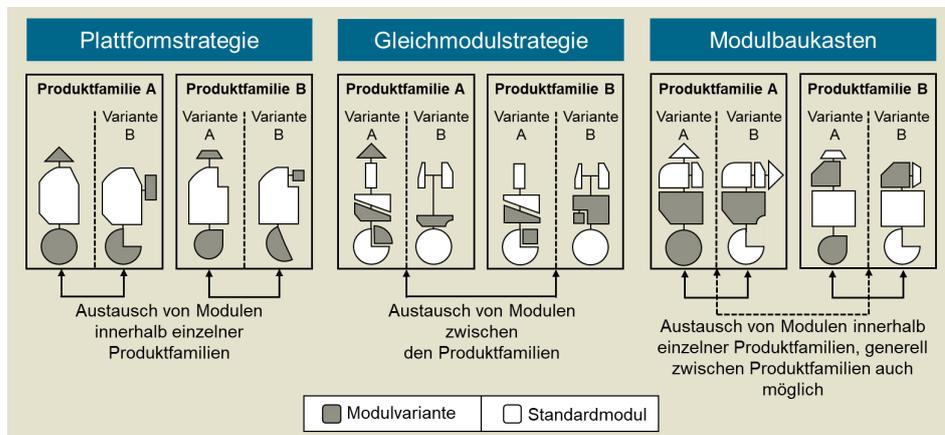
Produktlinien repräsentieren diejenigen Produkte, die durch ähnliche Anwendungsbereiche oder Funktionsprinzipien eine gemeinsame Planung

erfordern (Jonas 2013, S. 7). Produktfamilien verfügen über gleiche Funktionen und Komponenten und berücksichtigen gemeinsame Schnittstellen (Krause/Gebhardt 2018, S. 69). Produktvarianten (synonym als Produkte bezeichnet) besitzen zwar die gleiche Grundfunktionalität, unterscheiden sich jedoch in mindestens einem Element voneinander (Gebhardt/Krause/Kruse 2016, S. 121).

Produktstrukturstrategien sind mittel- bis langfristig geplante Vorgaben zur Ausführung von Produktstrukturen und dahingehend eng verknüpft mit der jeweiligen Unternehmensstrategie (Krause/Gebhardt 2018, S. 99).

Modulare Produktstrukturstrategie beschreiben in Bezug zu Produktfamilien oder Produktlinien den Austausch bzw. die Mehrfachverwendung einzelner Module (Windheim 2020, S. 33ff.). Module werden hierbei als eine Einheit von mehreren Einzelkomponenten verstanden, welche aufgrund von Ähnlichkeiten und/oder gewisser Merkmale kombiniert werden. Eine synonyme Begrifflichkeit zu modularen Produktstrukturstrategien sind Modularisierungsstrategien. Wesentliche modulare Produktstrukturstrategien sind die Plattformstrategie, die Gleichmodulstrategie, oder der Modulbaukasten (vgl. Abbildung 5).

Abbildung 5: Beispiele modularer Produktstrukturstrategien



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Krause/Gebhardt 2018, S. 127 ff.

Die genannten Typen unterscheiden sich hauptsächlich in den Ebenen, auf welchen der Austausch von Modulen stattfindet (Krause/Gebhardt 2018, S. 127 ff.).

Bei einer Plattformstrategie findet der Austausch von Modulen lediglich innerhalb von Produktfamilien, bei einer Gleichmodulstrategie zwischen Produktfamilien und bei einem Modulbaukasten zwischen sowie innerhalb von Produktfamilien statt (Krause/Gebhardt 2018, S. 127 ff.). Laut Krause/Gebhardt können Baureihen und die Standardisierung ebenfalls den modularen Produktstrukturstrategien zugeordnet werden (Krause/Gebhardt 2018, S. 127 ff.). Die Standardisierung fokussiert eine Vereinheitlichung und Variantenreduktion für Teile des Produktprogramms (Krause/Gebhardt 2018, S. 143).

Nachfolgend werden drei relevante Ansätze (Ansatz nach Barg, Jonas und Schuh) zum Themenfeld der modularen Produktstrukturstrategien vorgestellt. Im Ansatz nach Barg wird eine Methodik präsentiert, um eine kontextbezogene Gestaltung von Produktbaukästen vorzunehmen, die sich an den individuellen Gegebenheiten und Entwicklungszielen des jeweiligen Unternehmens ausrichtet (Barg 2017, S. 97 ff.). Barg stellt fest, dass es keinen „One-fits-all“-Ansatz in der Gestaltung modularer Produktstrukturstrategien gibt und daher die individuelle Ausgangsposition von Unternehmen berücksichtigt werden muss.

Anhand seines Konzepts können produzierende Unternehmen auf der Basis ihrer Kontextfaktoren und der ausgewählten Zieldimensionen den Grundtyp eines geeigneten Produktbaukastens identifizieren. Im Ansatz von Jonas wird die Visualisierung eines Produktprogramms mit anschließender Ermittlung von Übernahmekomponenten zwischen den einzelnen Produktfamilien vorgestellt.

Mithilfe eines „Carryover Assignment Plan“ (CAP) werden Übernahmekonzepte auf Komponentenbasis identifiziert und entwickelt. Durch den CAP kann grafisch mittels der Produktstruktur dargestellt werden, welche Komponenten zwischen zwei Produktfamilien z. B. übernommen werden können (Jonas 2014, S. 73 ff.). Jonas unterscheidet hierbei zwischen Basis- und Premiumgeräten.

Premiumgeräte bieten hierbei besondere Funktionen, wie z. B. erweiterte Sensorik oder digitale Schnittstellen. Mit dem „Program Structuring Model“ können sowohl die Hierarchie als auch wirtschaftlich relevante Kenngrößen des Produktprogrammes visualisiert werden. Aus dem Forschungsprojekt „GiBWert“ geht ein Ansatz zur Gestaltung eines Vorgehensmodells hervor. Er dient der systematischen Gestaltung von Produktbaukästen (Schuh 2015, S. 31 ff.). Das vierstufige Modell unterstützt beim Gesamtprozess der Baukastengestaltung und hat einen starken Fokus auf kleine und mittlere Unternehmen des Werkzeugmaschinenbaus.

Neben den modularen Produktstrukturstrategien beschreibt auch der Austausch von Modulen die Modularität. In Anlehnung an Salvador (Salvador 2007, S. 219 ff.) wird der Erfüllungsgrad dieser Eigenschaft durch

fünf Kriterien beschrieben: Die Kommunalität (I) eines Produktes beschreibt die produktübergreifende Verwendung von Komponenten oder Baugruppen (Salvador 2007, S. 219ff.). Eine Kombinierbarkeit (II) definiert eine Verwendung von Modulen, um durch ihre Zusammenführung verschiedene Produktvarianten zu erstellen. Durch die Anwendung kann mit relativ geringem Aufwand eine breite Angebotsvielfalt erzielt werden. (Krause/Gebhardt 2018, S. 140)

Eine Funktionsbindung (III) beschreibt die 1:1 oder n:1-Zuordnung zwischen Funktionen und Modulen (Jonas 2014, S. 10). Dementsprechend weist die physische Beschreibung der Produktstruktur eine hohe Ähnlichkeit zur Funktionsstruktur auf funktionaler Ebene auf (Boer 2016, S. 15).

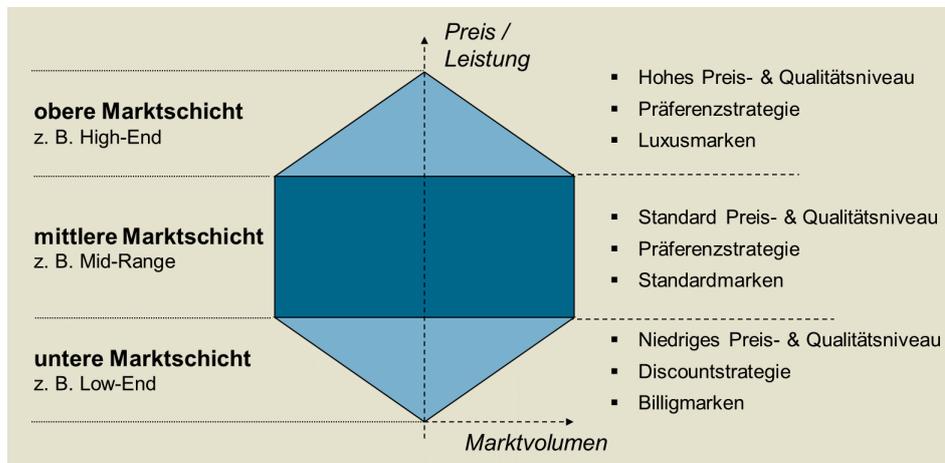
Eine Schnittstellenstandardisierung (IV) beschreibt eine Strukturverbindung zwischen zwei Modulen, die auf den Zweck eines Austausches oder einer Mehrfachverwendung von Modulen ausgelegt wurde (Krause/Gebhardt 2018, S. 104). Der Vorteil einer standardisierten Schnittstelle, z. B. auf der Produktfamilienebene, ist im geringen Aufwand bei der Kombination zu sehen.

Die Entkopplung (V) beschreibt die Wechselwirkung der Module untereinander. Die Kopplung zwischen Modulen ist schwächer als die interne Verbindung der Module auf der Ebene ihrer Komponenten. Einen hohen Entkopplungsgrad weisen z. B. Akku-Module auf. Die Ausprägungen der Modularität können mit unterschiedlichen Kennzahlen identifiziert werden (vgl. Anhang 7.3).

3.2 Abstufung eines Marktes in Marktschichten

Unter dem Begriff der Marktschichten wird die Abstufung eines Marktes in einzelne Ebenen, auf der Basis von technischen und/oder wirtschaftlichen Kriterien verstanden (Becker 2019, S. 181). Solche Kriterien können beispielsweise den Preis, einzelne Leistungsmerkmale oder die Qualität eines Produkts betreffen. Nach Becker kann der Markt beispielhaft in drei Marktschichten unterteilt werden: Eine obere Marktschicht (High-End), eine mittlere Marktschicht (Mid-Range) und eine untere Marktschicht (Low-End) (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Unterschiede bei Marktschichten



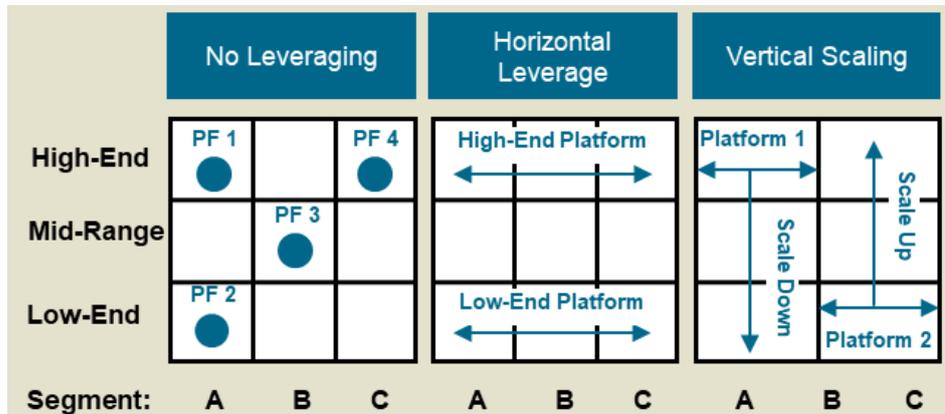
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Albeck 2016, S. 147; Becker 2019, S. 181

Die Anzahl der Marktschichten kann von dieser Einordnung auch abweichen. So unterteilt Agarwal den Markt in Anlehnung an die SMART-Initiative von Siemens in die vier Bereiche: Top-End, High-End, Medium-End und Low-End (Agarwal 2016, S. 46–50). Tiwari teilt den Markt in vier Marktschichten ein (Tiwari et al. 2018, S. 12). Die vertikale Positionierung in Marktschichten kann beispielsweise als Abgrenzung von einzelnen Marktsegmenten oder eines Gesamtmarktes verstanden werden (Freter 2008, S. 51). Marktschichten können in unterschiedlichen Formen dargestellt werden, z. B. in einer klassische Zwiebelstruktur, Pyramidenform oder einer Glockenstruktur (Becker 2019, S. 72; Freter 2008, S. 52).

Bei Modularisierungsstrategien gibt es in Bezug auf die Positionierung in Marktschichten diverse Möglichkeiten. Aus strategischer Sicht können sich Unternehmen bewusst in einer Marktschicht mit einem Teil ihres Produktportfolios positionieren, z. B. aufgrund einer vorliegenden Wettbewerbssituation. Ziel kann es sein, Wettbewerbern frühzeitig entgegenzutreten, um mit den eigenen Produkten eine breitere Anzahl an Kunden anzusprechen oder Kunden mit Einstiegsprodukten an die Premiumprodukte heranzuführen.

Eine Positionierung in unterschiedlichen Marktschichten mittels Modularisierungsstrategien ist bislang nur eingeschränkt erforscht und zueinander in Bezug gesetzt worden. Anhand US-amerikanischer Großunternehmen stellen Meyer/Lehnerd sogenannte „Leveraging Strategies“ mit dem Fokus auf Plattformstrategien vor, welche in Abbildung 7 dargestellt sind (Meyer/Lehnerd 1997, S. 52 ff.).

Abbildung 7: Plattformstrategien nach Meyer und Lehnerd



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (Meyer/Lehnerd 1997, S. 52 ff.)

Beispiele für diese Strategien sind das „No Leveraging“, „Horizontal Leverage“ und das „Vertical Scaling“. Das No Leveraging beschreibt die Gestaltung individueller Plattformen (PF) ohne Kopplungsintensitäten zu anderen Plattformen. Beim Horizontal Leverage etablieren sich Unternehmen horizontal in Marktschichten über mehrere Marktsegmente verteilt. Durch das Horizontal Leverage können auch zwei verschiedene Marktschichten mit jeweils einer Produktplattform adressiert werden.

Beim Vertical Scaling erfolgt eine Skalierung von Plattformen zwischen den Marktschichten durch Anpassung des Preis-Leistungs-Verhältnisses. Das Vertical Scaling nach oben war insbesondere vor Jahren charakteristisch für japanische Hersteller. Inzwischen nutzen auch andere Hersteller aus Asien-Pazifik diese Vorgehensweise.

3.3 Modularisierung in Bezug zu Beschäftigung und Resilienz

Der Stand der Forschung hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen Modularisierungsstrategien, Beschäftigungsgruppen eines Unternehmens sowie der organisationalen Resilienz wird nachfolgend erörtert. In Kapitel 3.3.1 werden zunächst relevante Forschungsarbeiten bezüglich Auswirkungen und Effekten von Modularisierungsstrategien auf die Beschäftigung vorgestellt. In Kapitel 3.3.2 wird anschließend der Forschungsstand in Bezug zu organisationaler Resilienz und Modularisierungsstrategien analysiert.

3.3.1 Auswirkungen auf die Beschäftigten

Nachfolgend werden drei relevante Forschungsarbeiten vorgestellt. Eine Kurzstudie von Dispan für die IG Metall (Dispan 2016), eine Studie, ebenfalls von Dispan, für die Hans-Böckler-Stiftung (Dispan 2019) und eine Arbeit von Greve und Krause über Langzeitauswirkungen von Modularisierung auf die Beschäftigung (Greve/Krause 2019).

In der Studie von 2016 analysiert Dispan die Auswirkungen einer modularen Bauweise auf Unternehmen und die Beschäftigten (Dispan 2016). Die Analyse basiert auf einer Literaturrecherche, Expertengesprächen mit zwölf Betriebsräten und Führungskräften aus zwei Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus.

Für einzelne Beschäftigungsgruppen, wie z. B. Personal aus der Fertigung, Montage oder Entwicklung, leitet Dispan positive sowie negative Auswirkungen ab, welche durch die Anwendung einer Modularisierungsstrategie resultieren können (Dispan 2016, S. 18 ff.). Zusammenfassend folgert Dispan, dass modulare Bauweisen ein breites Spektrum an Chancen und Risiken für Unternehmen und die Beschäftigten bieten und die Umsetzung mittlerweile ein „Muss“ im globalen Wettbewerb ist. Sie sollte jedoch durch den Betriebsrat begleitet werden.

In einer weiteren Studie zum Thema untersucht Dispan ähnliche Schwerpunkte, jedoch mit dem Fokus auf den Werkzeugmaschinenbau (Dispan 2019). Mit einer vergleichbaren Vorgehensweise leitet Dispan hier den Einfluss einer modularen Bauweise auf Arbeitsprozesse und die Beschäftigten ab. Zudem untersucht er die Wechselwirkungen modularer Bauweisen in lang getakteten Fließmontagen. Abschließend werden arbeitspolitisch- und branchenspezifische Handlungsfelder aufgezeigt.

Im Rahmen einer Longitudinalstudie betrachten Greve und Krause sowohl die Kurz- als auch Langzeiteffekte modularer Produktarchitekturen auf die Beschäftigungsgruppen bei einem mittelständischen Hersteller von Aufzügen (Greve/Krause 2019). Die Untersuchung basiert auf einer Befragung von 21 Beschäftigten des Unternehmens, zweieinhalb und fünf Jahren nach der Einführung modularer Produktarchitekturen. Kurzzeiteffekte (nach zweieinhalb Jahren) sind vor allem in den Bereichen Entwicklung und Produktion erkennbar. Als Langzeiteffekt einer modularen Produktarchitektur wird eine Vereinfachung in der Preiskalkulation in der Beschäftigungsgruppe des Vertriebs ersichtlich.

Zugleich ist die Reduzierung des Dokumentationsaufwands in der Entwicklung sowie die von Planungsabweichungen erheblich. Auch kann der im Kurzzeiteffekt als signifikant beschriebene Aufwand zur Mitarbeiter-schulung erheblich im Langzeiteffekt reduziert werden, da sich die Prozesse zur Entwicklung modularer Strukturen mit der Zeit etablierten.

3.3.2 Einführung in die organisationale Resilienz

Der Begriff der Resilienz hat seinen Ursprung im lateinischen Wort „resilire“ und bedeutet so viel wie zurückspringen oder abprallen (Wink 2016, S. 1). Die Resilienz-Forschung ist ein multidisziplinäres Forschungsfeld, welches die gesellschaftliche, organisationale und individuelle Ebene umfasst.

Im Umfeld von Organisationen lässt sich zwischen systemischer, personaler und organisationaler Resilienz unterscheiden. Die organisationale Resilienz stellt ein noch weitgehend junges Forschungsfeld dar und ist als ein präventiver Ansatz zu verstehen, der durch Störungen hervorgerufenen Beeinträchtigungen des erfolgreichen Geschäftsbetriebs entgegenwirken soll (Cronenberg 2020, S. 26). Hiller et al. (2021) führen weitergehend drei Fähigkeiten eines Unternehmens in Bezug auf Resilienz an.

Erstens reagieren resiliente Unternehmen schnell und flexibel auf Störungen und greifen auf Redundanzen zurück, um Ausfälle und Kaskadeneffekte zu verhindern. Zweitens können diese Unternehmen frühzeitig potenzielle Störungen erkennen und antizipieren, welche Gegenmaßnahmen einzuleiten sind. Drittens sollen resiliente Unternehmen in der Lage sein, sowohl vor und während als auch nach einer Störung zielgerichtet zu agieren und aus diesen Störungen zu lernen, um Auswirkungen zukünftig deutlich abzumildern.

Eine Erhöhung der organisationalen Resilienz kann mit dem Resilienzmodell und den Lösungsbausteinen des Fraunhofer-Verbunds Produktion erzielt werden. Basierend auf den Bausteinen kann die Resilienz im Unternehmen überwacht und systematisch vorangetrieben werden. (Kohl et al. 2021, S. 16)

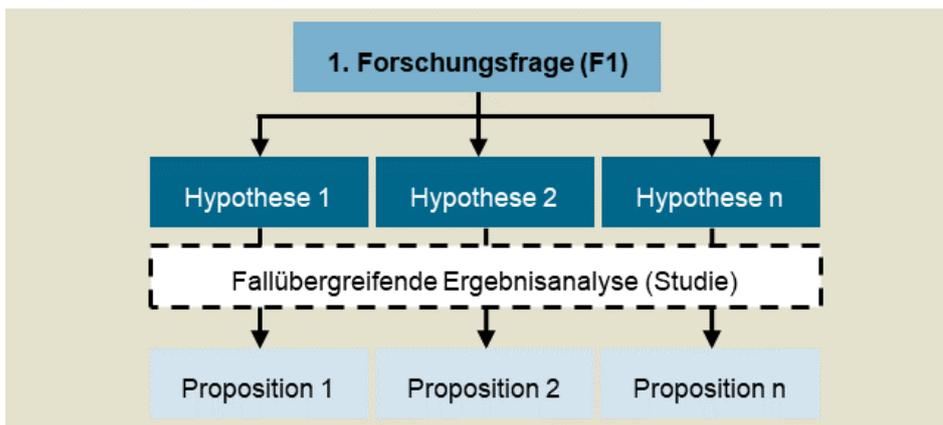
Sheffi betrachtet die Resilienz gezielt im Hinblick auf das Supply-Chain-Management (Sheffi 2006). Etwaige Störfälle, welche den erfolgreichen Geschäftsbetrieb negativ beeinflussen, gruppiert Sheffi mittels den vier Vulnerabilitäts-Kategorien strategisch, finanziell, betriebsbedingt und katastrophenbedingt.

Zur finanziellen Vulnerabilität zählen Wirtschaftsrezessionen, nicht wettbewerbsfähige Kostenstrukturen oder ein instabiler Finanzmarkt. Die strategische Vulnerabilität umfasst den Kampf um Marktanteile, Angriffe auf die Markenloyalität der Kunden oder die wahrgenommene Qualität. Zur betriebsbedingten Vulnerabilität zählen Computerviren, Ausfälle des Logistikanbieters oder Betriebsstörungen der Zulieferer. Zuletzt beeinflussen Vulkanausbrüche, eine Epidemie oder Erdbeben die katastrophenbedingte Vulnerabilität.

4. Fallübergreifende Ergebnisanalyse

In Anlehnung an die vier Forschungsfragen der Studie (vgl. Kapitel 2.1) orientiert sich die Erkenntnisgewinnung und Ergebnisdarstellung im nachfolgenden an Hypothesen. Insgesamt werden neun Hypothesen basierend auf den vier Forschungsfragen abgeleitet. Die Erfüllung oder Ablehnung einer Hypothese erfolgt über eine fallübergreifende Ergebnisanalyse der einzelnen Experteninterviews und wird in einer Proposition festgehalten (vgl. Abbildung 8). Das wiederholte analytische Vergleichen der in den einzelnen Fällen identifizierten Ergebnisse und Codes führt zu einer Verifizierung der abgeleiteten Proposition.

Abbildung 8: Vorgehen der Erkenntnisgewinnung



Quelle: eigene Darstellung

4.1 Positionierung in Marktschichten

Das Ziel der ersten Forschungsfrage besteht in der Beschreibung der Positionierung von Maschinenherstellern in den Marktschichten. Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage orientiert sich an den Hypothesen 1 und 2. Die erste Hypothese beschreibt eine mögliche Fokussierung von KMU auf die oberen Marktschichten, während Großunternehmen in allen Schichten aktiv sind. Die Hypothese wird in Bezug zu den Unternehmensgrößen und der Rolle in der Lieferkette in Kapitel 4.1.1 fallübergreifend ausgewertet. Hypothese 1 lautet:

Hypothese 1

KMU positionieren sich hauptsächlich in den oberen Marktschichten (1 bis 3), wohingegen Großunternehmen zusätzlich auch die unteren Marktschichten (4 bis 6) adressieren.

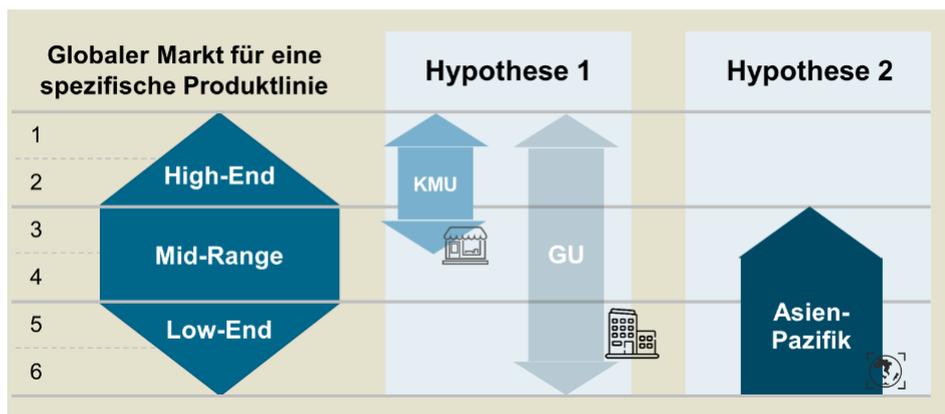
In Bezug zur zweiten Hypothese wird die zunehmende Wettbewerbsstärke von Marktteilnehmern untersucht. Fokussiert betrachtet werden dabei Mitbewerber aus dem Raum Asien-Pazifik. Im Rahmen der Untersuchung ist die Positionierung dieser Marktteilnehmer in den Marktschichten zu analysieren sowie eine Veränderung der Positionierung in den letzten Jahren zu ermitteln. Die fallübergreifende Auswertung der Hypothese findet in Kapitel 4.1.2 statt. Die Hypothese 2 lautet:

Hypothese 2

Neue Marktteilnehmer aus Asien-Pazifik drängen in das High-End.

Zunächst wird diese Positionierung unabhängig von der Modularisierungsstrategie betrachtet. Der globale Markt wird hierzu für eine Produktlinie in sechs Marktschichten eingeteilt (vgl. Abbildung 9). Die Unterteilung in sechs Marktschichten ermöglicht den befragten Unternehmen eine genauere Einordnung und gibt einen detaillierteren Überblick über die aktuelle Unternehmenspositionierung.

Abbildung 9: Position der Maschinenhersteller in Marktschichten



Quelle: eigene Darstellung

4.1.1 Unterschiede zwischen Unternehmensgrößen

Nach Aussage der Experten sind bis auf einen Hersteller alle befragten Unternehmen im High-End vertreten. Das Mid-Range wird von 21 Unternehmen adressiert. Wohingegen zehn der befragten 26 Unternehmen, neben anderen Marktschichten bewusst den Low-End-Bereich mit Produkten fokussieren. Die Positionierung der Unternehmen in unterschiedlichen Marktschichten hat mehreren Facetten.

Oft bezeichnen die Unternehmen ihre Produkte der unteren Marktschichten als Einstiegsprodukte. Mit Einstiegsprodukten möchten die Unternehmen vor allem Neukunden günstige und technologisch einfache Produkte ermöglichen, damit diese perspektivisch auch Produkte aus der oberen Marktschicht kaufen und somit eine Kundenbindung entsteht.

Einen zusätzlichen Nutzen durch Einstiegsprodukte sehen die Unternehmen aufgrund zusätzlicher Marktanteile, Stückzahlen sowie einem breiteren Servicegeschäft. Zudem führen die Unternehmen an, dass in den unteren Marktschichten weniger Beratungsleistung für den Verkauf von Maschinen nötig ist. Die dortigen Kunden gewichten einen niedrigeren Kaufpreis höher als ein zusätzliches Leistungsangebot oder individuelle Kundenspezifikationen. Aufgrund von höheren Margen sehen die Unternehmen dennoch ihr Hauptgeschäft in den oberen Marktschichten.

„Im High-End sind die Margen höher, aber die Stückzahlen verschieben sich Richtung Low-End oder Mid-Range.“ (Abteilungsleiter, Großunternehmen)

In fünf der 26 befragten Unternehmen sind Bestrebungen hinsichtlich neuer Produktvarianten geplant, um die unteren Marktschichten zukünftig stärker zu fokussieren. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen, welche bislang ausschließlich Produkte für die oberen Marktschichten entwickelt haben, kann die Produktentwicklung für tiefere Marktschichten jedoch auch vor Herausforderungen stellen.

„Eine Positionierung in den unteren Marktschichten fällt KMU schwer, weil eine komplett andere Denkweise in der Konstruktion verlangt wird.“ (Konstruktionsleiter, Großunternehmen)

Im Gegensatz dazu entscheiden sich einige Unternehmen auch bewusst gegen eine Positionierung in tieferen Marktschichten. Ein Experte verweist auf den Vorteil eines kleineren Produktportfolios, andere Experten erwähnen mögliche Kannibalisierungseffekte, die durch günstigere und technologisch einfachere Produkte entstehen können. Zugleich sehen viele Experten in der Umsetzung von kundenspezifischen Anforderungen

ihren Vorteil gegenüber anderen Mitbewerbern. Die Ergebnisanalyse in Abbildung 10 zeigt, dass an Hypothese 1 nicht festgehalten werden kann.

Abbildung 10: Überprüfung von Hypothese 1



Quelle: eigene Darstellung

Es bestätigt sich demnach nicht, dass sich KMU hauptsächlich in den oberen Marktschichten (1 bis 3) positionieren und Großunternehmen sowohl in den oberen als auch unteren Marktschichten (4 bis 6) aktiv sind. Zwar sind neun der 16 befragten Großunternehmen sowohl in den oberen Marktschichten als auch den unteren Marktschichten positioniert. Demgegenüber sind jedoch nur vier von zehn KMU ausschließlich in den oberen drei Marktschichten aktiv. Auch die Rolle in der Lieferkette oder der spezifische Fachzweig liefert keine eindeutige Aussage.

Proposition 1

Die Positionierung von Unternehmen in den Marktschichten kann nicht an der Unternehmensgröße oder der Rolle in der Lieferkette festgemacht werden. Einige Unternehmen versuchen bewusst, mehrere Marktschichten zu adressieren. Andere Unternehmen legen ihren Fokus auf eine, maximal zwei obere Marktschichten.

4.1.2 Wettbewerbssituation in den Marktschichten

Bei der Frage nach einer zunehmenden Wettbewerbsstärke von Marktteilnehmern aus Asien-Pazifik zeigt sich ein zweigeteiltes Bild. Elf der 26 Unternehmen sehen aktuell keinen erheblichen Wettbewerb mit Anbietern aus Asien-Pazifik. Dies wird sich nach Aussage der Experten in naher Zukunft auch nicht ändern. Die übrigen 15 Unternehmen, nehmen eine zunehmende Wettbewerbsstärke von Marktteilnehmern aus Asien-Pazifik wahr (vgl. Abbildung 11). Diese Aussagen sind unabhängig von der Unternehmensgröße oder der Rolle in der Lieferkette.

„Die Konkurrenz aus Asien-Pazifik spielt zunehmend eine Rolle, vor allem im Einstiegsbereich.“ (Teamleiter Entwicklung, Großunternehmen)

Die Meinungen, dass diese Mitbewerber inzwischen „ordentliche“ Maschinen produzieren, die preislich oftmals „unschlagbar“ sind, wird innerhalb der Expertengruppe mehrfach geteilt. Dennoch merken die Experten an, dass die Produkte aus Asien-Pazifik weiterhin hinsichtlich ihrer qualitativen Eigenschaften sowie dem produktbegleitenden Service eingeschränkt sind.

Abbildung 11: Überprüfung von Hypothese 2



Quelle: eigene Darstellung

Direkter Wettbewerb mit den asiatisch-pazifischen Unternehmen findet nach den Expertenaussagen vor allem außerhalb des mitteleuropäischen Marktes statt. In ihrem Heimatmarkt sind die asiatisch-pazifischen Unternehmen laut Aussagen der Experten häufig führend hinsichtlich der Marktanteile. In den zurückliegenden Jahren erkennen einige Experten

auch ein Vordringen in den osteuropäischen Markt. Dennoch ordnen die befragten Unternehmen hauptsächlich andere europäische und teilweise auch nordamerikanische Hersteller als ihre Hauptwettbewerber ein. Allerdings entwickeln sich die Mitbewerber aus China, teilweise auch Japan, Taiwan und ferner Indien, in den Marktschichten stetig nach oben.

„Man sieht, dass Unternehmen (vor allem aus China) sich vom Low-End in den letzten Jahren nach oben entwickelt haben.“ (Abteilungsleiter, Großunternehmen)

Trotzdem sehen die Unternehmen durch ihr höheres Know-how weiterhin einen Wettbewerbsvorteil. Gleichwohl bedingt die zunehmende technologische Reife der neuen Wettbewerber eine stetige Abnahme der Leistungsunterschiede, zumal viele technologische Innovationssprünge bereits ausgereizt scheinen. Die meisten Experten sind sich dieser Entwicklung bewusst, weshalb es vereinzelt Überlegungen gibt das Produktportfolio in tiefere Schichten zu erweitern. Zentraler Gedanke kann bei dieser Überlegung auch der Markteintritt von Unternehmen aus der Asien-Pazifik-Region in den mitteleuropäischen Markt sein.

„Es gibt Überlegungen, Maschinen unterhalb des High-End anzubieten. Durch die tiefere Positionierung können wir mehr Maschinen verkaufen.“ (Konstruktionsleiter, KMU)

Proposition 2

Die befragten Unternehmen nehmen Marktteilnehmer aus der Asien-Pazifik-Region mittel- bis langfristig als ernstzunehmende Konkurrenten wahr. Dies liegt darin begründet, dass diese Marktteilnehmer durch eine stetige Verbesserung ihres Leistungsangebots in höhere Marktschichten vordringen. Derzeit werden diese Marktteilnehmer allerdings nur von etwas mehr als der Hälfte der befragten Unternehmen als relevante Mitbewerber klassifiziert.

4.2 Praktizierte Modularisierungsstrategien

Das Ziel von Kapitel 4.2 besteht in der Beschreibung von Modularisierungsstrategien, die von Unternehmen mit unterschiedlichen Unternehmensgrößen und Rollen in der Lieferkette angewendet werden). Dabei werden die Ausprägungen, die systematische Umsetzung, positive und negative Effekte sowie die Erfolgsmessung von Modularisierungsstrategien analysiert.

Die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage orientiert sich an den Hypothesen 3, 4 und 5. Hinsichtlich Hypothese 3 wird untersucht, inwie-

fern Modularisierungsstrategien in die technischen Prozesse der Unternehmen integriert sind. Dabei sollen Prozesse, Hilfsmittel und Systematiken identifiziert werden, die einer Modularisierungsstrategie zugrunde liegen. Hierbei ist zu untersuchen, ob eine Aussage hinsichtlich der unterschiedlichen Unternehmensgrößen oder Rolle in der Lieferkette generiert werden kann (vgl. Kapitel 4.2.1). Daher lautet die dritte Hypothese:

Hypothese 3

Die systematische Umsetzung und Ausprägung einer Modularisierungsstrategie ist abhängig von der Unternehmensgröße und der Rolle in der Lieferkette.

Hypothese 4 analysiert die Effekte, welche aus der Anwendung einer Modularisierungsstrategie resultieren. Sowohl negative als auch positive Effekte werden in diesem Rahmen dargestellt und miteinander verglichen (vgl. Kapitel 4.2.2). Hypothese 4 lautet:

Hypothese 4

Bei der Anwendung von Modularisierungsstrategien überwiegen die positiven gegenüber den negativen Effekten.

Mittels Hypothese 5 wurde analysiert, wie Unternehmen den Erfolg ihrer Modularisierungsstrategie aktiv messen. Es wurde zudem untersucht, ob die Unternehmen aktiv auf technische oder betriebswirtschaftliche Messgrößen zurückgreifen, um die erfolgreiche Umsetzung sicherzustellen (vgl. Kapitel 4.2.3). Hypothese 5 lautet:

Hypothese 5

Die Unternehmen messen aktiv den Erfolg ihrer praktizierten Modularisierungsstrategie.

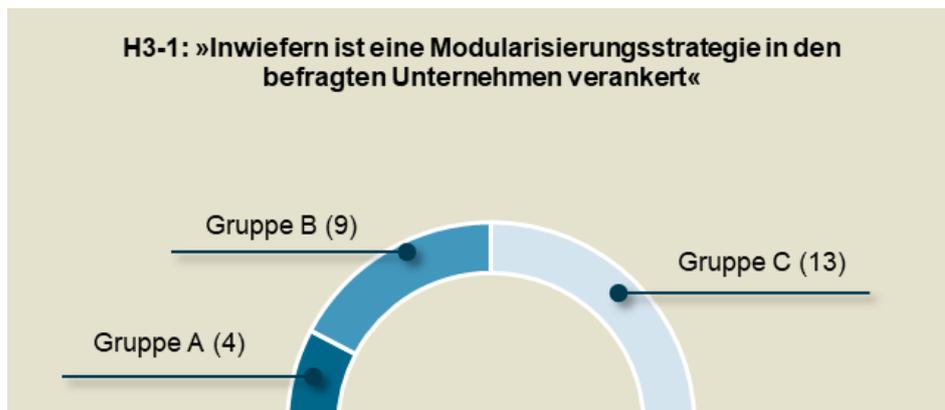
4.2.1 Anwendung von Modularisierungsstrategien im Maschinenbau

Die befragten Unternehmen können hinsichtlich ihrer angewendeten Modularisierungsstrategie in drei Gruppen (A–C) eingeteilt werden. Diese Gruppen unterscheiden sich grundsätzlich dadurch, wie die Modularisierungsstrategie in die jeweiligen technischen Prozesse der Unternehmen integriert ist:

- das Unternehmen wendet keine Modularisierungsstrategie an, beschäftigt sich jedoch aktuell oder in naher Zukunft mit einer Umsetzung.
- einzelne Aspekte der Modularisierung werden berücksichtigt, dem Vorgehen liegt jedoch keine Systematik zugrunde.
- ein eindeutiges Prozessvorgehen für die Umsetzung von Modularisierungsstrategien ist im Unternehmen etabliert und wird umgesetzt.

Vier der befragten Experten gaben im Interview an, dass ihr Unternehmen keine Modularisierungsstrategie anwendet, sich jedoch aktuell mit einer Umsetzung beschäftigt (Gruppe A). In neun der befragten Unternehmen werden zwar Aspekte einer Modularisierung berücksichtigt, allerdings liegt diesem Vorgehen kein systematischer Prozess zugrunde (Gruppe B). Bei 13 Unternehmen ist eine Modularisierungsstrategie etabliert und wird umgesetzt (Gruppe C) (vgl. Abbildung 12).

Abbildung 12: Überprüfung von Hypothese 3-1



Quelle: eigene Darstellung

Anmerkung: Gruppe A: keine Modularisierungsstrategie, aber aktuell mit der Umsetzung beschäftigt, Gruppe B: Aspekte einer Modularisierung, aber ohne systematischen Prozess, Gruppe C: Modularisierungsstrategie etabliert und umgesetzt

Das Fehlen von Modularisierungsstrategien führen die Unternehmen von Gruppe A auf den hohen Initialaufwand, fehlende Kapazitäten und einen mangelnden Fokus auf die Thematik zurück. Ein weiterer Experte gab an, dass bereits Vorgehen zur Modularisierung im Unternehmen existierten, diese jedoch aufgrund mangelnder Konsistenz nicht genutzt werden. Un-

terstützt wird diese Aussage von einem Experten, welcher ebenfalls Schwierigkeiten bei der konsistenten Anwendung einer Modularisierungsstrategie sieht. Dieser führt an, dass die Baugruppen stetigen Änderungen unterliegen und deshalb kein klares Vorgehen hinsichtlich einer Modularisierungsstrategie in seinem Unternehmen vorliegt.

„Modularisierung ist erst letztes Jahr aufgekommen; aktuell sind wir erstmal im Bereich der Standardisierung unterwegs.“ (Konstruktionsleiter, KMU)

Neben Unternehmen, welche keine Modularisierungsstrategie anwenden, konnten acht Unternehmen identifiziert werden, die zwar Aspekte einer Modularisierungsstrategie berücksichtigen, denen jedoch keine durchgängige Systematik zugrunde liegt (Gruppe B). Diese *Unternehmen achten vornehmlich auf die Mehrfachverwendung von gleichen Komponenten* bzw. Baugruppen. Der Begriff Baugruppe wird daher oft als Synonym zu dem Begriff eines Moduls verwendet.

Das Vorgehen stützt sich auf eine kontinuierliche Übernahme von auftragspezifisch entwickelten Baugruppen in andere Aufträge. Hierdurch entsteht eine Mehrfachverwendung, die üblicherweise jedoch keinen übergeordneten Prozess oder Leitfaden erfüllt.

Die Unternehmen sehen in ihrem Vorgehen die wesentlichen Vorteile, dass sie bestehende Zeichnungen und Einträge im Enterprise-Resource-Planning⁶ (ERP) nutzen können und die Komponenten oder Baugruppen im Einkauf und der Fertigung bereits bekannt sind. Die mehrfach verwendeten Baugruppen werden anschließend über teilweise angepasste Schnittstellen mit auftragspezifischen Komponenten oder Baugruppen zum Endprodukt zusammengeführt.

Eine klare Systematik der mehrfach verwendeten Komponenten oder Baugruppen für die Nutzung in unterschiedlichen Produktlinien und Produktfamilien liegt in den befragten Unternehmen nicht vor. Die Komponenten oder Baugruppen werden demnach über das komplette Produktportfolio verteilt verwendet. Vereinzelt verwenden die Unternehmen aus der Gruppe B hierfür eine Produktplattform je Produktvariante, welche mit sogenannten *Ausstattungsvarianten* kombiniert wird (synonym werden auch die Begrifflichkeiten *Monolith*, *Grundgerüst* oder *Basismaschine* verwendet).

Dem Vorgehen der Unternehmen aus Gruppe C liegt eine systematische Modularisierungsstrategie zugrunde. Diese Unternehmen haben eine klare Vorgehensweise für die Modularisierung erarbeitet und teil-

⁶ Ein ERP-System unterstützt bei der Prozess- und Ressourcenplanung im Unternehmen. Hierunter fallen z. B. Dispositionsvorgänge oder Produktionsplanungen.

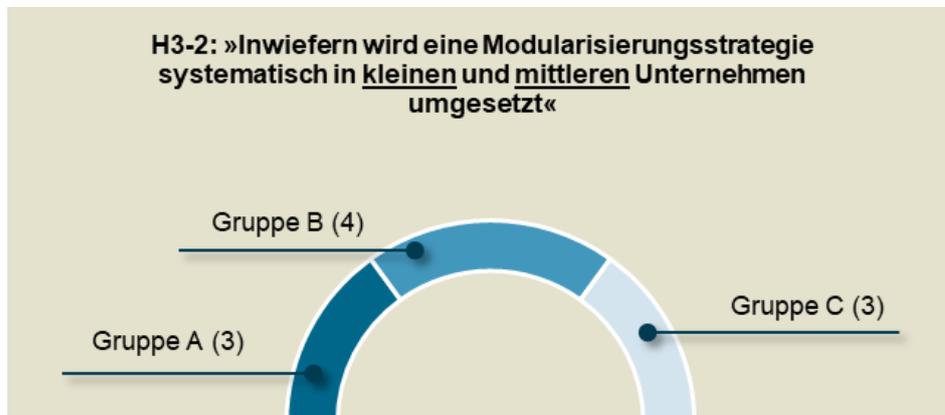
weise festgehalten, um ein klares Verständnis für alle Beteiligten zu schaffen. Im Detail berücksichtigen die 13 Unternehmen teilweise unterschiedliche Aspekte, die nachfolgend dargestellt werden.

Mehrere Unternehmen verwenden Baukästen, die auftragsunabhängig schon in der Konzeptionsphase festgelegt werden. Dabei basiert die Bildung von Modulen auf Funktionen. In mehreren Unternehmen geht dem Vorgehen eine Standardisierung voraus, indem Komponenten mit ähnlichen Funktionen vereinheitlicht wurden, um die Varianz zu reduzieren.

Nach der Modulbildung werden geeignete Schnittstellen entworfen, um die Verbindung zwischen den Modulen herstellen zu können. Ein Experte berichtet, dass in seinem Unternehmen zunächst drei Baukästen pro Maschinentyp entworfen und diese in der Folge zu einem einzigen zusammengeführt wurden. Die Unternehmensgröße zeigt einen Zusammenhang zur Einteilung der Unternehmen in diese drei Gruppen.

Nur drei der zehn KMU weisen eine eindeutige Systematik bei ihrer Modularisierungsstrategie auf. Bei vier der Unternehmen werden Aspekte berücksichtigt und bei drei Unternehmen haben Modularisierungsstrategien keinen Stellenwert (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13: Überprüfung von Hypothese 3-2



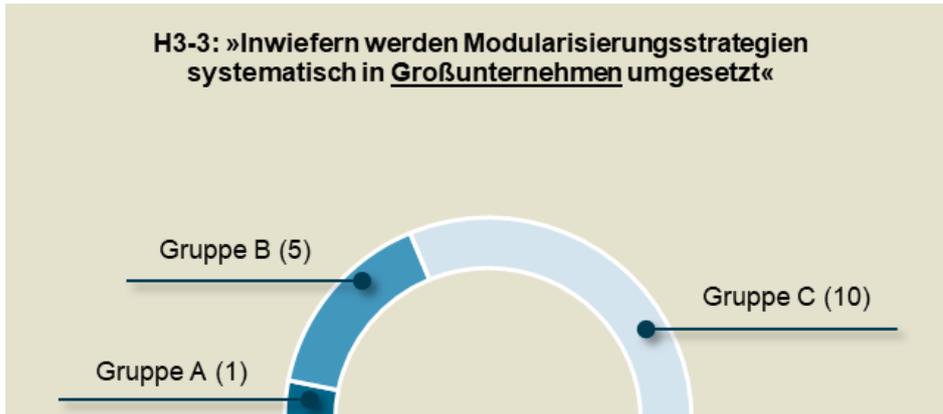
Quelle: eigene Darstellung

Anmerkung: Gruppe A: keine Modularisierungsstrategie, aber aktuell mit der Umsetzung beschäftigt, Gruppe B: Aspekte einer Modularisierung, aber ohne systematischen Prozess, Gruppe C: Modularisierungsstrategie etabliert und umgesetzt

Bei Großunternehmen zeigt sich, dass der Modularisierungsstrategie oftmals ein systematischeres Vorgehen zugrunde liegt (vgl. Abbildung 14).

Von den 16 Großunternehmen können zehn Unternehmen der Gruppe C zugeordnet werden.

Abbildung 14: Überprüfung von Hypothese 3-3



Quelle: eigene Darstellung

Anmerkung: Gruppe A: keine Modularisierungsstrategie, aber aktuell mit der Umsetzung beschäftigt, Gruppe B: Aspekte einer Modularisierung, aber ohne systematischen Prozess, Gruppe C: Modularisierungsstrategie etabliert und umgesetzt

Dies lässt darauf schließen, dass in Großunternehmen ein stärkerer Fokus auf Modularisierungsstrategien gelegt wird und folglich eine eindeutiger Systematik hinsichtlich der Modularisierungsstrategie vorliegt als in KMU. Zusammenhänge zu den Stückzahlen der produzierten Produkte (im Sinne von: je höher die Stückzahl, umso systematischer das Vorgehen bei der Modularisierungsstrategie), wurden zwar geprüft, konnten aber im Rahmen dieser Studie nicht identifiziert werden.

Weiter ist die Rolle in der Lieferkette nicht ausschlaggebend für die systematische Umsetzung einer Modularisierungsstrategie. Von den 17 befragten OEM können neun der Gruppe C zugeordnet werden, wie in Abbildung 15 ersichtlich.

Abbildung 15: Überprüfung von Hypothese 3-4



Quelle: eigene Darstellung

Anmerkung: Gruppe A: keine Modularisierungsstrategie, aber aktuell mit der Umsetzung beschäftigt, Gruppe B: Aspekte einer Modularisierung, aber ohne systematischen Prozess, Gruppe C: Modularisierungsstrategie etabliert und umgesetzt

Vier der acht System- und Modullieferanten verfolgen ein eindeutiges Prozessvorgehen für die Umsetzung ihrer Modularisierungsstrategie (Gruppe C). Zwei Unternehmen setzen nur teilweise Aspekte einer Modularisierungsstrategie um (Gruppe B) und bei ebenfalls zwei System- und Modullieferanten wird keine Modularisierungsstrategie umgesetzt.

Proposition 3

In der Hälfte der befragten Unternehmen findet keine systematische Anwendung von Modularisierungsstrategien statt. Im Vergleich zwischen Großunternehmen und KMU liegt tendenziell eher in Großunternehmen eine systematische Umsetzung einer Modularisierungsstrategie vor. Ein Bezug zwischen der Rolle in der Lieferkette und der Umsetzung einer Modularisierungsstrategie konnte nicht festgestellt werden.

4.2.2 Effekte von Modularisierungsstrategien

Positive Effekte durch die Anwendung einer Modularisierungsstrategie beziehen sich im Wesentlichen auf die Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität. In Bezug zur Dimension Zeit führt die Modularisierung zu kürzeren Bearbeitungszeiten in der Entwicklung, der Montage und dem Service. Eine kürzere Bearbeitungszeit ist auf die Mehrfachverwendung von Modulen und somit eine geringere Anzahl an varianten Baugruppen oder Komponenten zurückzuführen. In der Entwicklung können dadurch schneller neue Produktvarianten entwickelt werden, da im Auftragsfall ein geringerer Konstruktionsaufwand besteht. Dadurch können Kundenanfragen schneller in den Beschaffungsprozess übergeben werden.

In der Montage und dem Service sind die Mitarbeitenden durch die geringere Anzahl an unterschiedlichen Baugruppen tendenziell vertrauter mit ihrer Aufgabe. Somit besteht insgesamt weniger Schulungsbedarf. Zudem haben die Mitarbeitenden aufgrund gleichbleibender Montageschritte eine höhere Prozesssicherheit (Funktionsicherheit), da nicht alles neu ist, sondern vieles oftmals schon bekannt.

„Die Modularisierung ermöglicht eine schnellere und einfachere Entwicklung auf Basis vorhandener Module, wodurch zudem die Montage überschaubarer und schneller wird.“ (Geschäftsführer, Großunternehmen)

Modularisierungsstrategien können einen Beitrag leisten, um den konstruktiven Änderungsaufwand (z. B. in Systemen des Computer-Aided-Design (CAD) oder des Produktdatenmanagement (PDM)) zu reduzieren. So erfordern Änderungen an bestimmten Bauteilen oftmals weitere Anpassungen an angrenzenden Bauteilen.

Demgegenüber finden bei einer Modularisierungsstrategie solche Änderungen innerhalb eines Moduls statt. Aufgrund standardisierter Schnittstellen hat dies keine Auswirkungen auf angrenzende Bauteile. Einen weiteren zeitlichen Vorteil sehen die Experten in der schnelleren Einführung neuer Funktionen durch die Denkweise in Funktionsstrukturen, die der Modularisierung zugrunde liegt.

Hinsichtlich der Dimension Kosten ergeben sich positive Effekte hauptsächlich im Einkauf und dem Lager. Im Einkauf können durch Gleichteile bzw. die Mehrfachverwendung von Modulen höhere Einkaufsvolumina erzielt werden. Demnach werden über höhere Stückzahlen Herstellkosteneffekte generiert. Dabei kann eine größere Abnahmemenge von gleichen Bauteilen Kostenvorteile bei Lieferanten ermöglichen und den Beschaffungsprozess beschleunigen.

Zudem beobachten die Unternehmen eine Zunahme ihrer Verhandlungsmacht gegenüber den Lieferanten. Durch größere Losgrößen loh-

nen sich auch Überlegungen hinsichtlich einer Second- oder Third-Source-Strategie, bei welchen Zukaufteile von mehr als nur einem Lieferanten bezogen werden. Auch bei einer internen Fertigung können sich positive Effekte ergeben, da die Maschinen zur Fertigung weniger häufig umprogrammiert werden müssen.

„Im Einkauf merken wir eine deutlich gestärkte Verhandlungsmacht und eine gewisse Bevorzugung aufgrund der Vielzahl an Gleichteilen.“ (Bereichsleiter, Großunternehmen)

Einen weiteren Kostenvorteil bietet die Modularisierung durch eine geringere Anzahl an unterschiedlichen Varianten im Lager. Dadurch reduziert sich die Anzahl der notwendigen Lagerstellen, was zu geringeren Lagerkosten und einer Komplexitätsreduzierung des Lagers führt.

Aufgrund einer reduzierten Anzahl an Varianten sind diese im Ersatzteilfall zudem eher im Lager verfügbar. Neben den positiven Effekten hinsichtlich Zeit und Kosten heben die Experten Qualitätsvorteile als weiteren Mehrwert einer Modularisierungsstrategie hervor. Die häufige Verwendung von gleichen Modulen ermöglicht eine gesteigerte Prozesssicherheit auf mechanischer, elektrischer und softwaretechnischer Ebene. Dadurch erhöht sich laut den Experten die Qualität der Produkte, da die Bauteile bei den Mitarbeitenden bekannt sind und der Umgang geübt ist. Daraus resultieren eine zunehmende Zuverlässigkeit und weniger Ausfallzeiten der produzierten Produktvarianten.

„Wir kennen unsere Module zudem besser und wissen, wo Fehler auftreten können. Dadurch erhöhen wir die Zuverlässigkeit und der Kunde profitiert von geringeren Ausfallzeiten.“ (Vertriebsleiter, Großunternehmen)

Neben positiven Effekten sehen die meisten Experten auch negative Effekte einer Modularisierungsstrategie. Diese negativen Effekte referenzieren hauptsächlich einen Flexibilitätsverlust sowie einen zunehmenden Aufwand, der bei Modularisierungsstrategien grundsätzlich entsteht.

Ein Flexibilitätsverlust ergibt sich, da eine Modularisierungsstrategie die Freiheiten in der Entwicklung wesentlich einschränkt. In einzelnen Fällen kann die Produktvariante dadurch nicht vollständig an den spezifischen Kundenwunsch angepasst werden. Bei speziellen Anfragen, wie sie insbesondere im Sondermaschinenbau vorliegen, müssen daher Kompromisse eingegangen werden.

Im Rahmen einer Kompromisslösung kommt es daher zwischen standardisierten und neuen Bauteilen zwangsläufig zu einer Einschränkung des Produktes. Dies liegt darin begründet, dass die Entwicklung der Berücksichtigung von Konstruktions- oder Modulregeln unterliegt, auch

wenn eine Neuentwicklung das spezifische Kundenbedürfnis womöglich besser erfüllen würde.

Einzelne Experten merken an, dass darunter womöglich auch die Innovationskraft zur Weiterentwicklung ihrer Maschinen, vor allem hardwareseitig, leidet. Neben der Entwicklung muss sich auch der Vertrieb z. B. bei der Umsetzung von Sonderlösungen einschränken.

„Die nötige Flexibilität, um auf Kundenwünsche reagieren zu können, geht durch die Modularisierung etwas verloren.“ (Vertriebsleiter, Großunternehmen)

Zudem binden sich einige Unternehmen, um Skaleneffekte zu erzielen langfristig an Lieferverträge, was schlussendlich zu einem Flexibilitätsverlust führen kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn Bestandteile eines mehrfachverwendeten Moduls lieferantenseitig abgekündigt werden und deshalb nicht mehr zu beziehen sind. Dies kann darüber hinaus zu einer Komplexitätserhöhung in der Produktentwicklung führen, wenn diese Bestandteile eines mehrfach verwendeten Moduls Schnittstellen zu nicht standardisierten Bauteilen haben.

Weiter besteht ein erhöhter Pflegeaufwand, wenn ein Modul fehlerhaft ist, welches in mehreren Produktvarianten verbaut wird. Daher liegt solchen Modulen oftmals auch ein erhöhter Testaufwand zugrunde, da diese auf mehreren Produkten funktionsfähig sein müssen.

Im Weiteren sehen die Experten einen erhöhten Pflegeaufwand, um die Artikel standardisierter Bauteile auf dem aktuellen Stand zu halten sowie die Kompatibilität über alle Funktionen hinaus zu gewährleisten.

„Wir müssen uns bei der Umsetzung an Regeln halten, diese müssen aufgestellt, gepflegt und überarbeitet werden.“ (Konstruktionsleiter, KMU)

Zudem erfordern Modularisierungsstrategien einen hohen Initialaufwand, da man sich viele Gedanken im Bereich der Produktplanung und der grundlegenden Produktarchitektur machen muss, welche Varianten und Module abgedeckt werden sollen. Daher wird der initiale Aufwand für die Entwicklung standardisierter Module als wesentlich höher eingestuft als die herkömmliche Entwicklung. Zudem besteht ein hoher Entwicklungsaufwand, da man unterschiedliche Produkte und Schnittstellen berücksichtigen muss. Ein erhöhter Pflegeaufwand kann zudem entstehen, wenn Varianten „mitgeschleppt“ werden, die jedoch nur selten bis gar nicht benötigt werden.

Proposition 4

Es überwiegen die positiven Effekte durch die Anwendung von Modularisierungsstrategien gegenüber den negativen. Positive Effekte referenzieren im Wesentlichen die Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität. Als negative Effekte können ein Flexibilitätsverlust sowie ein erhöhter Aufwand (Pflege- und Initialaufwand) festgestellt werden.

4.2.3 Erfolgsmessung von Modularisierungsstrategien

Um den Erfolg einer Modularisierungsstrategie für das Unternehmen bewerten zu können, bietet sich die Messung und Auswertung von relevanten Kenngrößen an. Hierbei kann grundsätzlich zwischen technischen und betriebswirtschaftlichen Kenngrößen unterschieden werden. Von den befragten 26 Unternehmen erfassen jedoch 22 Unternehmen keinerlei Kenngrößen, um den Erfolg einer Modularisierungsstrategie zu bestimmen und ggf. neu auszurichten zu können (vgl. Abbildung 16).

Abbildung 16: Überprüfung von Hypothese 5



Quelle: eigene Darstellung

Dies liegt oftmals an einer mangelnden Kenntnis von Kenngrößen für die Erfolgsmessung von Modularisierungsstrategien und einer fehlenden Aufmerksamkeit für diese Thematik. Einzelne der befragten Experten weisen zudem darauf hin, dass in ihren Unternehmen früher einzelne Erfolgsmessungen durchgeführt wurden, diese aber aus Aufwandsgründen nicht weiterverfolgt wurden. Unterstützt wird diese Aussage von einem Experten, welcher bereits Probleme bei der eigentlichen Messung von Kenngrößen

sieht und bezweifelt, dass der Erfolg von Modularisierungsstrategien tatsächlich gemessen werden kann.

„Man hat keine Chance den Erfolg von Modularisierungsstrategien zu messen.“ (Entwicklungsleiter, Großunternehmen)

Vielmehr verweisen die Unternehmen drauf, dass sie die Vorteile einer Modularisierungsstrategie direkt wahrnehmen können. So führen die Experten kürzere Auftragsabwicklungszeiten oder eine verbesserte Einkaufsposition durch höhere Abnahmemengen bei externen Lieferanten auf eine erfolgreiche Umsetzung ihrer Modularisierungsstrategie zurück. Diese Vorteile einer Modularisierungsstrategie werden allerdings nicht aktiv gemessen.

Von den vier Unternehmen, die eine Erfolgsmessung von Modularisierungsstrategien durchführen, werden im Folgenden die Ansätze zur Messung technischer und betriebswirtschaftlicher Kenngrößen vorgestellt: Ein Experte verweist auf eine Einteilung von mechatronischen Komponenten in seinem Unternehmen in drei Kategorien: Die erste Kategorie enthält nicht freigegebene Komponenten, in Kategorie zwei finden sich für Sonderkonstruktionen freigegebene und die dritte Kategorie enthält für die Serie freigegebene Komponenten.

Bei einer Neuentwicklung von Maschinen wird das Verhältnis dieser drei Kategorien untereinander betrachtet, um Rückschlüsse auf die Anzahl der verwendeten, unterschiedlichen Komponenten zu ziehen. Auch bei anderen Unternehmen dient die Messung der „Anzahl freigegebener Konstruktionsteile“ bei einer Neuentwicklung als Kenngröße.

Bei einem weiteren Unternehmen wurden zu Beginn der Modularisierung aktiv die Durchlaufzeiten einer Produktvariante nach der Modularisierung aufgenommen und mit den Zeiten vor der Modularisierung verglichen. Dabei konnten insbesondere im Engineering und der Montage kürzere Zeiten festgestellt werden. Ein anderes Unternehmen misst die Ersatzteilehaltung und Teileanzahl. Das Ziel besteht dabei darin, möglichst wenig verschiedene Teile ins Produktportfolio aufzunehmen. Zudem bemisst das Unternehmen den Erfolg am Schulungsaufwand für z.B. die Servicetechniker. Die Schulungen für eine neue Maschinengeneration sollen nach Möglichkeit als reine Updateschulungen gestaltet sein.

In Bezug zu den betriebswirtschaftlichen Kenngrößen berechnen einzelne Unternehmen den Deckungsbeitrag der Maschinen, um mit dieser indirekten Kennzahl den Erfolg ihrer Modularisierungsstrategie bewerten zu können. Andere Unternehmen gaben an, die Komplexitätskosten zu berechnen. Hiermit soll sich eine Aussage treffen lassen, inwiefern die Wiederverwendung oder die Verwendung individueller Komponenten sinnvoller für den jeweiligen Kontext ist.

Proposition 5

Eine aktive Prüfung von messbaren Kenngrößen, um Rückschlüsse auf eine erfolgreiche Modularisierungsstrategie geben zu können, findet nur sehr begrenzt und in wenigen Unternehmen statt.

4.3 Modularisierung zur Positionierung in Marktschichten

Das Ziel der dritten Forschungsfrage und somit von Kapitel 4.3 besteht in der Analyse des Zusammenhangs zwischen Modularisierungsstrategien und der Positionierung von Unternehmen innerhalb von Marktschichten. Zudem wird in diesem Kapitel der Einsatz und Austausch von Produkten und Modulen in unterschiedliche Marktschichten mittels Modularisierungsstrategie fallübergreifend ausgewertet und dargestellt.

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Analyse besteht in einer Unterscheidung zwischen der physischen Ebene und der Softwareebene. Folglich wird analysiert, inwiefern die physische Ebene und die Ebene der Software bei einer Modularisierungsstrategie in der Maschinenbauindustrie berücksichtigt werden (Hypothese 6) und für eine Positionierung in unterschiedlichen Marktschichten genutzt werden (Hypothese 7). Davon abgeleitet lautet Hypothese 6 (vgl. Kapitel 4.3.1):

Hypothese 6

Die physische Ebene und die Softwareebene werden bei der Modularisierung weitestgehend getrennt voneinander betrachtet.

Dabei soll untersucht werden, inwiefern diese Disziplinen gemeinsam oder getrennt voneinander von den Unternehmen umgesetzt werden. Zudem eignet sich eine Modularisierungsstrategie, um unterschiedliche Marktschichten zu adressieren. Dies kann beispielsweise durch den Austausch einzelner Module oder die Beschränkung von Software für Kunden der unteren Marktschichten erfolgen. Diesbezüglich werden in Kapitel 4.3.2 die Strategien der einzelnen Unternehmen analysiert und dargestellt. Hypothese 7 lautet daher:

Hypothese 7

High-End-, Mid-Range- und Low-End-Produkte sind unabhängig voneinander und bauen nicht auf einer Mehrfachverwendung einzelner Komponenten oder Module auf.

4.3.1 Integration von Mechanik, Elektrik und Software

In der Folge wird die Umsetzung von Modularisierungsstrategien in der Mechanik, Elektrik und Software sowie die Abhängigkeiten zwischen den Disziplinen analysiert. Eine Modularisierung kann grundsätzlich auf mehreren Ebenen erfolgen, etwa der mechanischen, elektrischen und softwaretechnischen Ebene. Häufig betrachten die Unternehmen die mechanische Ebene hinsichtlich der Modularisierung vorrangig. Einige Experten verweisen darauf, dass die mechanische Ebene aufgrund ihrer physischen Komponenten für die Vorstellungskraft der Mitarbeitenden besser zugänglich ist.

Neben der Mechanik, Elektrik und Software betrachten wenige Unternehmen darüber hinaus auch die Pneumatik, Dokumentation und Fluidik als weitere Ebenen, welche in der Modularisierungsstrategie ebenfalls berücksichtigt werden könnten. In der Vergangenheit war die Ebene der Software getrieben von der mechanischen Ebene und hatte das vorrangige Ziel diese adäquat abzubilden. Allerdings verweisen viele Unternehmen darauf, dass bei ihrer Software eine höhere Modularität vorliegt und in diesem Bereich ein modulares Vorgehen auch besser umgesetzt werden kann.

„Das Thema Modularisierung ist auf der Softwareebene leichter und besser umzusetzen und man hat es besser unter Kontrolle.“ (Anwendungstechniker, Großunternehmen)

Die softwaretechnische Ebene wird dabei oftmals als eine funktionale Ebene umschrieben, wohingegen die mechanische zusammen mit der elektrischen als physische Ebene klassifiziert wird. Bis auf wenige Ausnahmen zeigt sich in den Unternehmen allerdings eine getrennte Betrachtung dieser Ebenen. Dahingehend werden diese Ebenen hinsichtlich der Modularisierung oftmals nicht als ein Ganzes, sondern getrennt oder gar sequenziell voneinander betrachtet.

„Die Modularisierung der physischen und der Softwareebene läuft komplett separat voneinander ab. Am Ende müssen jedoch für die Zusammenbringung die Ebenen aufeinander abgestimmt sein.“ (Konstruktionsleiter, KMU)

Die Ausnahme bilden einige Großunternehmen. Dort gab es in den letzten Jahren Bestrebungen, die drei Disziplinen frühzeitig im Entwicklungsprozess zusammenzuführen. Dieses Vorgehen unterliegt der Zielsetzung, dass die physische Ebene mit der Funktionsebene in gleiche Systemgrenzen zusammengebracht werden. Hierbei arbeiten die Teams nicht nur an der Modularisierung der Mechanik, sondern achten auf eine kombinierte, mechatronische Modularisierung inklusive Software.

„Wir modularisieren mechatronisch, da die Software und die Mechanik sehr eng zusammenhängen.“ (Teamleiter Entwicklung, Großunternehmen)

Die Ansatzpunkte für eine Zusammenführung der Disziplinen sehen die Experten im Wesentlichen in gleichen Modulschnitten, um die Wiederverwendbarkeit der Module zu erhöhen. Weiter wird die Nutzung eines digitalen Zwillings genannt, um den Datenaustausch zwischen den Systemen zu erhöhen. Darüber hinaus fügen einige Experten an, dass sich „Architektur-Teams“ im Unternehmen als zielführend erwiesen haben, um die Kompetenzen stärker zu bündeln.

„Wir haben Architektur-Teams, in welchen die funktionale, wie auch physische Verantwortung für einzelne Module verankert ist.“ (Abteilungsleiter, Großunternehmen)

Abschließend kann angemerkt werden, dass bei der Umsetzung durch die befragten Unternehmen keine Unterschiede festzustellen sind, die sich auf die Rolle in der Lieferkette zurückführen lassen.

Proposition 6

Die Mechanik, Elektrik und Software werden hinsichtlich der Modularisierung oftmals nicht als ein Ganzes, sondern getrennt oder gar sequenziell voneinander betrachtet. Die Ausnahme bilden wenige Großunternehmen, in welchen früh im Produktentwicklungsprozess alle drei Disziplinen zusammengeführt und ganzheitlich betrachtet werden. Außerdem kann ein Trend in Richtung einer frühen Fusionierung von Mechanik, Elektrik und Software festgestellt werden.

4.3.2 Modularisierungsstrategien zwischen Marktschichten

Einige Unternehmen setzen eine Wiederverwendung von Komponenten oder Modulen aktiv um. Die Umsetzung kann sowohl innerhalb einer Produktlinie (und somit zwischen Produktfamilien) als auch innerhalb einer Produktfamilie (und somit zwischen den Produktvarianten) erfolgen. Es konnte identifiziert werden, dass die Unternehmen beide Möglichkeiten berücksichtigen. Auf eine numerisch genaue Einordnung der Unternehmen, welche eine Wiederverwendung umsetzten oder nicht, wird nachfolgend allerdings verzichtet.

Dies liegt darin begründet, dass seitens der befragten Unternehmen nicht ausschließlich eindeutige Aussagen zu dieser Thematik generiert wurden. Jedoch werden in einer überwiegenden Mehrheit der Unternehmen bewusst Komponenten oder Module für die Mehrfachverwendung

entwickelt. Diese Aussage trifft sowohl auf KMU als auch Großunternehmen zu.

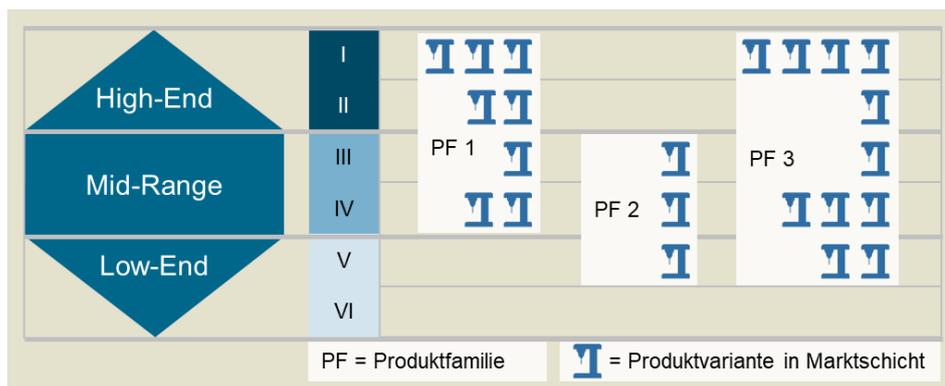
In Bezug zur Position in der Lieferkette wird ersichtlich, dass eine Wiederverwendung sowohl bei OEM als auch bei System- und Modullieferanten genutzt wird. Eine Ausnahme bilden hierbei KMU, welche sich als System- und Modullieferanten einordnen lassen: Diese Gruppe setzt durchschnittlich weniger häufig eine Wiederverwendung von Komponenten oder Modulen aktiv um.

Einige der befragten Experten aus dem Werkzeugmaschinenbau verweisen auf eine Wiederverwendung von Modulen mit eindeutigen Schnittstellen. Dabei kann es sich beispielsweise um Revolver, Späneförderer, Antriebssysteme, Hydraulikaggregate oder Spindeln handeln. Innerhalb eines Unternehmens sowie zwischen den Unternehmen ist der prozentuale Anteil der wiederverwendeten Komponenten sehr unterschiedlich.

Zudem gibt es bei der Adressierung unterschiedlicher Marktschichten und somit dem Austausch von Komponenten und Modulen zwischen Low-End-, Mid-Range- und High-End-Produkten erhebliche Unterschiede. Auf diese Unterschiede soll nachfolgend anhand von drei exemplarisch dargestellten Vorgehensweisen einzelner Unternehmen eingegangen werden.

Abbildung 17 stellt ein Unternehmen mit drei ausgewählten Produktfamilien dar, welches das Ziel verfolgt, mithilfe einer Modularisierungsstrategie möglichst viele Marktschichten abzudecken.⁷

Abbildung 17: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen A



Quelle: eigene Darstellung

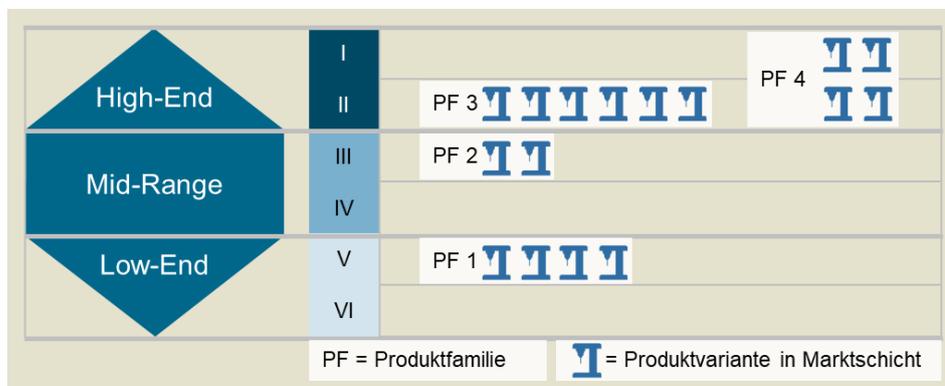
⁷ Die Einordnung der Produktfamilien und -varianten in die Marktschichten basiert auf einer Selbsteinschätzung eines oder mehrerer Experten eines befragten Unternehmens. Dabei wurden die Unterscheidungskriterien zwischen den Marktschichten zuvor dargestellt, damit die Ergebnisse untereinander verglichen werden können.

Wie aus Abbildung 17 ersichtlich wird, adressiert beispielhaft Produktfamilie (PF) 1 des befragten Unternehmens A die vier oberen Marktschichten. Weiter sind bei PF 1 drei Produktvarianten der Marktschicht I, eine Produktvariante Marktschicht III und je zwei Produktvarianten Marktschicht II und IV zugeordnet. Die Wiederverwendung gleicher Komponenten und Module innerhalb PF 1 beträgt laut Aussage des befragten Experten etwa 30 Prozent bis 60 Prozent.

Innerhalb von PF 2 liegt die Wiederverwendung von Komponenten und Modulen bei etwa 70 Prozent bis 80 Prozent und innerhalb von PF 3 bei circa 60 Prozent. PF 3 adressiert von der ersten bis zur fünften Marktschicht alle Marktschichten mit ihren jeweiligen Produktvarianten. Zwischen den Produktfamilien PF 1, PF 2 und PF 3 liegt die Wiederverwendung bei etwa 30 Prozent.

Interessant dabei ist, dass die einzelnen Produktfamilien jeweils auf einem „Grundgerüst“ basieren, welches für alle Produktvarianten verwendet wird. Das Beispiel eines zweiten Unternehmens zeigt eine andere Vorgehensweise. Wie aus Abbildung 18 zu entnehmen ist, sind weniger die Produktvarianten für die Adressierung einzelner Marktschichten verantwortlich, sondern vielmehr die Produktfamilien.

Abbildung 18: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen B



Quelle: eigene Darstellung

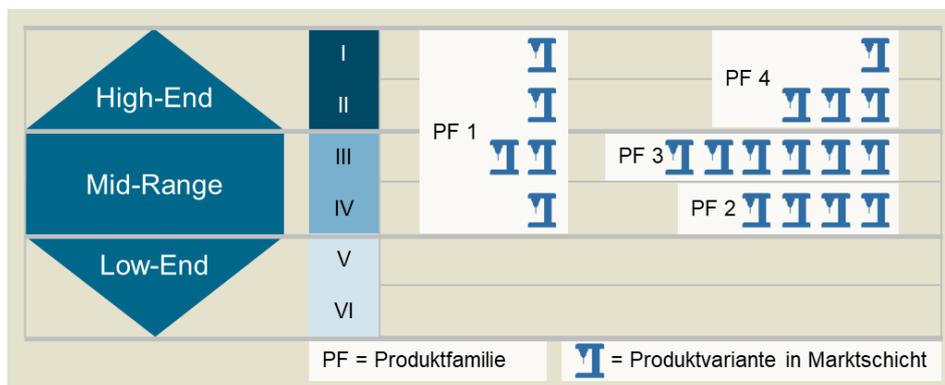
Somit ist PF 1 als eine reine Low-End Produktfamilie mit vier Produktvarianten in Marktschicht V positioniert wohingegen PF 3 mit sechs Produktvarianten in Marktschicht II positioniert ist. Demgegenüber fokussiert PF 4 mit je zwei Produktvarianten Marktschicht I und II. Innerhalb von PF 4 liegt der Gleichteileanteil bei circa 80 Prozent. Zwischen PF 4 und PF 1 liegt, laut Aussage des befragten Experten, der Gleichteileanteil immerhin noch

bei etwa 50 Prozent. Im Gegensatz z. B. von Unternehmen A fokussiert eine Produktfamilie von Unternehmen B entweder das High-End, Mid-Range oder Low-End.

Das dritte Beispiel eines Unternehmens C veranschaulicht einen gemischten Ansatz dieser beiden Vorgehensweisen. Die Abbildung 19 zeigt ein Unternehmen, welches nicht die Low-End-Marktschicht bedient. Mit PF 1 adressiert das Unternehmen vier Marktschichten mit insgesamt fünf Produktvarianten.

Demgegenüber sind PF 2 und PF 3 nur auf eine Marktschicht im Mid-Range ausgerichtet, wenngleich PF 4 das komplette High-End adressiert. Dabei ist anzumerken, dass derzeit zwischen den Produktvarianten innerhalb von PF 1 nur 10 Prozent bis 20 Prozent Gleichteile vorliegen, was den Hersteller aktuell zu einem Projekt veranlasst, um die Wiederverwendung von Komponenten und Modulen zu erhöhen. Ziel ist es hierbei, dass alle Varianten auf einer gleichen Grundstruktur aufbauen. Hierzu wird zunächst die physische Modulstruktur analysiert und Abhängigkeiten aufgezeigt.

Abbildung 19: Positionierung in Marktschichten: Unternehmen C



Quelle: eigene Darstellung

Proposition 7

Bei Unternehmen, die eine Mehrfachverwendung berücksichtigen, findet diese sowohl produktfamilienübergreifend als auch innerhalb einer Produktfamilie statt. Der wesentliche Unterschied zwischen den Unternehmen besteht in der Positionierung einer Produktfamilie hinsichtlich einzelner Marktschichten. Prinzipiell werden die einzelnen Produktvarianten einer Produktfamilie entweder in einer Marktschicht oder in mehreren Marktschichten positioniert.

4.4 Auswirkungen von Modularisierungsstrategien

Das Ziel der vierten Forschungsfrage besteht in der Beschreibung der Auswirkungen von Modularisierungsstrategien auf die organisationale Resilienz sowie Beschäftigungsgruppen. Die Beantwortung der vierten Forschungsfrage orientiert sich an den Hypothesen 8 und 9, die nachfolgend dargestellt sind. Im Rahmen von Hypothese 8 werden die Zusammenhänge und Auswirkungen zwischen organisationaler Resilienz und Modularisierung analysiert. Schwerpunkt der Betrachtung stellen der Bezug auf die Wertschöpfungsketten sowie die einzelnen Marktschichten dar (vgl. Kapitel 4.4.1). Daran orientiert lautet Hypothese 8:

Hypothese 8

Mittels Modularisierungsstrategien können Wertschöpfungsketten resilienter gestaltet werden.

Im Rahmen von Hypothese 9 sind die Auswirkungen von Modularisierungsstrategien auf relevante Beschäftigungsgruppen eines Unternehmens aus dem Maschinenbau zu untersuchen. Eine Untersuchung dieser Hypothese und Auswertung mittels Proposition findet in Kapitel 4.4.2 statt. Hypothese 9 lautet:

Hypothese 9

Eine Modularisierungsstrategie hat durchweg positive Auswirkungen auf Beschäftigungsgruppen.

4.4.1 Auswirkungen auf die organisationale Resilienz

Die organisationale Resilienz beschreibt die Fähigkeit einer Organisation, sich an unvorhersehbare Veränderungen und Störungen anzupassen. Gerade vor dem Hintergrund der Covid-19-Pandemie oder des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine wurde intensiv über Wertschöpfungsketten sowie die globale Ausrichtung und wirtschaftliche Stabilität des Maschinenbaus debattiert. In Bezug zu Modularisierungsstrategien leistet die Positionierung in mehreren Marktschichten einen Beitrag zur Erhöhung der organisationalen Resilienz.

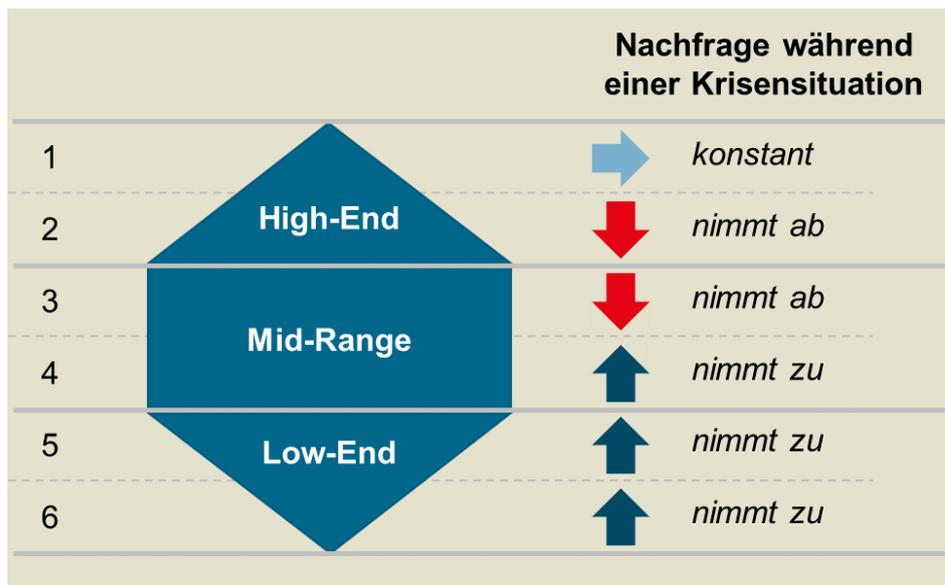
Laut Einschätzung der befragten Experten wird die ausschließliche Positionierung in einer Marktschicht, wie z. B. im High-End, mitunter als gefährlich angesehen. Im Rahmen dieser Einschätzung wird das High-End auch mit einer Nische verglichen, weshalb es in mehreren der befragten

Unternehmen das eindeutige Ziel ist, mehrere Marktschichten zu adressieren. Ein Experte sieht im Falle einer Krise einen deutlichen Nachfragerückgang in der zweiten und dritten Marktschicht. In dieser Situation werden kostengünstige Maschinen besser verkauft (Marktschicht 4–6), wenn gleich es bei der ersten Marktschicht nach Aussage des Experten kaum eine Reduktion bei der Nachfrage geben wird (siehe Abbildung 20).

Das Bedienen mehrerer Marktschichten mit dem eigenen Produktportfolio wird von mehreren Experten daher als ein Mittel zur Erhöhung der organisationalen Resilienz angesehen.

„Während einer Krise bricht bei der zweiten und dritten Marktschicht die Nachfrage ein – kostengünstige Maschinen werden besser verkauft.“ (Vertriebsleiter, Großunternehmen)

Abbildung 20: Darstellung der Nachfrage in Krisensituation



Quelle: eigene Darstellung

Der Beitrag von Modularisierungsstrategien zur Erhöhung der Resilienz von Wertschöpfungsketten wird nachfolgend thematisiert. Grundsätzlich bieten Modularisierungsstrategien das Potenzial, durch Gleichteile eine bessere Ausgangssituation im Einkauf zu erzielen, wodurch sich ein A- oder B-Kundenstatus bei einem Lieferanten ergeben kann.

Den Experten zufolge wird die Zusammenarbeit mit Lieferanten effizienter, da stabilere Rahmenverträge aufgrund höherer Stückzahlen verhandelt werden können und diese zu einer stärkeren Verhandlungsmacht

und einem reduzierten Einkaufspreis führen. Diese Konstellation führt im Maschinenbau allerdings auch häufig zu einem Single Source⁸, weshalb sich einige Unternehmen mit der Gestaltung von Second Source oder gar Third Source im Zusammenspiel mit der Modularisierungsstrategie beschäftigen. Fehlende Komponenten bei einem Lieferanten können somit durch weitere Zulieferer substituiert werden.

„Ich bin davon überzeugt, dass Modularisierung das Unternehmen resilienter und robuster gegenüber Materialengpässen macht.“ (Entwicklungsleiter, Großunternehmen)

Laut der Einschätzung von weiteren Experten bieten gleiche Komponenten und Module Vorteile, um lieferantenunabhängiger zu werden. Hierbei wird auch die Möglichkeit gesehen, kritische Gleichteile auf Lager zu legen, um eine durchgehende Verfügbarkeit sicherzustellen. Dazu müssen sich die Unternehmen über die Art und Anzahl kritischer Komponenten und Module bewusstwerden, um diese entsprechend vorrätig halten zu können.

Durch die exakt bekannte Stückzahl sind Einkaufsprognosen möglich und der Wert des gebundenen Kapitals im Lager kann reduziert werden. Ergänzend müssen durch Modularisierung weniger vollständige Produkte vorproduziert und eingelagert werden – Unterbaugruppen reichen aus, da diese wiederkehrend verwendet werden.

Die Wertschöpfungskette bleibt demnach in Takt und es kann weiterhin wettbewerbsfähig produziert werden. Ferner führt ein Experte ein Beispiel dafür an, dass durch die Unterteilung in Module kleinere Frachträume benötigt werden und keine speziellen Auflieger für den Transport genutzt werden müssen.

Proposition 8

Modularisierungsstrategien haben in wirtschaftlich und politisch schwierigen Zeiten das Potenzial, eine Diversifizierung in der Lieferstruktur aufzubauen mit sowohl globalen als auch lokalen Zulieferern. Im Weiteren hilft die Positionierung in mehreren Marktschichten, um Nachfragerückgänge auszugleichen.

8 Das „Single Source“ bezeichnet das Beziehen von Waren von einem einzelnen Lieferanten. Alternativ dazu werden bei Second- oder Third-Source-Strategien Waren von mehreren Lieferanten bezogen.

4.4.2 Auswirkungen auf Beschäftigungsgruppen

Neben den beschriebenen positiven und negativen Effekten für Unternehmen (vgl. Kapitel 4.2.2) können sich Modularisierungsstrategien auch direkt auf die Arbeit unterschiedlicher Beschäftigungsgruppen, wie z. B. Produktionsmitarbeitenden, auswirken. Die im Folgenden beschriebenen Auswirkungen beziehen sich auf die vier Beschäftigungsgruppen Entwicklung, Einkauf, Produktion und Vertrieb. Die Produktion bezieht sich hierbei vor allem auf die Fertigung und Montage.

In der Entwicklung führt die Anwendung einer Modularisierungsstrategie zu einer Einschränkung der Mitarbeitenden in deren Freiheiten. Dies liegt hauptsächlich im Gedanken der Standardisierung begründet, bei welchem die Mitarbeitenden vorrangig auf Gleichteile zurückgreifen sollen. Zudem liegen durch die definierten Regeln und Standards einer Modularisierungsstrategie mehr Restriktionen für die Selbstverwirklichung des Personals aus der Entwicklung vor. Der Entwicklungsprozess erfährt hier initial aufgrund der Regeln und Standards eine Zunahme an Komplexität.

Der Initialaufwand einer Modularisierungsstrategie ist demnach höher als der übliche Entwicklungsaufwand ohne eine Modularisierungsstrategie. Doch die Experten sind sich einig, dass der Initialaufwand einer Modularisierungsstrategie langfristig für die Mitarbeitenden in der Entwicklung sowie für das Unternehmen als Ganzes gewinnbringend ist.

„Der Weg bei der Modulentwicklung ist lang, aber später macht sich das bezahlt. Mit den Modulen können wir schneller neue Varianten aufbauen, da unsere Entwicklung direkt auf vorhandene Module zurückgreifen kann.“
(Konstruktionsleiter, mittleres Unternehmen)

Zudem verweisen einige Unternehmen darauf, dass sich der kontinuierliche Pflegeaufwand des Produktportfolios durch Modularisierungsstrategien reduzieren lässt. Dies kann auf eine geringere Anzahl an Komponenten und Baugruppen im Produktdatenmanagement-System zurückgeführt werden. Durch eine kontinuierliche Erhöhung des Know-hows bei standardisierten Modulen lassen sich auch Fehler bei zukünftigen Weiterentwicklungen reduzieren.

„Seit Einführung der Modularisierungsstrategie im Unternehmen haben wir eine klare Fehlerreduktion in der Entwicklung.“ (Konstruktionsleiter, Großunternehmen)

Mitarbeitende im Einkauf können von der Umsetzung einer Modularisierungsstrategie profitieren. Eine Modularisierungsstrategie basiert im Wesentlichen auf der Verwendung gleicher Komponenten und Module.

Durch die Wiederverwendung ergeben sich höhere Stückzahlen und eine geringe Varianz an unterschiedlichen Komponenten im Einkauf. Aufgrund der höheren Stückzahlen nimmt die Verhandlungsmacht der Unternehmen gegenüber externen Lieferanten zu. Neben womöglich besseren Konditionen reduziert sich aufgrund der geringen Varianz auch das Arbeitsvolumen pro produzierte Maschine der Mitarbeitenden.

„Die Modularisierung macht sich bei uns im Einkauf bemerkbar. Unser Einkaufspersonal hat eine höhere Verhandlungsmacht und erzielt bessere Einkaufspreise.“ (Produktmanager, KMU)

Die erhöhte Anzahl an wiederverwendeten Komponenten ermöglicht darüber hinaus eine übersichtlichere Disposition. Demzufolge muss eine geringere Anzahl an unterschiedlichen Komponenten zu Montagearbeitsplätze disponiert werden, wodurch die Arbeitsumfänge und die Komplexität in der Disponierung abnehmen.

Die Arbeiten im Einkauf werden ebenso planbarer, weil durch den Vertrieb zukünftige Stückzahlen besser abgeschätzt werden können. Der Einkauf kann die Teile somit frühzeitig bestellen und ggf. sogar auf Lager legen. Hierbei merken die Experten jedoch an, dass die Gefahr besteht, dass zu viele Teile beschafft oder erhöhte Lagerkosten verursacht werden. Dennoch kann durch dieses Vorgehen eine kontinuierliche Bereitstellung von benötigten Komponenten sichergestellt werden, was sich gerade in Zeiten unzuverlässiger Lieferketten als ein probates Mittel erweisen kann.

„Durch Modularisierung stehen einzelne Komponenten für die Zukunft fest. Kritische Komponenten können daher auf Lager gelegt werden.“ (Entwicklungsleiter, KMU)

Die Produktion profitiert ebenfalls durch wiederkehrende Komponenten und Module. Vor allem in der Fertigung verringert sich die Anzahl der Umrüstvorgänge und zudem der Aufwand für die Erstellung neuer Maschinenprogramme. Für Produktionsmitarbeitende bedeutet dies eine reduzierte Bedienzeit einzelner Maschinen, was zu einer effizienteren Fertigung führen kann. Das Arbeitsvolumen pro produzierte Maschine und häufig auch die Komplexität für die Mitarbeitenden wird so prinzipiell reduziert, wodurch Fehlerquoten minimiert werden.

„Die zu produzierenden Baugruppen sind bekannt und somit auch die Produktionsschritte [...]. Hierdurch erreichen wir eine geringere Fehlerquote.“ (Abteilungsleiter Technik, KMU)

Aus einer reduzierten Bedienzeit pro Maschine kann jedoch auch resultieren, dass mehr Maschinen von einer Person bedient werden müssen.

Folglich sinkt zwar das Arbeitsvolumen pro hergestelltes Produkt, aber das gesamte Arbeitsvolumen und die Arbeitsintensität nimmt dadurch eher zu. Höhere Stückzahlen aufgrund der Gleichteile können in der Montage zudem den Trend hin zur Automatisierung verstärken. Bei immer wiederkehrenden, einfachen Montageprozessen können sich initiale Aufwendungen für die Automatisierung früher amortisieren.

Für Mitarbeitende besteht somit die grundsätzliche Gefahr substituiert zu werden. Jedoch sehen die befragten Experten diesen Aspekt weniger kritisch, da weiterhin komplexe Aufgaben vorliegen, für welche das Know-how der Fachkräfte nötig ist. Zudem kann durch modularisierte, häufig verwendete Gleichteile die Montage kontinuierlich ausgelastet werden. Hierdurch werden Schwankungen des Arbeitsvolumens und der -intensität für Beschäftigte reduziert.

„In schwachen Phasen produzieren wir Baugruppen vor, um zu puffern bzw. unsere Produktion aufrechtzuerhalten. Die vorproduzierten Baugruppen werden aufgrund der Modularität früher oder später sowieso verbaut.“
(Konstrukteur, KMU)

Die Reduktion verschiedenartiger Montageteile ermöglicht eine einfachere und schnellere Montage, wodurch ein schnelleres Einlernen des Personals ermöglicht wird. Dazu ergänzend wurden in den Unternehmen oftmals standardisierte Prozesse mit definierten Standards oder Montageanleitungen für Montagevorgänge entworfen. Darüber hinaus können Arbeitsplätze auf eine Montage von wiederverwendeten Komponenten und Modulen angepasst werden. So können die Beschäftigten in ihrer Tätigkeit entlastet werden, wodurch weniger Fehler entstehen.

„Aufgrund der reduzierten Anzahl an unterschiedlichen zu montierenden Baugruppen wird der Aufbau von angepassten Arbeitsplätzen möglich. Dadurch sparen wir Fläche und Kosten.“ (Entwicklungsleiter, KMU)

Bei Engpässen an einem Montagearbeitsplatz können andere Montage-mitarbeitende zügiger angelernt und zur Bewältigung der Montageaufgabe befähigt werden. Nachteilig wirkt sich die Modularisierung bei Änderungen von Bauteilen und Baugruppen auf die betroffenen Montageteams aus. Durch die immer wiederkehrenden Prozesse sind Abläufe oft „festgefahren“. Die Motivation der Mitarbeitenden Altbewährtes gegen etwas Neues zu tauschen ist daher oft gering. Zudem kann die Flexibilität in Produktion und Montage verloren gehen. Die Montagearbeitsplätze sind durch Modularisierung stärker angepasst, was Änderungen zeit- und kostenintensiv macht.

Die Anwendung einer Modularisierungsstrategie kann für die Mitarbeitenden im Vertrieb herausfordernd sein. Interessierten Kunden muss auf

Basis der vorhandenen Modularisierungsstrategie eine Maschine angeboten werden, welche die Kundenanforderungen möglichst vollständig erfüllt. Hier gilt es die richtige Balance zu finden, um weder die Modularisierungsstrategie zu übergehen noch die Kundenanforderungen zu vernachlässigen.

Die meisten Experten schätzen dies als eine deutliche Komplexitätssteigerung für die Vertriebsmitarbeitenden ein. Für die Vertriebsarbeit bedeutet dies eine erhebliche Veränderung, da keine kundenspezifischen Maschinen mehr angeboten werden dürfen oder diese zu einem erheblichen Aufpreis anzubieten sind.

„Die Berücksichtigung von Kundenwünschen ist für den Vertrieb deutlich schwerer umzusetzen“ (Produktmanager, Großunternehmen).

Für die Berücksichtigung spezifischer Kundenwünsche haben sich in den Unternehmen unterschiedliche Vorgehensweisen etabliert. In einem Unternehmen kann der jeweilige Kunde standardisierte Module für insgesamt acht Modulplätze auswählen. Alles, was darüber hinausgeht, muss zusätzlich entwickelt und dementsprechend auch berechnet werden. Ein weiteres Unternehmen gibt sogar den maximal erlaubten kundenspezifischen Anteil in einer Maschine an. Die Kunden müssen demnach verstehen, dass modularisierte, standardisierte Maschinen weniger Individualität zulassen.

„Zwar steht der Kundenwunsch noch im Vordergrund, aber die Maschinen bauen auf einem Modulbaukasten auf und in Zukunft müssen mindestens 80 Prozent der Maschine aus diesem Baukasten stammen.“ (Konstruktionsleiter, Großunternehmen)

Zur Unterstützung im Vertriebsprozess bietet sich der Aufbau eines Produktkonfigurators, mit welchem im Verkaufsprozess Produkte virtuell vollständig aufgebaut werden können, auf Basis vordefinierter Module an. Verkaufsargument sind die reduzierten Kosten und Lieferzeiten, die sich durch Modularisierungsstrategien realisieren lassen. Ein weiterer Vorteil, mit dem Vertriebsmitarbeitende argumentieren können, ist die Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Nachteilig wirkt sich die eingeschränkte Verkaufsfreiheit auf die provisionsbasierte Entlohnung des Vertriebs aus. Durch limitierte Verkaufsmöglichkeiten können nicht alle Kunden angesprochen werden, was möglicherweise die Verkaufszahlen beschränkt.

„Durch modulare Baugruppen können wir die Ersatzteile bzw. Serviceeinheiten vorhalten, was das Thema Aftermarket deutlich vereinfacht.“ (Geschäftsführer, Großunternehmen)

Proposition 9

Aus der Anwendung einer Modularisierungsstrategie resultieren neben positiven Auswirkungen (z. B. bessere Konditionen im Einkauf, übersichtlichere Disposition und Montage) auch negative Auswirkungen auf Beschäftigungsgruppen (z. B. eingeschränkte Freiheiten der Entwicklung und des Vertriebs oder ein hoher Initialaufwand).

5. Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Studie beschäftigte sich mit der Analyse von industriell angewendeten Modularisierungsstrategien, der unternehmensseitigen Positionierung in Marktschichten und den Wechselwirkungen der Modularisierung auf Beschäftigung und Resilienz.

In Kapitel 1 der Studie wurden der zunehmende Kosten- und Wettbewerbsdruck durch neue Marktteilnehmer aus dem Raum Asien-Pazifik sowie eine potenzielle Abdrängung in eine High-End-Nische als wesentliche Motivatoren der Studie vorgestellt. Ergänzend wurde die potenzielle Erhöhung der organisationalen Resilienz durch Modularisierungsstrategien tiefergehend untersucht.

In Kapitel 2 wurde die Zielsetzung und das Forschungsdesign der Studie definiert. Die Strukturierung der Studie basiert auf vier Forschungsfragen und neun Hypothesen. Die Datenerhebung fand in semistrukturierten Experteninterviews mit 30 Experten aus 26 Unternehmen des deutschen Maschinenbaus statt.

Es wurde die „Grounded Theory Methodology“ als methodologische Grundlage der Datenerhebung definiert. Die Experteninterviews erfolgten mit Fach- und Führungskräften aus der Branche. Um Aussagen für einzelne Gruppen generieren zu können, wurden die Maschinenhersteller hinsichtlich ihrer Unternehmensgröße (z. B. KMU oder Großunternehmen) und der Rolle innerhalb der Lieferkette (z. B. OEM, Modul- oder Komponentenlieferant) unterteilt.

Kapitel 3 bot eine Darstellung des Stands der Forschung und eine Einführung in relevante Definitionen. Dabei wurden die Hierarchieebenen eines Produktportfolios erörtert und die Begrifflichkeit einer modularen Produktstrukturstrategie eingeführt. Weiter erfolgte die Einordnung bzw. Abstufung eines Marktes in Marktschichten (wie z. B. Low-End, Mid-Range oder High-End). Zum Abschluss von Kapitel 3 wurde der Forschungsstand zu den Auswirkungen von Modularisierungsstrategien auf die Beschäftigung und organisationale Resilienz dargestellt.

In Kapitel 4 wurden die Daten in Form einer fallübergreifenden Ergebnisanalyse ausgewertet. Die Zustimmung oder Ablehnung zu einzelnen Hypothesen fand abschließend durch die Darstellung jeweils einer Proposition statt. Die Untersuchung fokussierte in Kapitel 4.1 die Unterschiede zwischen Unternehmen hinsichtlich der Positionierung in Marktschichten.

Es wurde aufgezeigt, dass die Positionierung von Unternehmen in den Marktschichten unabhängig von der Unternehmensgröße oder der Rolle in der Lieferkette ist. Eine Vielzahl an Unternehmen adressiert ausdrücklich mehrere Marktschichten, wohingegen andere Unternehmen eine oder maximal zwei Marktschichten fokussieren. Die Marktteilnehmer aus der

Asien-Pazifik-Region werden mittel- bis langfristig als ernst zu nehmende Mitbewerber wahrgenommen, auch wenn ein Wettbewerbsdruck durch diese Unternehmen nur von 15 der 26 befragten Unternehmen bestätigt wird.

Eine fallübergreifende Analyse zur Anwendung von Modularisierungsstrategien und den damit zusammenhängenden Effekten für das Unternehmen stellte Kapitel 4.2 dar. Dabei wurde aufgezeigt, dass in der Hälfte der befragten Unternehmen keine systematische Anwendung von Modularisierungsstrategien stattfindet. Großunternehmen setzen im Vergleich zu KMU Modularisierungsstrategien tendenziell eher systematisch um. Bezüglich der Rolle in der Lieferkette und der Umsetzung einer Modularisierungsstrategie konnten keinerlei Verbindungen festgestellt werden.

Weiter findet in Unternehmen eine aktive Messung von Kenngrößen, um den Erfolg einer Modularisierungsstrategie feststellen zu können, nur äußerst begrenzt statt. Besonders der Mangel an nutzbaren Kenngrößen wird seitens der Unternehmen als Grund angeführt.

Bei der Anwendung einer Modularisierungsstrategie überwiegen, nach Aussage der befragten Experten, die positiven gegenüber den negativen Effekten. Positive Effekte beziehen sich vor allem auf die Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität. Als negative Effekte konnten z. B. ein Flexibilitätsverlust sowie ein erhöhter Pflege- und Initialaufwand festgestellt werden.

In Kapitel 4.3 wurde der Zusammenhang zwischen Modularisierungsstrategien und der Positionierung von Unternehmen in Marktschichten untersucht. Zudem wurde die Unterscheidung von Modulen auf physischer Ebene und der Softwareebene analysiert. Unternehmen, die eine Mehrfachverwendung anwenden, nutzen diese sowohl produktfamilienübergreifend als auch innerhalb einer Produktfamilie. Bezüglich der Positionierung in Marktschichten wurde ersichtlich, dass einzelne Produktvarianten einer Produktfamilie in einer Marktschicht oder in mehreren Marktschichten positioniert werden.

Bei der Unterscheidung von Modulen konnten drei Ebenen (Mechanik, Elektrik und Software) identifiziert werden. Diese Ebenen werden häufig nicht als Ganzes, sondern getrennt voneinander betrachtet. Lediglich wenige Großunternehmen betrachten diese Ebenen bereits vom Beginn der Produktentwicklung zusammenhängend. Nach Einschätzung der Experten geht die Tendenz auch für kleinere Unternehmen jedoch in Richtung einer einheitlichen Betrachtung.

In Kapitel 4.4 wurden die Einflüsse von Modularisierungsstrategien auf die organisationale Resilienz und die Beschäftigungsgruppen analysiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass eine Modularisierungsstrategie in kritischen wirtschaftlichen oder politischen Zeiten vorteilhaft sein kann.

Sie bietet die Möglichkeit einer Diversifizierung in der Lieferstruktur und ermöglicht die Positionierung in mehreren Marktschichten, wodurch Nachfragerückgänge in einer bestimmten Marktschicht ausgeglichen werden können.

Ähnlich hierzu beschrieben die Experten weitere positive Auswirkungen auf das Unternehmen und die Beschäftigten, wie z. B. bessere Konditionen im Einkauf sowie effizientere Dispositions- und Montageabläufe. Auch negative Auswirkungen, wie begrenzte Freiheiten in der Entwicklung oder ein hoher Initialaufwand bei der Einführung einer Modularisierungsstrategie, konnten festgestellt werden.

Insgesamt hat die Untersuchung gezeigt, dass Modularisierungsstrategien einen Beitrag zur Erhöhung der organisationalen Resilienz leisten können. Nichtsdestotrotz bedarf es für die Initialisierung und Etablierung einer Modularisierungsstrategie Know-how und entsprechende Ressourcen, worin besonders für kleinere Unternehmen eine Herausforderung besteht.

6. Literatur

- Agarwal, Nivedita (2016): Innovation Landscape in Developed and Developing Markets: A Conceptual and Empirical Study on Technology Convergence and Low Cost Innovations. Dissertation, Universität Bamberg. <https://fis.uni-bamberg.de/server/api/core/bitstreams/551f2827-752f-4ade-b4c3-4f33b4f239f1/content> (Abruf am 13.2.2024).
- Albeck, Wolfgang (2016): Geschäftsmodellinnovationen für das mittlere Marktsegment, Wiesbaden: Springer Gabler.
- Barg, Sebastian (2017): Kontextbezogene Auslegung von Produktbaukästen. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen: Apprimus 2018.
- Bauernhansl, Thomas (2012): Fraktal, wandlungsfähig, nachhaltig – auf dem Weg zur ganzheitlichen Fabrik. In: Fraunhofer IPA (Hrsg.): Die Fabrik der Zukunft – wandlungsfähig, digital, lernfähig. Engelbert Westkämpfers Beitrag zu einem neuen europäischen Produktionssystem, Stuttgart: Fraunhofer IPA, S. 74–82.
- Bauernhansl, Thomas (2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Bauernhansl, Thomas / ten Hompel, Michael / Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Wiesbaden: Springer Vieweg, S. 5–35.
- Becker, Jochen (2019): Marketingkonzeption. Grundlagen des zielstrategischen und operativen Marketing-Managements. 11. Aufl., München: Franz Vahlen.
- Boer, Henrike Engele Elisabeth (2016): Product modularity and its effects on the manufacturing firm. A contingency perspective. Dissertation, Aalborg University. https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/549504223/PHD_Henrike_Engele_Elisabeth_Boer_E_pdf.pdf (Abruf am 13.2.2024).
- Brecher, Christian (2011): Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Cronenberg, Birgit (2020): Organisationen digital und resilient transformieren. Ein Kompass zur ganzheitlichen Organisationsentwicklung, Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Dispan, Jürgen (2016): Modulare Bauweise im Maschinen- und Anlagenbau. Wirkungen von Baukastensystemen auf Beschäftigung. Kurzstudie für die IG Metall, Stuttgart.

- Dispan, Jürgen (2019): Modulare Bauweise und neue Produktionskonzepte im Werkzeugmaschinenbau. Working Paper 118, Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung. https://www.boeckler.de/fpdf/HBS-007107/p_fofoe_WP_118_2019.pdf (Abruf am 13.2.2024).
- Eurostat 2023 (2023): Kleine und mittlere Unternehmen (KMU). <https://web.archive.org/web/20230425145059/https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/structural-business-statistics/information-on-data/small-and-medium-sized-enterprises> (Abruf am 13.2.2024).
- Freter, Hermann (2008): Markt- und Kundensegmentierung. Kundenorientierte Markterfassung und -bearbeitung. 2. Aufl., Stuttgart: Kohlhammer.
- Frost & Sullivan (2020): Asia-Pacific Machine Tool Market, Forecast to 2023. Manufacturing Industries Shifting Toward Low-cost Production, Coupled with Globalization of Markets, is Propelling the Consumption of Machine Tools in Asia-Pacific, Mountain View: Frost & Sullivan, S. 29.
- Fuchs, Christoph / Golenhofen, Franziska (2019): Mastering Disruption and Innovation in Product Management. Connecting the dots, Cham: Springer International.
- Gebhart, Nicolas / Krause, Dieter / Kruse, Moritz (2016): Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie. In: Lindemann, Udo (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung, München: Hanser, S. 111–150.
- Glaser, Barney G. / Strauss, Anselm L. (2009): The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research. 4. Aufl., New Brunswick: Aldine.
- Greve, Erik / Krause, Dieter (2019): Long-term effects of modular product architectures: An empirical follow-up study. In: CIRP Design 84, S. 731–736.
- GWS – Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung (2011): Der Maschinenbau. Ein Spätzykliker auf Erfolgskurs. Osnabrück. https://papers.gws-os.com/tbericht_maschbau_final.pdf (Abruf am 10.4.2024).
- Hiller, Daniel / Roth, Florian / Hiermaier, Stefan / Edler, Jakob / Arlinghaus, Julia / Clausen, Uwe (2021): Resilienz. Ein Fraunhofer-Konzept für die Anwendung, München. <https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/fe9c25ec-25ba-42cd-a279-248effc2340c/details> (Abruf am 15.2.2024).
- Jonas, Henry (2013): Eine Methode zur strategischen Planung modularer Produktprogramme, Hamburg: TuTech.

- Jonas, Henry (2014): Eine Methode zur strategischen Planung modularer Produktprogramme. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg. <https://d-nb.info/1063020182/34> (Abruf am 15.2.2024).
- Justus, Nicolas (2018): Ein Planungssystem für Zulieferer in der Maschinenbaubranche. Dissertation, Technische Universität Darmstadt.
- Kohl, Holger / Buß, Dominik / Glawar, Robert / Heller, Thomas / Klan, Steffen / Knothe, Thomas / Sai, Brandon / Schmidtke, Niels / Stenzel, Fabian / Werner, Markus / Wilms, Marcel (2021): White Paper „RESYST“. Resiliente Wertschöpfung in der produzierenden Industrie – innovativ, erfolgreich, krisenfest, München. www.fraunhofer.de/s/ePaper/Whitepaper/RESYST/index.html#0 (Abruf am 15.2.2024).
- Krause, Dieter / Gebhardt, Nicolas (2018): Methodische Entwicklung modularer Produktfamilien, Berlin, Heidelberg: Springer.
- Kühn, Thomas (2016): Lebenszyklusorientierte Leistungssysteme im Werkzeugbau. Dissertation, Technische Hochschule Aachen.
- Matthes, Jürgen (2021): Wettbewerbsverzerrungen durch China. Akademische Evidenz und Ergebnisse einer Befragung deutscher Unternehmen. IW-Report 10/21, Köln.
- Meffert, Heribert / Burmann, Christoph / Kirchgeorg, Manfred / Eisenbeiß, Maik (2019): Marketing. Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. Konzepte – Instrumente – Praxisbeispiele. 13. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler.
- Meyer, Marc H. / Lehnerd, Alvin (1997): The power of product platforms. Building value and cost leadership, New York: Free Press.
- Meyer, Michael / Reutterer, Thomas (2009): Sampling-Methoden in der Marktforschung. Wie man Untersuchungseinheiten auswählen kann. In: Buber, Renate / Holzmüller, Hartmut H. (Hrsg.): Qualitative Marktforschung. Konzepte – Methoden – Analysen. 2. Aufl., Wiesbaden: Gabler, S. 229–246.
- Salvador, Fabrizio (2007): Toward a Product System Modularity Construct: Literature Review and Reconceptualization. In: IEEE Transactions on Engineering Management 54, H. 2, S. 219–240. www.researchgate.net/publication/3076981_Toward_a_Product_System_Modularity_Construct_Literature_Review_and_Reconceptualization (Abruf am 15.2.2024).
- Schuh, Günther (2015): Leitfaden zur Baukastengestaltung. Ergebnisse des Forschungsprojekts Gestaltung innovativer Baukasten- und Wertschöpfungsstrukturen (GiBWert), Frankfurt am Main: VDMA.

- Sheffi, Yossi (2006): Worst-case-Szenario. Wie Sie Ihr Unternehmen auf Krisen vorbereiten und Ausfallrisiken mindern, Landsberg am Lech: mi-Fachverlag.
- Tiwari, Rajnish / Buse, Stephan / Kalogerakis, Katharina / Scheitza, Jakob / Herstatt, Cornelius (2018): Relevanz und Potenziale frugaler Innovationen für Österreich. <https://tore.tuhh.de/dspace-cris-server/api/core/bitstreams/3d96540b-b0f.e-44d1-942c-332ba415ee68/content> (Abruf am 15.2.2024).
- VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (2020): Maschinenbau in Zahl und Bild, Frankfurt am Main.
- Windheim, Marc (2020): Cooperative Decision-Making in Modular Product Family Design. Dissertation, Universität Hamburg.
- Wink, Rüdiger (2016): Resilienzperspektive als wissenschaftliche Chance. Eine Einstimmung zu diesem Sammelband.
In: Wink, Rüdiger (Hrsg.): Multidisziplinäre Perspektiven der Resilienzforschung, Wiesbaden: Springer, S. 1–11.

7 Anhang

7.1 Inhalte des Experteninterviews

Der folgende Abschnitt enthält den Aufbau des Experteninterview-Fragebogens. Die Hauptfragen wurden in zwei Fragenblöcke, „Markt“ und „Modularisierung“ aufgeteilt. Da die Studie auf Basis der „Grounded Theory Methodology“ durchgeführt wurde, wurden die Fragen stets weiterentwickelt, sodass der Fragebogen final folgende 18 Hauptfragen mit Unterfragen (z. B.: 1-1, 9-2, etc.) umfasst. Diese wurden jeweils mit optionalen Nebenfragen während des Interviews ergänzt. Abschließend wurden zwei weitere Fragen gestellt.

Kapitel 1: Informationen zur Studie

- Vorstellung des Projektteams
- Vorstellung Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
- Forschungsrahmen des vorliegenden Forschungsprojektes
- Ablauf des Experteninterviews
- Hinweise zur Durchführung der Online-Befragung

Kapitel 2: Experteninterview

Vorstellung der Person und des Unternehmens:

- Wie lautet Ihr Name?
- Welche Position nehmen Sie im Unternehmen ein?
- Wie lange sind Sie bereits in dieser Funktion tätig
- Was sind Ihre Tätigkeitsschwerpunkte?
- In welcher Branche / Produktbereich ist Ihr Unternehmen tätig?
- Wie viele Mitarbeitende hat Ihr Unternehmen und wo liegt der Hauptsitz?
- Welche Rolle nimmt Ihr Unternehmen in der Supply-Chain ein?

Beginn Fragenblock „Markt“

Frage 1-1: Anhand welcher Kriterien unterscheiden Sie Low-End-, Mid-Range- und High-End-Produkte in Ihrer Branche voneinander? Stimmen Sie zu oder stimmen Sie nicht zu?

Low-End-Produkte haben im Vergleich zu High-End-Produkten:

- a) geringe Anschaffungskosten
- b) eingeschränkte Leistungsfähigkeit einzelner Produktmerkmale
- c) reduzierte Anzahl an Produktmerkmalen
- d) geringere Genauigkeit/Qualität des Endprodukts
- e) angepasste Baugeometrie (Größe, Gewicht, Tragbarkeit)
- f) geringere Produktivität des Produkts

Frage 1-2: Anhand welcher Kriterien unterscheiden Sie Low-End-, Mid-Range- und High-End-Produkte in Ihrer Branche voneinander? Stimmen Sie zu oder stimmen Sie nicht zu?

Low-End-Produkte haben im Vergleich zu High-End-Produkten

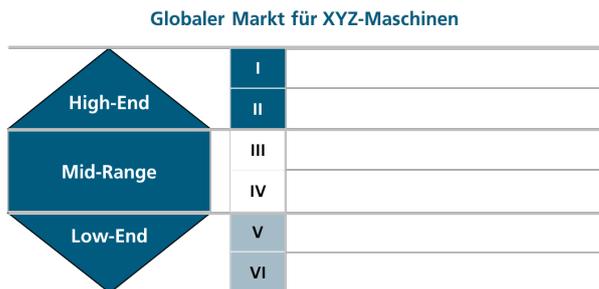
- g) einen reduzierte Automatisierungsgrad
- h) nur in Entwicklungs- oder Schwellenländern Einsatzmöglichkeiten
- i) geringere Verarbeitungsqualität einzelner Produktkomponenten
- j) geringere Umweltfreundlichkeit / Ökoeffizienz

Frage 1-3: Haben Sie weitere Ergänzungen zu den bisher genannten Kriterien?

Für die weitere Betrachtung soll der Fokus auf Ihren XYZ-Maschinen liegen

Frage 2: Welche durchschnittlichen Absatzstückzahlen erzielen Sie mit den einzelnen Produktfamilien?

Frage 3: Wie ordnen Sie Ihre Produktvarianten den dargestellten Segmenten (I–VI) zu?



Frage 4: Welche Mitbewerber hat Ihr Unternehmen im Produktbereich und wie ordnen Sie diese in die Segmente ein? Wo steht Ihr Unternehmen?

Frage 5: Gibt es Mitbewerber, deren Position sich in den vergangenen Jahren in den Segmenten (I–VI) verändert hat?

Frage 6: Welche Gründe spielen eine Rolle für die Positionierung Ihrer XYZ-Maschinen in den Segmenten (I–VI)?

Frage 7: Inwiefern kann für Unternehmen aus Ihrer Branche eine bewusste Positionierung in einem tieferen Segment Vorteile bieten?

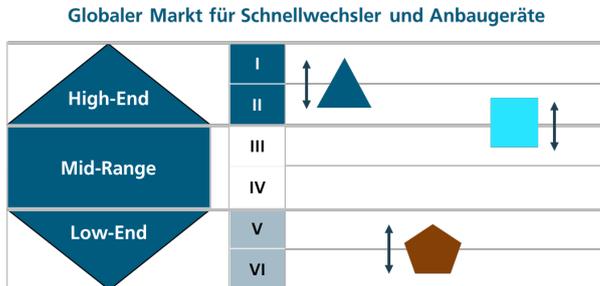
Frage 8: Anhand welcher Kriterien segmentieren Sie üblicherweise den Absatzmarkt Ihrer XYZ-Maschinen?

Beginn Fragenblock „Modularisierung“

Frage 9-1: Was verstehen Sie im Allgemeinen unter Modularisierung?

Frage 9-2: Verwenden Sie einen Modulbaukasten und standardisieren Sie Ihre Bauteile?

Frage 9-3: Inwiefern verwenden Sie gleiche Module über die Marktsegmente hinweg?



Frage 10: Inwiefern berücksichtigen Sie die Modularisierung bei der Entwicklung einer neuen Produktlinie oder Produktfamiliengeneration?

Frage 11: Inwiefern nutzen Sie die Modularisierung bei Kundenanfragen für Produkte, die nicht in Ihrem Portfolio enthalten sind?

Frage 12: Wie und in welchem Umfang verwenden Sie hierbei gleiche Komponenten oder Module zwischen Ihren Produktfamilien?

Frage 13: Wie und in welchem Umfang verwenden Sie hierbei gleiche Komponenten oder Module zwischen Ihren Produktvarianten?

Frage 14: Inwiefern betrachten/unterscheiden Sie bei der Modularisierung zwischen der Ebene der physischen Komponenten und der Softwareebene?

Frage 15: Anhand welcher betriebswirtschaftlichen und technischen Messgrößen bewerten Sie den Erfolg Ihrer Modularisierungsstrategie im Unternehmen?

Frage 16: Welche Vor- und Nachteile ergeben sich aus der Anwendung der Modularisierungsstrategie für Ihr Unternehmen?

Frage 17: Welche positiven und negativen Auswirkungen haben Modularisierungsstrategien auf Ihre Mitarbeiter in den Bereichen Einkauf, Entwicklung, Montage und Vertrieb?

Frage 18: Sehen Sie Ansatzpunkte, um Ihre Wertschöpfungskette mithilfe von Modularisierungsstrategien krisenfester zu gestalten?

Abschlussfragen

Abschlussfrage 1: Haben Sie weitere Punkte, die Sie gerne zum Thema ergänzen möchten?

Abschlussfrage 2: Was würden Sie sich aus Unternehmenssicht wünschen, um die im Interview angesprochenen Punkte zu verbessern?

Kapitel 3: Abschluss und Klärung offener Fragen

7.2 Klassifikation der befragten Unternehmen

Abbildung 21: Klassifikation der befragten Unternehmen

Betriebsklassengröße	Mitarbeiteranzahl	Zulieferpyramide	Branche	Bundesland	Stückzahl	Position Experte
Groß	16.000	OEM & System- und Modullieferant & Komponentenlieferant	28.41.0	Baden-Württemberg	250-750	Vertriebsleiter
Groß	14.000	OEM	28.41.0	Baden-Württemberg	40-600	Global Architect
Groß	10.000	OEM	28.95.0	Baden-Württemberg	10-40	Vice President Modular Design
Groß	7000	OEM & System- und Modullieferant	28.49.2	Baden-Württemberg	500-1.000	Teamleiter Entwicklung
Groß	6.821	OEM	28.41.0	Nordrhein-Westfalen	80-1000	Entwicklungsleiter
Groß	2800	Komponentenhersteller	28.15.0	Baden-Württemberg	6000	Teamleiter Entwicklung
Groß	2.500	OEM & System- und Modullieferant	28.41.0	Baden-Württemberg	10-1000	Entwicklungsleiter
Groß	2.300	OEM	28.41.0	Baden-Württemberg	60-300	CEO
Groß	1300	System- und Modullieferant	28.41.0	Baden-Württemberg	200	CTO
Groß	1073	OEM	28.49.2	Baden-Württemberg	2-300	Produktmanager & Konstrukteur
Groß	950	System- und Modullieferant	28.49.3	Baden-Württemberg	10000	Bereichsleiter Hauptprodukte
Groß	500	System- und Modullieferant	28.41.0	Bayern	*	Konstruktionsleiter
Groß	500	OEM	28.41.0	Niedersachsen	60-100	Vertriebsleiter
Groß	500	OEM	28.41.0	Bayern	10-75	Anwendungstechniker
Groß	450	System- und Modullieferant	28.29.0	Baden-Württemberg	5-35	Produktmanager & Entwicklungsleiter
Groß	350	OEM	28.99.0	Baden-Württemberg	14-70	Konstruktionsleiter
Mittel	220	System- und Modullieferant	28.29.0	Bayern	17-72	Konstruktionsleiter
Mittel	220	System- und Modullieferant	28.12.20	Baden-Württemberg	15.000-40.000	Teamleiter Konstruktion & Entwicklung & Konstrukteur
Mittel	200	OEM	28.41.0	Baden-Württemberg	2-18	Entwicklungs- und Konstruktionsleiter & Technischer Leiter
Mittel	177	OEM	28.49.2	Bayern	100-650	Leiter Elektrokonstruktion und Softwareentwicklung
Mittel	150	OEM	28.30.0	Baden-Württemberg	400-2000	Produktmanager
Mittel	140	System- und Modullieferant	28.41.0	Baden-Württemberg	30-60	Bereichsleiter Maschinenentwicklung
Mittel	120	OEM	28.41.0	Hessen	3-5	Konstruktionsleiter
Mittel	100	OEM	28.99.0	Baden-Württemberg	40-55	Konstruktionsleiter
Mittel	90	System- und Modullieferant	28.41.0	Baden-Württemberg	10-15	Produktmanager
Mittel	80	OEM	28.30.0	Nordrhein-Westfalen	*	Leiter Engineering & Head of Program Management Office
						*Veröffentlichung nicht gestattet

Quelle: eigene Darstellung

7.3 Kennzahlen zur Messung der Modularität

Newcomb et al.	Cluster Independence
$CI = \frac{\text{Anzahl der Beziehungen innerhalb der Module}}{\text{Gesamtanzahl der Beziehungen}} \quad (0 \leq CI \leq 1)$	

Blees	Module Coupling Independence
$MCI = \frac{\text{Anzahl der Schnittstellen innerhalb der Module}}{\text{Gesamtanzahl der Schnittstellen}}$	

Blees	Module Driver Independence
$MDI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{alli} + C_{\infty i}}}{n}$	
<p> C_i: Anzahl der Komponenten mit Bezug zur Modultreiberausprägung i C_{alli}: Anzahl der Komponenten in Modulen mit Bezug zur Modultreiberausprägung i $C_{\infty i}$: Anzahl der Beziehungen der Komponenten in Modulen mit Bezug zur Modultreiberausprägung i zu Modulen mit Bezug zu anderen Modultreiberausprägungen n: Anzahl der Ausprägungen des Modultreibers </p>	

Jonas/Eilmus	Crossing Share
$CI = \frac{\text{Anzahl der übergreifend verwendeten Komponenten}}{\text{Gesamtanzahl der Komponenten}} \quad (\%)$	

Boothroyd	Schnittstellenkomplexität
$\text{Schnittstellenkomplexität} = \frac{\sum_{i=0}^{N_m-1} T_{BDi}}{3}$	
<p> N_m: Modulanzahl in einer Produktvariante T_{BDi}: Montagezeit für eine Schnittstelle i (empirisch ermittelt) </p>	

Pugh	Sortimentskomplexität
Sortiments – Komplexität = $\sqrt[3]{N_m * N_{mtot} * N_c}$	
<p>N_m: Modulanzahl in einer durchschnittlichen Produktvariante N_{mtot}: Modulvariantenanzahl in einer gesamten Produktfamilie N_c: Kontaktflächenanzahl zwischen den Modulen eines Produkts</p>	

Hölttä-Otto	Carryover und Specification Variety
$Y_{carry}^* = 10 * \frac{\text{Anzahl der Übernahmefunktionen}}{\text{Gesamtanzahl der Funktionen}}$	
$Y_{diff} = \frac{\text{Anzahl der Funktionen mit unterschiedlichen Spezifikationen}}{\text{Gesamtanzahl der Funktionen} * 0,01}$	

ISSN 2509-2359