

EPLAN

efficient engineering.



Schaltschrankbau 4.0

Eine Studie über die Automatisierungs- und Digitalisierungspotentiale in der Fertigung von Schaltschränken und Schaltanlagen im klassischen Maschinen- und Anlagenbau



PROZESSBERATUNG

ENGINEERING-SOFTWARE

IMPLEMENTIERUNG

GLOBAL SUPPORT



Dieses Dokument enthält rechtlich geschützte Informationen, die dem Urheber-, Marken-, Designrecht und anderen rechtlichen Bestimmungen unterliegen. Alle Rechte sind geschützt. Ohne ausdrückliche vorherige Zustimmung der EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG darf dieses Dokument weder vollständig noch in Auszügen kopiert oder anderweitig vervielfältigt werden.

Schaltschrankbau 4.0

Eine Studie über die Automatisierungs- und Digitalisierungspotentiale in der Fertigung von Schaltschränken und Schaltanlagen im klassischen Maschinen- und Anlagenbau

Philipp Tempel, Florian Eger, Armin Lechler, Alexander Verl

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart

30. April 2017



Universität Stuttgart

Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und
Fertigungseinrichtungen (ISW)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	8
2 Konstruktion und Engineering	12
2.1 Durchgängige Engineeringkette/Software	12
2.2 Weniger Vielfalt, mehr Denken in Funktionen	14
2.3 Dreidimensionale Konstruktionszeichnungen	17
3 Fertigung und Montage	19
3.1 Arbeitsvorbereitung, Kommissionierung und Logistik	19
3.2 Multimediale Endgeräte zur Informationsdarstellung	20
3.3 Mechanische Bearbeitung und Bestückung	23
3.4 Elektrische Bestückung und Verdrahtung	26
3.5 Prüfung	30
3.6 Ergonomie und Arbeitsplatzgestaltung	32
4 Trends in der Schaltschrankfertigung	33
5 Zusammenfassung	35

Abbildungsverzeichnis

1.1	Betrachtete Teilschritte in dieser Studie zur Schaltschrankfertigung: Die Auftrags-generierung sowie Inbetriebnahme des Schaltschranks bzw. der Maschine/Anlage werden nicht näher betrachtet.	8
1.2	Verlauf der gesamten Arbeitszeiten von klassischer über standardisierte bis hin zu automatisierter Schaltschrankfertigung für Konstruktion/Engineering und Fertigung/Montage	10
2.1	Anteil der Arbeitsschritte in der Konstruktion/Engineering an der gesamten Konstruktionszeit eines Schaltschranks	12
3.1	Anteil der Arbeitsschritte in der Fertigung/Montage an der gesamten Montagezeit eines Schaltschranks	19

Tabellenverzeichnis

1.1	Kategorien zur Einordnung der befragten Unternehmen im Bereich Konstruktion/ Engineering und Fertigung/Montage	9
1.2	Komponenten in einem durchschnittlichen Schaltschrank und ihre durchschnittliche Arbeitszeit je Komponenteneinheit, welche die gesamte durchschnittliche Fertigungszeit eines Schaltschranks bestimmt	11



Einleitung

Der Trend in Richtung Industrie 4.0 ist nicht erst seit gestern im Maschinenbau angekommen. Dies spiegelt sich neben den aktuellen Bestrebungen von Unternehmen im klassischen Maschinenbau auch seit vielen Jahren in der Forschung wider. So auch in der Forschung des Instituts für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW) der Universität Stuttgart. Eine Vielzahl von Projekten erforscht hier unter anderem Steuerungstechnik aus der Cloud, Mehrwertdienste für Maschinenbauer und -anwender, aber auch einer modernen verknüpften Produktionsanlage, die Forschungsfabrik Arena 2036. Der Fokus hierbei liegt auf der modernen Fertigungsanlage für das Automobil der Zukunft, dennoch werden hier gleiche Probleme wie im klassischen Maschinenbau zu lösen sein: Wie kann eine Produktion vernetzt werden und die daraus entnehmbaren Daten nutzen, um nicht nur einen Produktionsschritt, sondern eine ganze Wertschöpfungskette zu optimieren? Vor allem die Bereiche Konstruktion und Fertigung sind zwei unterschiedliche Bereiche in der Wertschöpfungskette eines Produktes, bei denen die Arbeiter nicht nur unterschiedliche Ausbildungswege durchlaufen haben, sondern bei denen auch verschiedene Arbeitsweisen, Methodiken und Tools zur Anwendung kommen. Häufig stellt sich ein Ingenieur die Arbeitsweisen in der Fertigung anders vor, als diese letzten Endes vorzufinden sind. Beide Seiten wollen dasselbe Ergebnis, verwenden aber unterschiedliches Vokabular, um dieses auszudrücken.

Am Beispiel der Schaltschrankfertigung sollen nun das in bereits erforschten Bereichen gewonnene Wissen übertragen und die Wertschöpfungskette eines Schaltschranks für Werkzeugmaschinen oder -anlagen analysiert werden. Von allen Arbeitsschritten in der Entstehung einer Werkzeugmaschine oder Anlage (siehe Abbildung 1.1) wurden die Teilschritte „Auftragseingang“ bzw. „Auftragserfassung“ und „Inbetriebnahme“ der Maschine/Anlage in dieser Studie nicht näher betrachtet. Die Fertigung von Schaltschränken ist ein weitestgehend manuell getätigter Prozessschritt, der unter dem Druck nach immer kürzeren Lieferzeiten und hohem Individualisierungscharakter der Werkzeugmaschinen leidet. Schaltschrankbauer müssen schnell und flexibel auf Anforderungen reagieren sowie bestehende und zukünftige Herausforderungen effizient bewältigen. Die vierte industrielle Revolution bietet hierzu eine Vielzahl Möglichkeiten, Herr dieser neuen Herausforderungen zu werden. Mit der Fragestellung „Wie sieht die Zukunft der Fertigung von Schaltschränken aus?“ wurde der Grundstein für die Studie gelegt, an der Firmen aus unterschiedlichen Bereichen des Maschinenbaus teilnahmen. Die Auswahl der Unternehmen bietet dabei einen breiten Querschnitt durch das Unternehmensfeld in Deutschland. Sowohl kleine Maschinen- und



Abbildung 1.1: Betrachtete Teilschritte in dieser Studie zur Schaltschrankfertigung: Die Auftragsgenerierung sowie Inbetriebnahme des Schaltschranks bzw. der Maschine/Anlage werden nicht näher betrachtet.

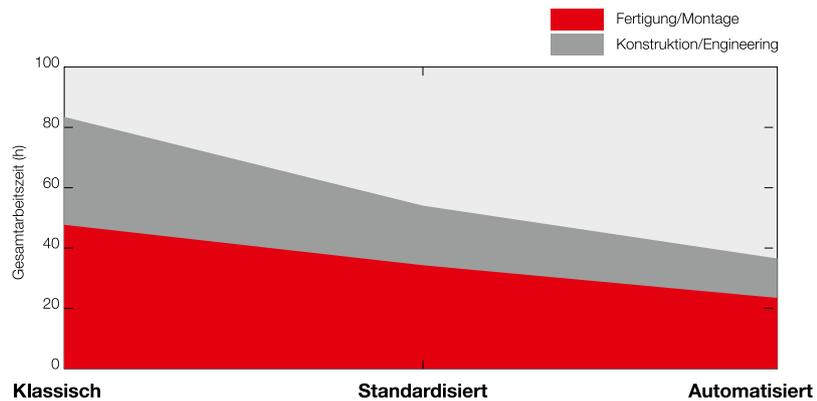
Tabelle 1.1: Kategorien zur Einordnung der befragten Unternehmen im Bereich Konstruktion/Engineering und Fertigung/Montage

Kategorie	Konstruktion/Engineering	Fertigung/Montage
Klassisch	Projekt- oder auftragsorientiertes Arbeiten Erstellung des Stromlaufplanes (SLP) Schematischer Aufbauplan Stückliste in Excel (manuell)	Basis der Fertigung ist SLP, Seite für Seite wird gefertigt Keine Konfektionierung
Standardisiert	Übergang projektorientiertes zu vorlagenorientiertem Engineering Templates vorhanden Automatisch Drahtlisten erzeugbar Hoher Wiederholungsgrad	Listen als Basis der Fertigung Konfektionierung NC-Maschine Drahtsätze Teilweise Fließfertigung
Automatisiert	Generierungstechnik, Optionstechnik oder Maximalprojekttechnik Hersteller mit Konfiguratoren	Linienfertigung, Handlingsysteme Konfektionierung aller Komponenten Gute Auslastung von Maschinen

Anlagenbauer, mit nur wenigen dutzend gefertigten Schaltschränken und -anlagen pro Jahr, als auch große, namhafte Unternehmen haben an der Studie teilgenommen und uns einen Einblick in die Abläufe ihrer Schaltschrankfertigung gewährt. Insgesamt umfasst die Studie 12 teilnehmende Unternehmen.

Um ein Bewusstsein in der Branche für die Bedeutung der Schaltschrankfertigung zu schaffen, wurden die Unternehmen zunächst mit einem Fragebogen klassifiziert. Diese Klassifizierung diente der Vorbereitung der Vor-Ort-Gespräche mit diesen Unternehmen und wurde entsprechend der Einordnung aus Tabelle 1.1 durchgeführt. Dabei wurde zwischen „klassischen“, „standardisierten“ und „automatisierten“ Schaltschrankfertigungen unterschieden, welche sowohl auf den Bereich Konstruktion/Engineering als auch auf die Fertigung/Montage separat zutreffen können. Darüber hinaus wurden die Unternehmen gebeten, ihre Schaltschrankfertigung in Zahlen zu fassen, so dass ein Vergleich, basierend auf einem durchschnittlichen Schaltschrank, wie er in Tabelle 1.2 gegeben ist, möglich wurde. Durch diese Quantifizierung können Fragen beantwortet werden, die über eine subjektive Erfassung von Eindrücken hinausgehen und objektive, quantitative Aussagen zum Ziel haben. Dies ermöglicht eine Aussage über die Verteilung der Arbeitszeiten in beiden Bereichen der Schaltschrankfertigung, wie sie in den Abbildungen 2.1 und 3.1 dargestellt werden.

Abbildung 1.2: Verlauf der gesamten Arbeitszeiten von klassischer über standardisierte bis hin zu automatisierter Schaltschrankfertigung für Konstruktion/Engineering und Fertigung/Montage



Aus diesen quantitativ erfassten Werten lassen sich Zeitersparnisse zwischen den Kategorien festhalten, welche durch ausgearbeitete Potentiale untermauert werden. Beispielsweise können Unternehmen, die heute noch projekt- oder auftragsorientiert arbeiten, durch den Umstieg auf funktionsorientiert aufgebaute, modulare Stromlaufpläne bei ihrem Engineeringprozess bereits bis zu 45 % der benötigten Zeit einsparen. Neben einigen pragmatischen Verbesserungsansätzen beschäftigt sich die Studie mit dem Einsatz 3-dimensionaler Fertigungsdaten. Welche Potentiale und Chancen bietet das 3-dimensionale Erstellen von Konstruktionszeichnungen und ist dies der Schlüssel zur Digital Factory? Zusätzlich beleuchtet die Studie die Arbeitsweise in den Fertigungshallen und stellt diese der Fertigung von Automobilen gegenüber. Bekanntlich wird hier auf eine Fließfertigung gesetzt; trotz sehr hohen Individualisierungscharakters der Fahrzeuge ist hier eine hohe Standardisierung der Komponenten im Einsatz. Gibt es ähnliche Methodiken in der Fertigung von Schaltschränken und Schaltanlagen?

Diese Studie ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 werden Potentiale im Bereiche Konstruktion und Engineering dargestellt. Abschnitt 3 beschäftigt sich intensiver mit dem Bereich Fertigung und Montage. In beiden Abschnitten werden einzelne Tätigkeitsfelder beschrieben, deren Probleme und mögliche Lösungsansätze sowie deren Potentiale dargestellt. Von den Unternehmen absehbare Trends in Schaltschränken und der Schaltschrankfertigung werden in Abschnitt 4 vorgestellt. In Abschnitt 5 schließt die Studie mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf die Schaltschrankfertigung 4.0 der Zukunft ab.

Tabelle 1.2: Komponenten in einem durchschnittlichen Schaltschrank und ihre durchschnittliche Arbeitszeit je Komponenteneinheit, welche die gesamte durchschnittliche Fertigungszeit eines Schaltschranks bestimmt

Materialprofil (Durchschnitt)	Arbeitseinheit (AE)	Zeit/AE min
Löcher (Bohrungen im Korpus)	10	5
Ausschnitte (Korpus)	4	10
Kabelkanäle (Schnitte)	20	1,5
Löcher/Gewinde Montageplatte	100	2
Bestückung Betriebsmittel	30	2
Beschriftungen (Betriebsmittel)	200	2
Verdrahtungsverbindungen	500	4,5
Klemmleistenaufbau	130	1
Prüfung	1	240
Fertigungszeit gesamt		57 h

Konstruktion und Engineering

In diesem Abschnitt werden die Arbeitsschritte in der Konstruktion und dem Engineering von Schaltschränken untersucht. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Anforderungen an die Maschine, Anlage oder den Schaltschrank bekannt und ausformuliert sind. Aufbauend auf diesen werden Konstruktionszeichnungen entwickelt, Stromlaufpläne (SLP) konstruiert, woraus die Stücklisten abgeleitet werden können, um Bestellungen auszulösen. Die genauer untersuchten Arbeitsschritte sowie deren wesentlichen Arbeitszeitanteile sind in Abbildung 2.1 dargestellt. Die Phasen der Projektierung und Stromlaufplankonstruktion benötigen dabei über 50 % der Konstruktionszeit, worin ein erhebliches Einsparpotential gesehen werden kann. Auch die darauffolgenden Schritte der Prüfung der SLP und das Ausleiten notwendiger Dokumente benötigen fast ein Drittel der gesamten Arbeitszeit. In diesen Arbeitsschritten sind, wie in diesem Abschnitt ausgeführt wird, Optimierungspotentiale versteckt, deren Ausnutzung zeitliche und ökonomische Einsparungen mit sich bringt.

2.1 Durchgängige Engineeringkette/Software

Heutige Produktentstehungsprozesse (PEP) sind meist nur möglich durch intensive Nutzung softwarebasierter Systeme zur Aufgabenlösung. Dem geschuldet ist die Anzahl verschiedener Softwarelösungen, da eine gute Software in der Regel nur eine geringe generalisierte Einsatzfähigkeit bietet: Ein Beispiel: Es gibt CAD-Software sowohl für Architekten als auch für Ingenieure, allerdings können damit keine Kalkulationen oder Bestellungen durchgeführt werden. Hierfür gibt es Lösungen wie Excel oder ERP-Programme. Es liegt auf der Hand, dass für die verschiedenen Arbeitsschritte in der Schaltschrankfertigung unterschiedliche Softwarelösungen genutzt werden (müssen). Eine in der CAD-Software erstellte Konstruktionszeichnung muss nun, um sie im Einkauf und der Logistik weiter nutzen zu können, in andere Datenformate überführt werden.

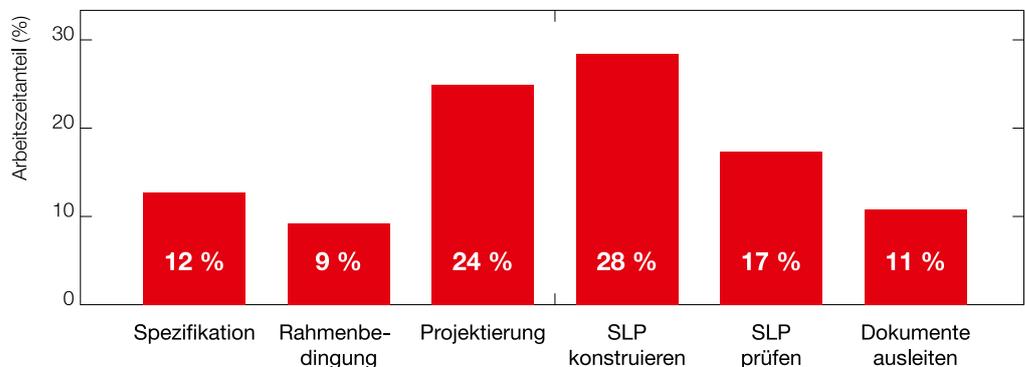


Abbildung 2.1: Anteil der Arbeitsschritte in der Konstruktion/Engineering an der gesamten Konstruktionszeit eines Schaltschranks

Da die frühere Softwarelandschaft viele kleine Insellösungen erzeugt hat, ist ein nahtloser Transfer von CAD-Daten zum Einkauf, der Arbeitsvorbereitung und der Logistik bzw. Qualitätskontrolle nicht ohne Weiteres möglich. Zwar gibt es heutzutage integrierte Lösungen wie z. B. das EPLAN Engineering Configuration, welches neben CAD/CAE-Konstruktionen den gesamten PEP abbilden kann, allerdings kommen derartige Softwarelösungen bei vielen Unternehmen nicht zum Einsatz. Lediglich 18 % der teilnehmenden Unternehmen nutzen seit kurzem das erwähnte Tooling der Firma EPLAN, um ihre neuen Maschinen- und Anlagenserien auch über den integrierten Konfigurator schneller verwalten und einfacher konfigurieren zu können. Bei den verbleibenden 82 % der Unternehmen werden sehr unterschiedliche Softwarelösungen für CAD, CAE, ERP etc. eingesetzt. In vielen Fällen wird die wohl bekannteste CAD-Software SolidWorks verwendet, allerdings in Kombinationen mit unterschiedlichen ERP-Lösungen. Hier kommen Softwarelösungen von abas, SAP, Infor oder BAAN zum Einsatz. Im Bereich CAE-Konstruktionen wird bis auf wenige Ausnahmen EPLAN P8 in Kombinationen mit ProPanel verwendet.

Das Problem an der Verwendung einzelner, spezialisierter Softwarelösungen rührt von der Datenisolation her: Die Dateiformate und hinterlegten Dateien aus z. B. SolidWorks lassen sich nicht ohne Weiteres in SAP o. Ä. importieren und damit einfach weiterverwenden. Eine Lösung für den Datentransfer haben die meisten Unternehmen selber erzeugt: Bei geringer Anzahl von Schaltschranken pro Jahr werden die ableitbaren Dokumente und Daten manuell in die entsprechende Software zur Weiterverarbeitung transferiert. Eine großteils automatisierte Lösung über den Export in XML-Dateien, welche anschließend halbautomatisiert importiert werden können, haben sich 90 % der Firmen selber erstellt. Durch den eigenen Wunsch nach einer geschlossenen (oder zumindest weniger lückenhaften) Engineeringkette, entwickelten Softwareingenieure eigene Makros bzw. Plug-ins für die entsprechende Software. Die Wartung und Anpassung solcher Software-Plug-ins ist mitunter sehr zeit- und kostenanfällig und wird daher von den Unternehmen nicht forciert. Daher werden auch mitunter nicht immer die neuesten Versionen entsprechender Softwarelösungen verwendet.

Für viele Unternehmen ergeben sich aus diesem sehr diversifizierten Softwarekatalog Hindernisse im Engineering, aber auch in der Fertigung. Klassisch einzuordnende Unternehmen weisen noch eine Vielzahl manueller Arbeitsschritte im Datentransfer auf (z. B. die Erstellung der Stücklisten oder der Klemmenbeschriftungen). Unternehmen, welche ihre Schaltschrankfertigung standardisiert haben, können bereits auf automatische Generierung der notwendigen Dokumente aus der Konstruktionszeichnung zurückgreifen, wohingegen die automatisierte Schaltschrankfertigung auf eine integrierte Softwarelösung Zugriff hat, um die Daten nicht mehr von einer Softwarelösung in eine andere transferieren zu müssen.

Es sind nun drei Ansätze denkbar, um dieser Problematik Herr zu werden: Es ist möglich, eine Softwarelösung zu nutzen, welche in allen – oder zumindest den wichtigsten Schritten

der Schaltschrankfertigung – einsetzbar ist (dies wären CAD/CAE-Konstruktionen, Erzeugung von Fertigungszeichnungen, Vorkonfektionierung der Drähte und Klemmen). Oder es lassen sich über offene Schnittstellen innerhalb der Softwarekette die notwendigen Informationen einfach extrahieren bzw. importieren. Dies ist natürlich nur beschränkt möglich, da nicht immer alle notwendigen Daten in jeder Software hinterlegt werden können oder müssen. Dazu sind die vorhandenen Datenmodelle in der Regel nicht ausgelegt (ein Speichern des Listenpreises eines Umrichters ist dabei nicht von Bedeutung in einer CAD/CAE-Zeichnung, umgekehrt sind Angaben über die Abmessungen eines Betriebsmittels in einer Stückliste eher irrelevant). Zu guter Letzt könnte ein einheitliches Dateiformat zur Speicherung der Projekte eingeführt werden. Eine CAD/CAE-Software würde dann nur die für den Arbeitsschritt notwendigen Daten einlesen und wieder speichern, Gleiches würde für andere Softwares gelten.

Unter der Voraussetzung, dass eine vollintegrierte Software für die Verwaltung von Projekten in der Schaltschrankfertigung existiert, bleibt weiterhin die Frage des Umstiegs offen. Viele Firmen setzen seit vielen Jahren auf die gleiche Software und haben dementsprechend Erfahrung im Umgang damit sammeln können. Gerade für neue Kollegen ist dieses gesammelte Wissen ein immenser Benefit beim Einstieg in den Beruf. Umgekehrt ist es als nicht zu missachtendes Hindernis zu sehen, eine neue Software in einem etablierten Engineeringprozess einzuführen. Nicht nur ist es für die Ingenieure ein einmaliger Mehraufwand, die neue Software zu erlernen, es muss auch ein datenkonformer Transfer laufender und abgeschlossener Projekte stattfinden.

Auf der anderen Seite steht den Hindernissen eine Verbesserung der Arbeitsweise gegenüber. Nicht nur können Projekte mit einer integrierten Softwarelösung schneller realisiert werden, es entstehen auch weniger Fehler beim manuellen Transfer von Daten. Eine Steigerung der Effizienz von bis zu 43 % im Engineering wurde von den befragten Unternehmen abgeschätzt.

2.2 Weniger Vielfalt, mehr Denken in Funktionen

Ähnlich wie in der Automobilindustrie, in der keine zwei hintereinander gefertigten Fahrzeuge gleich sind, ist auch bei der Schaltschrankfertigung eine hohe Varianz der Funktionalitäten anzutreffen. Natürlich ist die Kombinationsmöglichkeit nicht absolut so groß wie bei einem Fahrzeug, die Vielfalt ist dennoch sehr groß. 63 % der befragten Unternehmen geben an, mehr als 50 % Sonderanteil in ihren Schaltschrank zu haben, bei jeweils 27 % wird eine geringe Varianz (kleiner 20 %) sowie ein Verhältnis von 50 % Serienanteil zu Sonderanteil angegeben. Lediglich 9 % haben überwiegend Serienprodukte in ihrer Schaltschrankfertigung.

Das Engineering eines Schaltschranks verläuft bei 27 % der Firmen noch in einer sehr stark projekt- und auftragsorientierten Arbeit ab (klassisches Engineering): Aus den Anforderungen an die Maschine (oder den Schaltschrank bzw. die Schaltanlage bei der Lohnfertigung) entsteht eine Liste einzubauender Betriebsmittel. Diese Liste wird anschließend in einer CAD/CAE-Software in eine 2-dimensionale CAD-Konstruktionszeichnung zur genauen Platzierung der Komponenten und eine CAE-Zeichnung bzw. einen SLP überführt. Aus diesen Dokumenten werden dann die vollständigen Stücklisten, das heißt inklusive Anzahl und Art der Klemmen, Schütze etc., abgeleitet. Ein klarer Nachteil dieser Arbeitsweise: Für jeden Schaltschrank wird das sprichwörtliche Rad neu erfunden. Dies ist sowohl zeit- als auch kostenintensiver als Arbeiten mit standardisierten Komponenten, darüber hinaus können Gewohnheitsfehler auf diese Weise immer wieder auftreten; ebenso ist eine manuelle Prüfung der Verdrahtung immer notwendig, da Fehler nicht ausgeschlossen werden können.

Demgegenüber steht der Großteil der befragten Unternehmen mit 72 %, bei denen bereits mit vorlagenorientiertem Engineering gearbeitet wird. Der hohe Wiederholungsgrad ergibt sich hier aus der Verwendung von Projektvorlagen, die entweder auf Basis einer Serie oder auf Basis bestimmter Grundfunktionalitäten erfolgt. Darüber hinaus müssen im Engineering nur noch die zusätzlichen Komponenten eingefügt werden – wurden diese bereits als funktionale Einheiten erstellt, sollte der Integrationsschritt kurz und fehlerfrei sein. Bei 23 % der Unternehmen, die standardisiertes Engineering betreiben, wird seit Kurzem ein Konfigurator für das Erstellen der Konstruktionszeichnungen verwendet. Hierbei werden die einzelnen funktionalen Einheiten einer Maschine oder Anlage mit ihren entsprechenden Schnittstellen und weiteren Informationen in einer Datenbank hinterlegt. Der Konstruktionsaufwand reduziert sich hierbei auf ein Minimum, da der Konfigurator die meisten Arbeiten übernimmt: Der Ingenieur wählt im Konfigurator die Basismaschine aus, anschließend die Funktionen, die der Kunde wünscht. Nachdem der Konstrukteur die Maschine so zusammengestellt hat, können die CAD- und CAE-Zeichnungen automatisch generiert werden. Das Prüfen des Schaltschranks übernimmt der Konfigurator, egal ob es fehlende Komponenten, widersprüchliche Kombinationen oder fehlende Belegungen von Klemmen oder Schützen betrifft.

Die Arbeitsweise in der heutigen Schaltschrankfertigung ist tief in der Herangehensweise an die Entwicklung eines Schaltschranks verwurzelt. Der größere Teil heutiger Konstrukteure kennt eine aufgabenorientierte Arbeitsweise, bei der eine gegebene Aufgabe bzw. ein gegebenes Projekt den Anforderungen nach erfüllt werden soll. Ein unkonventionelles Denken, in diesem Fall besser beschrieben mit funktionalem Denken, ist dabei nicht vorgesehen. Dabei können durch das Einführen funktionaler Einheiten (FE) die Arbeitsschritte wesentlich vereinfacht und beschleunigt werden. Funktionale Einheiten sind dabei auf Basis der Maschine oder Anlage zu sehen, welche in einem Schaltschrank abgebildet werden. Als Beispiel kann hier der Kompressor der Werkzeugaufnahme bei spanenden

Bearbeitungszentren angeführt werden. Hierfür sind, auf der elektrotechnischen Seite, Drucksensoren inkl. I/O-Klemmen, die I/O-Klemme des Kompressors sowie die Spannungsversorgung notwendig. Diese FE kann einmalig entworfen werden, die internen SLP (d. h. ohne Kommunikation zur FE) erstellt und geprüft werden, so dass ein anschließendes Verwenden dieser FE im Engineering möglich ist. Es ergibt sich von selber, dass die Prüfung dieser Komponente entfällt bzw. auf ein Minimum, nämlich der Prüfung des SLP an der Schnittstelle zur FE hin, reduziert werden kann.

Eine Tatsache, welche die Einführung eines standardisierten Engineerings verhindern kann, darf dabei nicht unerwähnt bleiben: Die Ausbildung der Konstruktionsingenieure muss anders ausgerichtet bzw. aufgebaut werden. Es muss ein Umdenken von projekt-orientiertem Arbeiten hin zum Denken in modularen mechatronischen Einheiten erfolgen. Diese neue Ausrichtung der Ausbildung sollte dabei nicht nur in den (Fach-)Hochschulen und Berufsakademien, sondern auch bei internen Schulungen und Weiterbildungen der Mitarbeiter berücksichtigt werden.

Für die Mehrzahl der befragten Unternehmen (55 %) kommt ein Engineering und Fertigen in modularer Weise nicht in Frage. Als wichtigste Argumente gegen das Einführen einer funktionalen Entwicklung wird der hohe Aufwand der konstruktiven Erstellung der FE sowie die hohe Optionsvielfalt der Schaltschränke bzw. Maschinen/Anlagen angeführt. Daran anschließend wird argumentiert, dass fehlende Kompetenzen im Erstellen der FE hinderlich sind, da nicht klar ist, nach welcher Vorgehensweise ein Schaltschrank bzw. eine Maschine/Anlage in funktionale Einheiten unterteilt werden kann. Unter Umständen ist dieser Schritt schon gar nicht mehr in der Schaltschrankfertigung, sondern bereits bei der Entwicklung einer neuen Maschinenserie zu tätigen.

Firmen, die bereits funktionales Engineering betreiben – und sich dadurch die Verwendung eines (Online-)Konfigurator ermöglicht haben –, berichten von einem erheblichen Zeitgewinn in der Entwicklung des Schaltschranks. Bis zu 44 % Zeit- und damit Kostenersparnis sind hier möglich. Der Hauptteil der Projektarbeit besteht nun nur noch im Sichten des Auftrages auf Verfügbarkeit der Komponenten und in einer kurzen Sichtprüfung der Konstruktionszeichnungen (CAD und CAE). Allerdings müssen neue Arbeitsgebiete geschaffen werden, welche die Standardisierung der Maschinen und die Erstellung und Wartung der FE durchführen. Dies kann jedoch unabhängig laufender Aufträge erfolgen und ist daher als kontinuierlicher Verbesserungsprozess zu betrachten.

Die Vorteile eines funktionsorientierten Engineerings liegen klar auf der Hand. Durch das Verwenden funktionaler Einheiten lässt sich der Prüfaufwand auf ein Minimum reduzieren bzw. unabhängig der eigentlichen Projektentwicklung durchführen. Zu guter Letzt können Konstruktionspläne, die aus einer standardisierten Engineeringkette abgeleitet werden,

grundsätzlich als fehlerfrei angenommen werden. Konstruktionsingenieure können dadurch entlastet werden, Mechaniker und Elektriker können effizienter arbeiten, da die in der Fertigung vorliegenden Pläne in der Regel korrekt sind.

2.3 Dreidimensionale Konstruktionszeichnungen

Eine Konstruktionszeichnung kann nur so gut sein wie die darin enthaltenen Angaben und daraus direkt ableitbaren Informationen. Darüber hinaus zeichnet sich eine gute Konstruktionszeichnung durch schnell lesbare und erkennbare Informationen aus, welche auch ohne große Kenntnisse des zu erzeugenden Objektes verstanden werden können. Für den Mechaniker oder Elektriker ist eine Konstruktionszeichnung essentiell, um eine korrekte und fehlerfreie Fertigung durchführen zu können. Auf Seiten der Konstrukteure/Ingenieure ist die Konstruktionszeichnung aber noch mehr: Sie ist ein evolutionäres Dokument, welches über die Projektzeit hinweg angepasst und verändert wird. Kleine Hilfestellungen, wie eine verbesserte virtuelle Darstellung zur besseren visuellen Wahrnehmung, können dabei einen erheblichen Mehrwert generieren und die Fertigung um einiges vereinfachen. Moderne Computer sind heutzutage in der Lage, auch komplexe, 3-dimensionale Objekte visuell einfach darzustellen, so dass auch ein Laie sie direkt erkennen kann. Dennoch werden in der Schaltschrankfertigung bei 63 % der Unternehmen noch 2-dimensionale Konstruktionszeichnungen erstellt. Dies hat für den Ingenieur den Nachteil, dass nur zwei der drei wichtigen Dimensionen in der Auslegung genutzt werden können. Da gerade in der Schaltschrankfertigung der Platz nicht unendlich zur Verfügung steht, müssen Komponenten auch an die Seitenwände oder die Schaltschranktür befestigt werden. Ohne eine gute visuelle Hilfe ist das Erkennen räumlicher Kollisionen in einer rein ebenen Zeichnung nicht möglich. Darüber hinaus lassen sich in der ebenen Darstellung eines Schaltschranks keine Metainformationen wie z. B. Drahtlängen auslesen, da die Höhe von Betriebsmitteln nicht bekannt ist und daher keine korrekte Drahtlänge bestimmt werden kann.

Die Mehrheit der befragten Unternehmen setzt noch auf 2-dimensionale Konstruktionszeichnungen, da keine durchgängig implementierte Wertschöpfungskette 3-dimensionaler Zeichnungen vorhanden ist. Grund dafür ist ein hoher Zeit- und Kostenaufwand, den der Umstieg mit sich bringt. Neben der besseren visuellen Darstellung und Übersicht können in den räumlichen Konstruktionsplänen weitere Informationen gespeichert werden, die in anderen Prozessschritten verwendet werden können. Es lassen sich automatisiert die notwendigen Draht- und Kabellängen zwischen den einzelnen Komponenten sowie die Füllmenge der Kabelkanäle bestimmen. Die Konstruktionsmaße lassen sich korrekt bestimmen, da die räumliche Verteilung der BM vorab geprüft werden kann, wodurch sich die mechanische Bearbeitung des Schaltschranks automatisieren lässt. In der mechanischen und elektrischen Fertigung können die Konstruktionsmodelle virtuell angezeigt werden, wodurch der Werker

ein direktes, visuelles Feedback hat, um die Korrektheit seiner Arbeitsschritte zu prüfen. Neben der direkten Arbeitsschrittprüfung können die Informationen eines 3-dimensionalen Schaltschranks auch für einen sogenannten Digital Twin genutzt werden. Neben der realen Fertigung des Schaltschranks kann parallel dazu ein virtuelles Abbild des Schrankes aufgebaut und anschließend geprüft werden. Erfolgt dies bereits vor dem Beginn der Fertigung, kann der virtuelle Schaltschrank für eine virtuelle Inbetriebnahme der Steuerungssoftware genutzt werden, wodurch dieser Schritt zum Ende der Fertigung entfallen kann.

Generell stellt sich bei dieser Thematik aber die Frage, warum im Engineering noch 2-dimensionale Konstruktionspläne erzeugt werden, da die Fertigung eines Schaltschranks ohnehin in drei Dimensionen erfolgt. Diese Dimensionsreduzierung ist eher kontraintuitiv und kontraproduktiv, dennoch in erster Linie häufiger praktiziert.

Um den vollen Mehrwert 3-dimensionaler Konstruktionen nutzen zu können, müssen Unternehmen in mehreren Fertigungsschritten die Potentiale dieser Technik nutzen. Im Engineering ergibt sich der größte Benefit, da hier diese Daten erstellt und geändert werden, wohingegen darauffolgende Arbeitsschritte in der Regel nur noch die Daten lesen. Neben der Einführung einer CAD- und CAE-Software, welche 3-dimensionale Zeichnungen ermöglicht, müssen auch die vorhandenen Daten erweitert und gegebenenfalls migriert werden. Gerade der Aufwand der Datenerweiterung (hinzufügen der Höhe der Bauteile bzw. hinterlegen der CAD-Modelle etc.) ist dabei die größte zu meisternde Hürde, welche auch bei vielen Unternehmen als Grund für eine fehlende Migration angeführt wird. Gerade im Zusammenhang mit einer gegebenenfalls vorhandenen Modularisierung oder Unterteilung des Schaltschranks in funktionale Einheiten kann es schwierig sein, die CAD-Daten korrekt aufzubereiten. Dennoch sollte der Zugewinn an Zeit nicht aus dem Auge verloren werden – bis zu 35 % der Engineeringzeiten und bis zu 22 % der Fertigungszeiten können eingespart werden, da den Konstruktionsplänen blind vertraut werden kann.

Drei-dimensionale Konstruktionszeichnungen bieten auch für die Werker und in der Fertigung selber Vorteile. Diese werden in den jeweiligen Abschnitten separat ausgeführt.

Fertigung und Montage

In diesem Abschnitt werden die Arbeitsschritte in der Fertigung und Montage von Schaltschränken untersucht. Hierbei wird davon ausgegangen, dass eine bestimmte Anzahl von Dokumenten aus dem Engineering vorhanden ist, die Bestellung der Komponenten ausgelöst und ein Großteil dieser bereits geliefert wurde. Die genauer untersuchten Arbeitsschritte sowie ihre wesentlichen Arbeitszeitanteile sind in Abbildung 3.1 dargestellt. Knapp 75 % der hier benötigten Arbeitszeit entfallen auf die Phasen der mechanischen Bestückung und der Verdrahtung (inkl. elektrische Bestückung), was ein großes Optimierungspotential vermuten lässt. Vorgelagerte und nachgelagerte Arbeitsschritte kumulieren sich auf die verbleibenden 25 %, wobei hier keine erheblichen Verbesserungen realisierbar sind. In diesen Arbeitsschritten sind, wie in diesem Abschnitt ausgeführt wird, Optimierungspotentiale versteckt, deren Ausnutzung zeitliche und ökonomische Einsparungen mit sich bringt.

3.1 Arbeitsvorbereitung, Kommissionierung und Logistik

Arbeitsvorbereitung wird auch im Schaltschrankbau großgeschrieben. Schaltschränke bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Klemmen und Drähten. Eine gut vorbereitete Fertigung fängt mit der Kommissionierung an. Unter Kommissionierung wird das Bereitstellen einer Menge an Komponenten, die für den individuellen Schaltschrank benötigt werden, verstanden. Eine längst in die Jahre gekommene Vorgehensweise übernimmt der Bestücker, er organisiert selbstständig die erforderlichen Komponenten, was lange und kreuzende Arbeitswege als Resultat hat. Tätigkeiten und Kompetenzfelder einzugrenzen ist der Schritt in Richtung Industrie 4.0, so können durch die Kommissionierung eines Großteils der Schaltschrankkomponenten Arbeitszeit und Kosten eingespart werden.

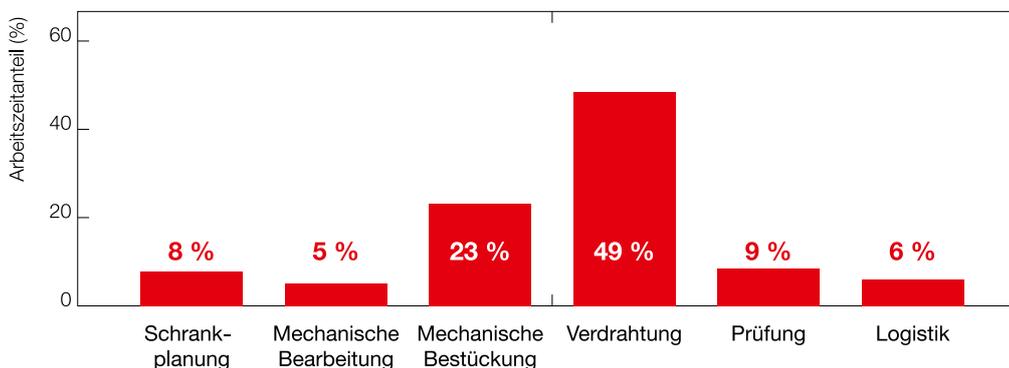


Abbildung 3.1: Anteil der Arbeitsschritte in der Fertigung/Montage an der gesamten Montagezeit eines Schaltschranks

Grundlegend werden Komponenten im Schaltschrankbau aufgrund ihrer Größe und ihres Verwendungszwecks in drei Kategorien untergliedert und sind dadurch an unterschiedlichen Orten in der Fertigungshalle aufzufinden. Zählbare Komponenten, zu denen Betriebsmittel wie beispielsweise Antriebsverstärker oder Klemmen zählen, werden in einem großen Warenlager aufbewahrt, welches Komponenten nach Bedarf auf Lager hat. Draht- und Kabelrollen sind in der Nähe der Fertigungsstation platziert, in der die Verdrahtung bzw. die Verkabelung stattfindet. Für die Kategorie der nicht zählbaren Komponenten, das Schüttgut, sind bei den besuchten Firmen vom zentralen Kanbansystem bis zum Kleinlager am Arbeitsplatz unterschiedliche Lagermethoden zu erkennen.

Wie bereits angesprochen besteht der Schaltschrank aus einer Vielzahl an Komponenten, aufgrund dessen ist die mechanische Bestückung und Verdrahtung ein langwieriger, manueller Arbeitsschritt. Dieser kann aber durch geschicktes Nutzen der in 3D-Modellen vorhandenen Informationen wesentlich beschleunigt werden. So können in einer dedizierten Arbeitsvorbereitung und Kommissionierung Klemmen bereits vorkonfektioniert (aufgereiht und gekennzeichnet) werden; der Einbau kann sich dadurch wesentlich verkürzen, da Laufwege entfallen. Gleiches gilt für die Verdrahtung: Mit durchschnittlich knapp 60 % Anteil an der Fertigungszeit können durch vorkonfektionierte Drähte oder Drahtsätze (korrekte Länge und Dicke mit Kabelschuhen versehen) Zeitersparnisse von bis zu 35 % erreicht werden. Gepaart mit einer Verdrahtung auf Listenbasis sind hier sogar Potentiale von bis zu 50 % erreichbar. Um diese Potentiale ausschöpfen zu können, müssen Arbeitsplätze entsprechend angepasst werden, um Boxen oder fahrbare Regale mit der kommissionierten Ware platzieren zu können. Gleichzeitig muss aus dem Engineering eine detaillierte und überprüfte Stückliste vorliegen, die eine korrekte Kommissionierung gewährleistet.

Aus der Studie wird deutlich, dass für den Schaltschrank der Zukunft, dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um eine Nest- oder Fließfertigung handelt, Betriebsmittel vorkommissioniert an den entsprechenden Stationen bereitgestellt werden und Schüttgut über ein Kanbansystem dem Arbeiter zur Verfügung stehen müssen.

3.2 Multimediale Endgeräte zur Informationsdarstellung

In der heutigen Zeit sind die Menschen tagtäglich umgeben von digitalen Geräten und multimedialen Informationsquellen. Die aktuellsten Börsenwerte, die neuesten Nachrichten oder auch Bilder der Freunde sind nur einen Fingerdruck entfernt. Die tägliche Nutzung des eigenen Smartphones oder des Tablets ist nichts Außergewöhnliches mehr. Da erscheint die in den Fertigungshallen der befragten Unternehmen anzutreffende, vornehmlich papierdokumentenbasierte Produktion zeitlich nicht sehr passend. Dennoch setzen alle der befragten Unternehmen auf eine primär analoge Dokumentensituation in der eigentlichen Fertigung,

mit wenigen Ausnahmen: Die Arbeitsvorbereitung liest die Liefer- und Lagerungslisten digital aus, um sie anschließend ausgedruckt den Kommissionierungswagen beizulegen. In der eigentlichen Fertigung der Schaltschränke hingegen, das heißt während der mechanischen und elektrischen Bearbeitung und Bestückung, kommen ausschließlich ausgedruckte Papierdokumente oder Handzettel zum Einsatz. Deren Verwendungszwecke reichen vom Stromlaufplan (SLP) oder der Verdrahtungsliste (VDL) über das Änderungsmanagement bis hin zur Dokumentation der Prüfung. Dokumentenberge von mehreren hundert Seiten sind keine Ausnahme.

In erster Linie ist eine papierdokumentenbasierte Produktion nicht von Nachteil. Allerdings entsteht aufgrund der schieren Menge an Blättern und Dokumenten eine Herausforderung, die Ordnung zu wahren. So hat ein SLP im Schnitt 320 Seiten, wobei der Elektriker bei der Verdrahtung mehrfach durch diese blättern muss, um das Ziel einer Verdrahtungsvorschrift zu finden. Eine einfache Darstellung der Routinginformationen, wie sie z. B. durch eine Verdrahtungsliste oder einen digitalen SLP realisiert werden kann, ist nicht möglich. Darüber hinaus sind Papierdokumente äußeren Umwelteinflüssen ausgesetzt – in einer Produktion, in der sprichwörtlich Späne fliegen, kann dies dazu führen, dass die Dokumente unleserlich oder unwillentlich zerstört werden. Neben dieser vermeintlichen Zerstörungsgefahr sind Änderungen, die während der Fertigung aufgenommen werden (z. B. Verschieben von Komponenten wegen Kollisionen oder Korrektur falscher Verdrahtungsangaben wie dreifacher Klemmenbelegung), zwar weniger problematisch, allerdings müssen diese ebenfalls erfasst und später mit den digitalen Dokumenten abgeglichen werden. Für diese Art von Änderungsmanagement gibt es zwei Herangehensweisen, die bei den befragten Unternehmen gleich häufig vertreten sind: Änderungen werden im entsprechenden Konstruktionsdokument (z. B. SLP) vermerkt, wobei ein zusätzlicher Zettel als Deckblatt alle geänderten Stellen aufführt, oder aber Änderungen werden ausschließlich in einer ausführlichen Änderungsliste bzw. -tabelle vermerkt. Beide Vorgehensweisen haben zur Grundlage ein weiteres, mehrere Seiten umfassendes Papierdokument, stellen also keine Verbesserung der eigentlichen Problematik dar. Darüber hinaus ergibt sich durch diese Arbeitsweise ein weiterer Arbeitsschritt bei der finalen Dokumentation, da die Änderungen aus den handschriftlichenzetteln entnommen und mit in die digitalen Konstruktionszeichnungen übertragen werden müssen. Als finales Manko der Papierdokumente, auch aus Sicht aller befragten Unternehmen, ist die Beständigkeit gegenüber Änderungen am Schaltschrank. Zwar können mit einem Stift problemlos Anmerkungen oder Änderungen eines Dokumentes hinzugefügt werden, allerdings können grundsätzliche Änderungen, z. B. der verwendeten Betriebsmittel aufgrund von Kundenänderungen, nicht ohne Weiteres vorgenommen werden. Da diese Modifikationen in der Regel durch die Konstruktionsabteilung durchgeführt werden, dauert es eine gewisse Zeit, bis die aktualisierten Konstruktionsdaten in der Fertigung ankommen. Dieser Wert wird von den befragten Unternehmen im Schnitt mit einer Woche angegeben, mit Spitzenwerten von bis zu zwei Wochen. In dieser Zeit können

weitere Änderungen vorgenommen worden sein, welche das gesamte Änderungsmanagement weiter verkomplizieren und den Nachteil einer papiergebundenen Datenpräsentation unterstreichen.

Um der Vielzahl verschiedener Dokumente und auch deren Seitenanzahl Einhalt zu gebieten, trifft der Gedanke einer digitalen Dokumentenmappe nicht nur bei den befragten Unternehmen auf offene Ohren, sondern wurde auch bereits bei einigen selber angedacht. Bei zwei Unternehmen werden erste Analysen ausgewertet, welche die Realisierbarkeit und den Aufwand der Einführung einer digitalen Dokumentenmappe abschätzen. Insgesamt wünschen sich viele Konstruktions- bzw. Fertigungsleiter, aber auch Mechaniker und Elektriker eine digitale Dokumentenmappe, welche es ermöglichen soll, Fertigungszeichnungen schneller zu sichten und weitere, fertigungstechnisch relevante Informationen darzustellen, worin ein erheblicher Mehrwert gesehen wird. Am Beispiel der Verdrahtung kann dies relativ einfach gezeigt werden: Die durchschnittliche Verdrahtungszeit auf Basis des SLP beträgt 54 h, wobei hier pro Schritt ca. 31 % der Zeit für reine Vorbereitungsaufgaben – u. a. lesen des SLP und finden von Quelle und Ziel – aufgewendet werden. Weitere 13 % der Arbeitszeit werden in das Vorbereiten des Drahtes – grobes Führen und Abschätzen der Drahtlängen – investiert, die verbleibenden 56 % sind das eigentliche Verdrahten – Ablängen, Kabelschuh aufbringen, Crimpen. Somit geht knapp ein Drittel der Arbeitszeit für das Lesen der Dokumente verloren – bei durchschnittlich 500 Drähten pro Schaltschrank und einer durchschnittlichen Arbeitszeit von 54 Stunden in der Verdrahtung sind das immerhin 16,74 Stunden pro Schaltschrank. Eine softwaregestützte Lösung, welche auf visuelle Art und Weise die Quelle und das Ziel eines Drahtes darstellen kann – sei es in einem digitalen SLP oder einer virtuellen, 3-dimensionalen CAD/CAE-Zeichnung – kann diesen Arbeitsaufwand um bis zu 81% reduzieren.

Auch in anderen Bereichen der Schaltschrankfertigung können digitale Endgeräte gewinnbringend eingesetzt werden. Der elektrischen Bestückung können Informationen über die Lage eines Betriebsmittels visuell angezeigt werden durch entsprechendes Hervorheben in der CAD-Zeichnung. Grundvoraussetzung für die Nutzung dieser neuen Medien sind aber auf jeden Fall vorhandene sowie auch konsistente und richtige Konstruktionszeichnungen. Informationen, die in der Fertigung angezeigt werden sollen, müssen während eines vorangegangenen Arbeitsschrittes erstellt worden sein. Mindestens bedeutet dies das Bestehen einer vollständigen und geprüften 2-dimensionalen Konstruktionszeichnung – ob diese durch Maximaltechnik oder Konfiguratoren entstanden ist, ist dabei von wesentlich geringerer Bedeutung. Neben der Generierung der korrekten Fertigungsdaten ist auch eine entsprechende Verfügbarkeit in der Fertigung zu realisieren. Dies ist in der Regel eine entsprechende informationstechnische Aufgabe, welche durch die firmeninterne IT-Abteilung oder durch externe Dienstleister bereitgestellt werden kann. In Abhängigkeit der bestehenden Produktionshallen ist hier eine drahtlose Kommunikation realisierbar, eventuell ist aber

auch eine kabelgebundene Lösung ausreichend. Auf Seiten der Anbieter einer solchen Softwarelösung ist ein durchgängiges Sicherheitskonzept zu entwickeln, welches durch rollenbasierte Berechtigungen unwillentliche oder gar vorsätzliche Änderungen der Fertigungszeichnungen verhindert. Eine Freigabefunktion der Änderungen, die bei der abschließenden Prüfung des Schaltschranks genutzt wird, könnte dies realisieren. Weitere, die Umsetzung der Software betreffende Fragestellungen wie das Handhaben widersprüchlicher oder gleichzeitiger Änderungen müssen genauso umgesetzt werden wie Benachrichtigungen bei Änderungen.

3.3 Mechanische Bearbeitung und Bestückung

Die mechanische Fertigung, bestehend aus mechanischer Bearbeitung und mechanischer Bestückung, ist der erste von grundlegend zwei Arbeitsschritten, die aus den Konstruktionszeichnungen einen funktionsfähigen Schaltschrank fertigen. Beide Arbeitsschritte werden in den befragten Unternehmen noch größtenteils manuell durchgeführt und lassen daher das größte Potential für eine durchgängig digitalisierte und (teil-)automatisierte Fertigung vermuten. In diesem Abschnitt werden die Arbeitsschritte „mechanische Bearbeitung“ und „mechanische Bestückung“ näher vorgestellt.

3.3.1 Mechanische Bearbeitung

Die mechanische Bearbeitung eines Schaltschranks umfasst sowohl das Bearbeiten des Korpus durch Bohren oder Brechen von Aussparungen für Schalter, Knöpfe, Kühlaggregate oder Durchbrüche als auch das Bearbeiten der Montageplatte (keines der befragten Unternehmen verwendet ein Schienensystem in ihren Schaltschränken). Allerdings wird dieser Arbeitsschritt nur noch von 45 % der Unternehmen in Eigenregie durchgeführt, die geringe Mehrheit bezieht ihre Schaltschränke direkt vorkonfektioniert von einem Zulieferer. Dies hat zwar den Vorteil, dass keine Abteilung für mechanische Bearbeitung vorhanden sein muss – welche gerade bei geringer jährlicher Stückzahl geringe Auslastung und dadurch hohe Stillstandszeiten aufweist –, jedoch ist die Schaltschrankfertigung so abhängiger von den Lieferfristen der vorkonfektionierten Schaltschränke, als sie es bei einer eigenen Lagerhaltung wäre. Unternehmen mit nur einer geringen jährlichen Stückzahl Schaltanlagen und -schränken erleiden so einen Verlust ihrer Wettbewerbsfähigkeit, da unter Umständen die angebotenen zeitlichen und finanziellen Konditionen nicht wettbewerbsfähig sind.

Die befragten Unternehmen mit eigener mechanischer Bearbeitung führen diese bereits ausschließlich mittels automatisierter Bearbeitungsmaschinen durch – entweder Stanzmaschinen oder CNC-Fräs-/Bohrmaschinen. Von den unterschiedlichen Bearbeitungstechni-

ken abgesehen, besteht bei diesen Firmen der wesentliche Unterschied in der Umsetzung der Konstruktionszeichnung in den Bearbeitungsprozess. In 58 % der Fälle werden die Maschinenbefehle durch manuelles Eingeben der Abmessungen eines Durchbruches oder einer Bohrung realisiert. Dies bedeutet neben der Fehleranfälligkeit durch Falscheingabe der Werte darüber hinaus auch die Notwendigkeit des korrekten Ablesens der Konstruktionszeichnung. Da die Bohrungen der Betriebsmittelhalterungen in der Regel nur geringe Fertigungstoleranzen aufweisen – die Verschraubungsstellen eines Spannungsumrichters sind vorgegeben durch den Hersteller –, muss hier mit hoher Genauigkeit gearbeitet werden. Die verbleibenden 42 % setzen bereits eine großteils automatisierte Bearbeitung ein. Hier erfolgt zwar das Be- und Entladen der CNC-Maschine noch manuell, allerdings sind die Bearbeitungsprofile bereits in der Maschine vorhanden und müssen vom Mechaniker nur noch korrekt geladen werden. Diese Profile können entweder aus der 2- oder 3-dimensionalen CAD-Zeichnung entnommen werden oder sie basieren auf standardisierten Komponenten, die verbaut werden – wie z. B. nur ein bestimmter Typ Notausschalter für ISO-zertifizierte Schaltschränke.

Neben der mechanischen Bearbeitung des Schaltschrankkorpus und der Montageplatte kann auch das Ablängen von Hutschienen oder Kabelkanälen standardisiert oder automatisiert werden. Überraschenderweise führen bei diesem Arbeitsschritt alle der befragten Unternehmen ein manuelles Ablängen und Anbringen der Komponenten durch, welches auf Basis einer ausgewerteten Konstruktionszeichnung erfolgt. Hier werden zwar kleinere mechanische Hilfsmittel verwendet, um das Ablängen zu vereinfachen, dennoch werden die Angaben zu Länge oder Durchmesser der Kabelkanäle aus den Konstruktionszeichnungen entnommen – es gibt keine Liste zu erstellender Längen ähnlich einer Verdrahtungsliste.

Es ist schnell erkennbar, dass in dieser Vielzahl manueller Arbeitsschritte Fehlerquellen liegen, die durch wenige, einfach realisierbare Schritte vermieden werden können. Da in der Regel Konstruktionszeichnungen des Schaltschranks existieren, bevor die Fertigung beginnt, können aus diesen bereits Fertigungsangaben für die mechanische Bearbeitung entnommen werden. Durch Einführen dieses Schrittes im Engineering eines Schaltschranks kann die Montageplatte in einer entsprechenden Bearbeitungsmaschine eingespannt und automatisiert mit notwendigen Bohrungen und Durchbrüchen versehen werden. Analog kann dieses Vorgehen auch auf die Wände des Schaltschrankkorpus übertragen werden, da diese im Regelfall vom Gerüst des Schaltschranks entfernt werden können. Dadurch lassen sich bis zu 55 % Bearbeitungszeit in der mechanischen Bearbeitung einsparen.

Der Einsatz einer CNC-Fräs-/Bohrmaschine (mit manueller oder automatisierter Programmierung) kommt für einige der befragten Unternehmen (27 %) allerdings nicht in Frage, da die Anschaffungs- und Betriebskosten für eine entsprechende Maschine die Kapazitäten überschreiten. Dies ist ein wesentlicher wissenschaftlicher Faktor, der gerade bei Unterneh-

men mit niedrigen jährlichen Fertigungszahlen greift, da die hohe notwendige Auslastung dieser Maschinen nicht gewährleistet werden kann. Auf der anderen Seite stehen dafür klar die Vorteile einer CNC-basierten Bearbeitung von Werkstücken, wie hohe Absolut- und Wiederholgenauigkeit.

3.3.2 Mechanische Bestückung

Nach der mechanischen Bearbeitung des Schaltschranks (bzw. der Montageplatte, Seitenwände und Türen) werden Hutschienen, Kabelkanäle, Abdichtungen und Halterungen für Betriebsmittel angebracht. Alle diese Schritte erfolgen bei den befragten Unternehmen (nur 45 % bereiten den Schaltschrank im eigenen Betrieb mechanisch vor) in manueller Arbeitsweise, es werden lediglich mechanische Hilfsmittel für das passende Ablängen der Hutschienen und Kabelkanäle benutzt. Die Fertigungsvorschriften werden vom Mechaniker aus den vorhandenen Konstruktionsplänen abgelesen und anschließend in den Arbeitsschritt übernommen.

Dabei werden die benötigten Kleinteile (Schrauben, Muttern, Hülsen etc.) in der Regel durch den Werker selbstständig in selbstverantwortlicher Kommissionierungsphase bereitgestellt. Es kommt in keinen Fällen zu einer Konfektionierung des notwendigen Stückgutes, obwohl dies einen entsprechenden Vorteil mit sich bringt, da Laufwege und falsches Abschätzen der notwendigen Menge vermieden werden können. Weitaus gravierender ist allerdings die fehlende Nutzung der in den Konstruktionszeichnungen vorhandenen Informationen in einer automatisierten Fertigung.

Heutige Konstruktionszeichnungen können grundlegend mit zusätzlichen Informationen versehen werden, welche auch Fertigungsvorschriften angeben. Da eine Konstruktionszeichnung existiert, bevor die Fertigung die Arbeit aufnimmt, ist es auch prinzipiell möglich, die Länge von Hutschienen oder Kabelkanälen daraus zu entnehmen, da diese direkt einen automatisierten Zuschnitt ermöglicht. Es ist sogar denkbar, ein Bearbeitungszentrum zu nutzen, welches sowohl den Zuschnitt durchführt, als auch die Verschraubung bzw. Vernietung der Hutschienen oder Kabelkanäle vornimmt. Auf diese Weise lassen sich in einer vollautomatisierten Fertigung bis zu 83 % der Arbeitszeit einsparen, in einer halbautomatisierten Fertigung immer noch bis zu 47 % Arbeitszeit der mechanischen Bestückung. Neben der möglichen zeitlichen Einsparung lassen sich durch eine durchgängige und automatisierte Schaltschrankfertigung auch Materialkosten einsparen. Die digitalen Konstruktionszeichnungen können genutzt werden, um die benötigte Länge an Kabelkanälen auf den vorrätigen Lagerbestand optimal zu verteilen, um Ausschuss zu reduzieren oder ganz zu vermeiden. Dies bringt neben einem wirtschaftlichen auch einen klar ökologischen Vorteil mit sich. Grundvoraussetzung für diese automatisierbaren Arbeitsschritte sind allerdings konsistente, geprüfte 3-dimensionale Konstruktionszeichnungen des Schaltschranks.

3.4 Elektrische Bestückung und Verdrahtung

Die Fertigung von Schaltschränken ist bei allen teilnehmenden Unternehmen mindestens durch die Bestückung und Verdrahtung des Schrankes realisiert. Immerhin 27 % der Unternehmen beziehen ihren Schaltschrank bereits vorkonfektioniert, das heißt mit allen Durchbrüchen und Aussparungen versehen. Daher liegt der Anteil der mechanischen Bestückung und Verdrahtung (siehe Abbildung 3.1) bei knapp 75 % der Bearbeitungszeit. Mit großem Abstand in der Schaltschrankfertigung ist die elektrische Bestückung und Verdrahtung einer der Arbeitsschritte, der am meisten von einer Digitalisierung und Automatisierung profitieren kann. Im Folgenden werden die Arbeitsschritte „elektrische Bestückung und elektrische Verdrahtung“ separat betrachtet.

3.4.1 Elektrische Bestückung

Die elektrische Bestückung eines Schaltschranks ist der erste von zwei Schritten in der elektrischen Fertigung, bei der die Betriebsmittel (Umrichter, Schütze, Signalisierungseinrichtungen, Netzteile etc.), aber auch kleinere Komponenten wie Klemmen, Schalter oder Taster eingebaut werden. Als Grundlage für die Konfektionierung dient den Elektrikern eine Stückliste der Komponenten (bei 45 % der befragten Unternehmen) oder der SLP (55 % der befragten Unternehmen). Eine Bestückung auf Basis der Stücklisten ist dabei von Vorteil, da diese nach den Komponenten bereits sortiert und damit einfach zu sichten sind. Das Auslesen des SLP zur Bestimmung der Komponenten ist dabei wesentlich aufwendiger und fehleranfälliger, da ein mehrere hundert Seiten schweres Dokument gesichtet werden muss. Bei 81 % der Unternehmen werden diese Schüttgüter (Klemmen, Schrauben, Überbrücker etc.) nicht kommissioniert, da dies als nicht praktikabel angesehen wird. Die Arbeiter sind daher angehalten, eine bestimmte Anzahl Schüttgüter an ihrem Arbeitsplatz vorzuhalten und daraus die benötigten Mengen zu nehmen. Bei 22 % dieser Unternehmen kommt hierbei ein Kanbansystem zum Einsatz, in allen anderen Fällen müssen die Werker eigenverantwortlich den Lagerbestand überwachen und ggf. in einem zentral gelegenen Lager Nachschub holen. Die verbleibenden 18 % der befragten Unternehmen beziehen ihre Klemmleisten bereits vorkonfektioniert von einschlägigen Lieferanten und sparen sich dadurch sowohl die Kommissionierung als auch die Konfektionierung der Klemmleisten. Der Einbau solcher Klemmleisten reduziert den Arbeitsaufwand um bis zu 92 %.

Die Platzierung der BM kann nur erfolgen, wenn eine entsprechende Konstruktionszeichnung vorhanden ist. Diese gibt bereits die Position der Kabelkanäle und Hutschienen vor, daher sind bestimmte Bereiche im Schaltschrank bereits designiert für Umrichter, Buskopppler oder Klemmen. In 18 % der Fälle werden mitunter die Schaltschränke ohne existierende Konstruktionszeichnung und lediglich auf Basis des SLP aufgebaut. Dies wird mit zu kurzer

Projektlaufzeit und dadurch nicht möglicher Arbeitsvorbereitung und entsprechendem Engineering begründet.

Wie in anderen Schritten der Schaltschrankfertigung ist auch für eine automatisierte Bestückung mit Klemmen oder BM ein detailliertes Konstruktionsmodell des Schaltschranks notwendig. Da in den meisten Fällen der befragten Unternehmen (72 %) die Klemmenanzahl manuell aus dem Stromlaufplan entnommen wird, entsteht hier ein erheblicher Mehraufwand durch eine manuelle, fehlerbehaftete Tätigkeit, die durch entsprechend vorbeugende Maßnahmen im Engineering vermieden und beschleunigt werden kann. Darüber hinaus können digitale Schaltschrankmodelle für eine Vorkonfektionierung der Klemmen in der betriebsinternen Arbeitsvorbereitung oder bei externen Dienstleistern in Auftrag gegeben werden. Dies hat nicht nur einen zeitlichen Zugewinn von bis zu 90 % als Ergebnis, auch der Lagerungsaufwand kann durch eine annähernde Just-in-time-Lieferung der so konfektionierten Klemmleisten reduziert werden.

Werden darüber hinaus standardisierte Komponenten oder sogenannte funktionale Einheiten im Engineering des Schaltschranks verwendet, können aufgrund der Standardisierung Klemmenpakete oder ganze Klemmleisten vorkonfektioniert auf Lager gehalten werden, welche dann von der Arbeitsvorbereitung bzw. Kommissionierung mit den funktionalen Einheiten zusammen ausgeliefert werden können. Kombiniert man diese Vorgehensweise mit dem Auslagern der Klemmenkonfektionierung auf externe Dienstleister, lassen sich sogar bis zu 96 % der Arbeitszeit einsparen, da gebündelte Klemmleisten durch Clipsysteme sehr schnell auf der Montageplatte befestigt werden können.

3.4.2 Elektrische Verdrahtung

Der wesentliche Arbeitsschritt der Schaltschrankfertigung ist mit Abstand die elektrische Verdrahtung, bei der die elektrischen Betriebsmittel miteinander verbunden werden und so ein elektrisch funktionsfähiger Schaltschrank entsteht. Dieser Arbeitsschritt ist darüber hinaus auch der mit Abstand zeitaufwendigste bei allen befragten Unternehmen. Auf diesen Arbeitsschritt fallen 49 % der gesamten Fertigungszeit, unabhängig der Qualität der Daten aus dem Engineering. Die ausübenden Elektriker weisen ein hohes Ausbildungsniveau auf, um den ihnen vorliegenden SLP lesen und mögliche Fehler darin beim Lesen bereits identifizieren zu können. Der SLP, der bei 90 % der Firmen als Grundlage der Verdrahtung verwendet wird, liefert ausschließlich Informationen über die Quelle und das Ziel einer Verbindung, allerdings sind weitere Informationen darin fehlend. Diese könnten unter anderem die Drahtlänge, -farbe, Aderdicke oder Kabelendkonfiguration angeben und so eine schnellere Verdrahtung ermöglichen. Die richtige Auswahl der Aderdicke entscheidet über die korrekte Funktionsfähigkeit des Systems und wird dem hohen Ausbildungsgrad

der Elektriker überlassen. Die SLP, welche nicht selten mehrere hundert Seiten umfassen, sind wenig aussagekräftig und für die Verdrahtung wichtige Informationen sind in der Regel nicht vorhanden. Der SLP kann auch als reine Verknüpfungsliste, allerdings in einer komplexen Darstellungsform, angesehen werden. Das Arbeiten mit dem SLP wird darüber hinaus durch die nichtintuitive und nichtlineare erschwert, da im Schaltschrank nebeneinander platzierte Komponenten nicht zwangsweise im SLP in aufeinanderfolgenden Seiten beschrieben werden. Es ist eher die Regel als die Ausnahme, dass Elektriker während des Verdrahtungsprozesses mehrfach vollständig durch den SLP blättern, bis alle Komponenten miteinander verdrahtet sind. Auf eine durchschnittliche Arbeitsdauer von 42 Sekunden für das reine Verlegen des Drahtes kommen weitere 67 Sekunden für das Lesen des SLP und das Auffinden der Komponenten auf der Montageplatte bzw. den Seitenwänden. Ein zusätzlich, erfasster Arbeitsschritt in der elektrischen Verdrahtung ist das Vorbereiten des Drahtes, das heißt Ablängen, Crimpen, und Beschriften des Drahtes, welches weitere 157 Sekunden Arbeitsaufwand bereitet. In Summe benötigt ein durchschnittlicher Elektriker für das Verdrahten zweier Schaltschrankkomponenten im Schnitt 266 Sekunden – dies sind gut 4,5 Minuten pro Draht.

Fortschrittlicher gegenüber der klassischen Verdrahtung mittels SLP ist die Verdrahtung anhand einer Verdrahtungsliste durchzuführen. Bei nur 9 % der befragten Unternehmen kommt diese zum Einsatz. Selbst in diesen Fällen werden die meisten Schaltschränke noch nach SLP verdrahtet, da den Elektrikern das Lesen dieses Dokumentes einfacher fällt. Dies ist interessanterweise genau das Gegenteil dessen, was eine VDL erreichen soll: Die Informationen in der VDL umfassen neben der Quelle und dem Ziel auch weitere Informationen wie Drahtlänge, Aderquerschnitt, Farbe, Beschriftung. Weitere Informationen können, je nach Notwendigkeit, ebenfalls abgelesen werden. Eine VDL weist eine wesentlich linearere Durchführung der Verdrahtung auf, als die Stromlaufpläne es ermöglichen. Allerdings sind zusätzliche Informationen aus dem Engineering notwendig, um die VDL vollständig und korrekt zu erstellen. So müssen neben den Informationen über die Art der Ader auch Angaben zur Dicke getroffen werden – diese hängen von den zu verdrahtenden Komponenten ab und müssen daher in den CAD-/CAE-Modellen hinterlegt werden.

Aufgrund fehlender Prüfung der Konstruktionszeichnungen im Engineering werden bei 72 % der befragten Firmen regelmäßig Fehler erst bei der Fertigung entdeckt. Diese Fehler umfassen übervolle Kabelkanäle, Kollisionen von BM und Korpuskomponenten oder Wärmekonvektionshindernisse. Aufgrund ihrer Erfahrung ist es den hoch ausgebildeten Elektrikern möglich, diese Fehler selbstständig zu beheben und in einem Änderungsprotokoll zu erfassen. Diese Protokolle werden nach der Prüfung des Schaltschranks in die digitalen Dokumente übertragen, um diese mit dem Endprodukt deckungsgleich zu machen. Bei einer komplett digital geführten Fertigung wäre dieser Schritt nicht mehr notwendig, da die Elektriker vorgenommene Änderungen direkt in die digitalen Konstruktionszeichnungen eintragen könnten.

Um die elektrische Verdrahtung zu revolutionieren, müssen verschiedene Lösungsansätze und Vorgehensweisen betrachtet werden. Sind SLP im Einsatz, kann bereits durch die strukturierte Darstellung der Arbeitsschritte in einer VDL ein Zeitersparnis von bis zu 32 %, vor allem in den Schritten vor der eigentlichen Verdrahtung, erreicht werden. Da darüber hinaus kein hoher Ausbildungsgrad für das Verdrahten mittels VDL notwendig ist, können auch ökonomische Arbeitskräfte eingestellt werden – dies kann sowohl als wirtschaftlicher Faktor gesehen werden oder aber Arbeitskapazitäten in Zeiten hoher Auslastung ökonomisch erhöhen. Neben dem Lesen der Verdrahtungsanweisung ist das Ablängen der Drähte ein aufwendiger Prozess, welcher meist erst durch jahrelange Erfahrung beschleunigt und annähernd fehlerfrei durchgeführt werden kann. Da in einem SLP keine Informationen über das Routing eines Drahtes enthalten sind, ist es nicht möglich, die Drähte zu konfektionieren, das heißt, der Elektriker übernimmt hier beim Verdrahten mehrere Aufgaben: Draht anlegen, vorbereiten, konfektionieren und einbringen. Sind auf der anderen Seite 3-dimensionale Konstruktionszeichnungen vorhanden, so können daraus auch Angaben über das Routing von Drähten und deren Länge getroffen werden. Darüber hinaus ist so bereits im Engineering eine Aussage über den Füllgrad der Kabelkanäle möglich. All dies ist mit der entsprechenden Software, die eine 3-dimensionale Entwicklung beinhaltet, mit wenigen Mausklicks zu erzielen.

Neben den genannten Lösungsansätzen sehen einige Schaltanlagenbauer den Schaltschrankbau in einer digitalen Fertigung, bei der das Verdrahten ohne menschliche Unterstützung stattfindet. Nur wenige Anbieter sind bisher auf dem Markt vertreten, die solch ein Konzept verfolgen. Allein die Präsenz zeigt aber, wohin der Weg im Schaltschrankbau gehen kann. Für Unternehmen, die geringe Stückzahlen und wenig Seriencharakter haben, ist der Einsatz einer solchen Anlage vielleicht fraglich, bei einer hohen jährlichen Stückzahl hingegen kann durch solch eine Anlage ein Zeitersparnis von bis zu 63 % in der eigentlichen Verdrahtung erzielt werden. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass diese Maschinen bei Weitem nicht so intelligent und erfahren arbeiten können wie ein ausgebildeter Elektriker. Kleinere Abweichungen in der mechanischen oder elektrischen Bestückung können dazu führen, dass ein Betriebsmittel an die falsche Klemme angeschlossen wird und damit den Schaltschrank funktionsunfähig macht. Um also einen Verdrahtungsroboter oder eine Verdrahtungsmaschine einsetzen zu können, muss am Anfang des Schaltschrank-PEP angesetzt werden, um die Konstruktions- und Fertigungsdaten auf ein qualitativ hochwertiges Niveau zu bringen. Nur so können die Vorteile einer halb- oder vollautomatisierten Fertigung genutzt werden.

3.5 Prüfung

Die Prüfung eines Schaltschranks ist eine Unumgänglichkeit für alle Schaltschrankbauer, wird dadurch doch die korrekte Fertigung und Funktionsfähigkeit aller Betriebsmittel nachgewiesen. Allerdings umfasst die Prüfung nicht nur die Abschlussprüfung des Schaltschranks, sondern mitunter auch eine begleitende Prüfung während der Fertigung. Dies schließt das Prüfen der Fertigungszeichnungen vor den Arbeitsschritten, aber auch eine Sichtprüfung nach dem Abschluss des entsprechenden Arbeitsschrittes ein. Ein Anteil von 36 % der befragten Unternehmen führt intensive Prozessschrittprüfungen durch, welche durch den bearbeitenden Werker nach getätigter Arbeit abgezeichnet werden und vom darauffolgenden Arbeiter auf Korrektheit ebenfalls geprüft werden. Diese Arbeitsweise erfordert zwar einen Mehraufwand in den einzelnen Arbeitsschritten, ist dennoch von Vorteil, da Fehler so früher erkannt und behoben werden können. Zudem wird jeder Werker indirekt zu seinem eigenen Prüfer und arbeitet dadurch zuverlässiger.

Die elektrotechnische Abschlussprüfung inklusive Funktionsprüfung nach erfolgter Verdrahtung wird bei 25 % der befragten Unternehmen durchgeführt – die verbleibenden 75 % Unternehmen können nur eine elektrotechnische Prüfung durchführen. Die elektrotechnische Prüfung umfasst dabei nur die Prüfung einer korrekten Verdrahtung des Schaltschranks, nicht aber die richtige Funktionsweise einzelner Komponenten. Bei der Funktionsprüfung eines Schaltschranks werden ebenfalls die Leistungsabnehmer überprüft und dadurch auch Sicherheitskreisläufe validiert. Von den 75 % Unternehmen mit einer rein elektrotechnischen Prüfung wird bei 16 % die Funktionsprüfung bereits während des Engineerings in einer virtuellen Inbetriebnahme durchgeführt. Fehler in der Steuerungssoftware können so bereits vor Beenden der Fertigung behoben werden. Die elektrotechnische Abschlussprüfung erfolgt in allen Fällen durch entsprechendes Prüfen der anliegenden Potentiale mittels Potentiometern. Lediglich die Prüfmethode unterscheidet sich durch die verwendeten Hilfsmittel (einfache oder programmierbare Potentiometer). In der Funktionsprüfung der Schaltschränke und Schaltanlagen kommen Prüfsteuerungen zum Einsatz. Diese sind in allen Fällen von den Firmen einmalig programmierte Steuerungen, welche aus einem Maximalprojekt der entsprechenden Maschine erstellt wurden. Dies ermöglicht es, sowohl die Fertigungsarbeiten als auch die Komponenten selber zu prüfen. In 18 % der Fälle kommen sogar zusätzlich Lasttests des Schrankes hinzu, was eines zusätzlichen Vorbereitungsaufwandes bedarf, dafür kann der Schaltschrank ohne Probleme im Feld angeschlossen werden. Erfolgt keine unabhängige Schaltschrankprüfung, sondern findet diese erst im Feld an der Maschine statt (18 % der Unternehmen prüfen im Feld oder überlassen die Prüfung dem Auftraggeber), so kann dies zu Schäden an der Maschine oder Anlage führen, was zu teuren Reparaturschäden führen kann.

Für die Prüfung von Schaltschränken gibt es leider keine allgemeingültige Lösung, da zu viele verschiedene Konfigurationen möglich sind. Hinzu kommen unterschiedliche Anforderungen der Auftraggeber oder Liefervorschriften z. B. ins Ausland. Bei seriennaher Fertigung von Schaltschränken kann hingegen eine allgemeine Routine für die Funktionsprüfung erstellt werden, welche dann für spezielle Module erweitert werden kann. Die Durchführung eines solchen Prüfprotokolls kann dabei sowohl manuell als auch automatisiert erfolgen, wobei bei einer durchschnittlichen Prüfzeit von mindestens 4 h (unter der Voraussetzung, dass keine Fehler existieren) eine halb- oder vollautomatisierte Lösung (z. B. durch einen Prüfroboter) zu bevorzugen ist. Die Prüfung kann dann über Nacht durchgeführt werden; am Morgen können die Prüfergebnisse analysiert und fehlerhafte Systeme genauer untersucht werden. So kommt es zu keinen unnötigen Stillstandszeiten der Fertigung.

Eine weitere Möglichkeit, die kontinuierliche Prüfung in der Schaltschrankfertigung zu realisieren, kann durch Augmented Reality und ständige Prozessüberwachung der Produktionsschritte erfolgen. Durch erweiterte Realität, das Verschmelzen von realer und virtueller Welt, können dem Werker Informationen, z. B. in einer Brille oder auf einem Bildschirm oberhalb der Montagefläche, angezeigt werden. Dabei spielt es keine Rolle, welche Informationen bereitgestellt werden müssen; es lassen sich Angaben über die Lokalisierung einer Bohrung oder eines BM angeben, aber auch Start und Ziel einer Verdrahtung. Diese kontinuierliche Prozessüberwachung führt zu einer ständigen Prüfung der Arbeiten, Fehler können so rechtzeitig und automatisiert erkannt werden. Grundlage dieser Informationen müssen detaillierte und geprüfte Konstruktionszeichnungen sein, welche ein mindestens 2-dimensionales Modell des Schaltschranks zur Grundlage haben. Der SLP ist dabei nicht ausreichend, um fehlerhaft gesetzte Bohrungen, BM oder Verdrahtungen zu erkennen. Die Vorteile einer durch kontinuierliche Sichtprüfung durchgeführten Prüfung sprechen für das Einführen dieser Vorgehensweise. Jeder Fehler (sei es ein fehlendes BM oder eine fehlerhafte Verdrahtung) kann so rechtzeitig vor Abschluss des Arbeitsschrittes entdeckt und behoben werden. Dies ist weniger zeit- und kostenintensiv als das Entdecken und Beheben von Produktionsabweichungen während des Fertigungsprozesses: Angenommene Bohrungen mit zu kleinem Durchmesser werden erst bei der elektrischen Bestückung, entdeckt, so ist das Aufbohren dieser aufwendiger aufgrund der fortgeschrittenen Bestückung da unter Umständen eingebaute BM wieder entfernt werden müssen. Die Sichtprüfung am Ende des Arbeitsschrittes durch den Werker selber versetzt diesen in die Position seines eigenen Prüfers und lässt diesen dadurch sorgfältiger arbeiten. Unternehmen, die diese Arbeitsweise einsetzen, berichten von einer Fehlerreduktion um bis zu 85 % und einer daraus resultierende Effizienzsteigerung von mindestens 37 %.

3.6 Ergonomie und Arbeitsplatzgestaltung

Bezüglich der Ergonomie und Arbeitsplatzgestaltung konnten anhand der Vor-Ort-Analysen einige Verbesserungspotentiale identifiziert werden. Vor allem bei der Verdrahtung muss sich der Arbeiter innerhalb des Arbeitsschrittes oft um 180 Grad drehen, um von der Sichtung des SLP zur Verdrahtung im Schaltschrank überzugehen. Dies kostet nicht nur viel Zeit, sondern ist auch gesundheitlich äußerst schädlich. Ausgewogene physische und psychische Arbeitsbelastungen sind die Voraussetzung für Gesundheit und Leistungsfähigkeit. Gerade bei der Verdrahtung ist, wie bereits erwähnt, die Unterstützung von multimedialen Endgeräten eine Möglichkeit, um die Verdrahtung zu erleichtern und den Arbeiter aufgrund eines optimierten Arbeitsplatzes zu entlasten. Gleichzeitig kann Zeit eingespart werden. Im Prozessschritt Bestückung wurden innerhalb der Studie unterschiedliche Ansätze erkannt, wie mit der Platzierung des Schaltschranks für die Bestückung auf dessen Halterung umgegangen wird. Gearbeitet wird meist mit einer horizontalen oder vertikalen Lage des Schaltschranks, nur selten wird der Schaltschrank schräg platziert. Bei der Bestückung der Betriebsmittel, beispielsweise ein Antriebsverstärker, müssen teilweise große Gewichte platziert werden. Die Position der Grundplatte bzw. des Schaltschranks spielt dabei eine große Rolle. Innerhalb der Studie wurden die Arbeitsvorgänge in der Fertigung genau analysiert, dabei stellte sich heraus, dass der Arbeiter bei der Bestückung von Betriebsmitteln an einem horizontalen Aufbau schneller und ergonomischer arbeiten kann als bei einem vertikal stehenden Schaltschrank. Bei der Platzierung von schweren Betriebsmitteln kann eine zusätzliche Hebehilfe unterstützen. Gegensätzlich hierzu fordert die Verdrahtung einen vertikal stehenden Schaltschrank. Gleich ob im Sitzen oder Stehen, die Verdrahtung fällt dem Arbeiter deutlich leichter.

Neben der Positionierung des Schaltschranks spielt die Arbeitsmittelgestaltung am Arbeitsplatz eine große Rolle für eine optimale Fertigung. Nicht nur Werkzeuge müssen im nächsten greifbaren Umfeld des Arbeiters sortiert zur Verfügung stehen, sondern auch Drähte und das dazugehörige Schüttgut. Bei 11 % der Firmen sind Kanbansysteme am Arbeitsplatz installiert, die für eine entsprechend automatisierte Bereitstellung der Komponenten sorgen. Durch diese ideale Arbeitsplatzgestaltung können lange Wege in Zentralagarn vermieden werden. Bei den anderen 89 % müssen sich die Arbeiter um das Befüllen der Schüttgutbehälter kümmern. Mit den genannten Potentialen ist eine Zeitersparnis von bis zu 35 % möglich.

Trends in der Schaltschrankfertigung

Im Rahmen der Studie wurden die Unternehmen auch nach Trends gefragt, welche sie im Engineering und der Fertigung sehen. Diese sollen in diesem abschließenden Kapitel noch einmal kurz aufgeführt werden.

Einsatz komplexer Betriebsmittel mit mehr Softwareanteil

Heutige Betriebsmittel weisen einen immer höheren Softwareanteil auf, welcher primär im Engineering beachtet werden muss. Diese Betriebsmittel sind in der Regel nicht mehr platzgebunden und können an beliebigen Plätzen im Schaltschrank verbaut werden. Allerdings muss eine tiefgehende softwareseitige Prüfung des Schaltschranks und der Steuerung erfolgen.

Mehr Betriebsmittel im Feld durch Dezentralisierung

Heutige Maschinen und Anlagen sind derart komplex und mit vielen Funktionen ausgerüstet, dass ein großer Schaltschrank seltener gebaut wird. Der Trend geht eindeutig in Richtung mehr dezentralisierter Schaltschränke, welche dann die im Feld notwendigen Betriebsmittel und eine minimale Steuerungslogik enthalten. Den primären Steuerungstakt gibt dennoch ein zentraler Steuerungsschaltschrank vor, allerdings mit wesentlich reduzierter Komplexität. Diese Dezentralisierung hat einen direkten Einfluss auf die Komplexität, Dichte und Menge von Schaltschränken, die für eine Maschine oder Anlage gebaut werden müssen.

Einschränkung der Teilevielfalt

Obwohl ein Großteil der Studienteilnehmer von einer großen Teilevielfalt spricht (63 % haben mehr als 50 % Sonderanteil), wird dennoch bei vielen der Unternehmen von einer Reduzierung der Teilevielfalt gesprochen. Dies ist zum einen im administrativen Aufwand der Verwaltung und im Engineering vieler einzelner Sonderteile begründet. Zum anderen aber wirkt sich die hohe Teilevielfalt auch auf die Fertigung aus, da hier entsprechend besser ausgebildete Werker zum Einsatz kommen müssen, um der hohen Fertigungsvarianz Herr zu werden. Daher stehen bei immerhin 36 % der Unternehmen Bestrebungen an, die Teilevielfalt zu reduzieren und nur noch eine oder zwei Varianten von z. B. Druckgeneratoren anzubieten. Dies bedarf natürlich eines Umdenkens und resultiert gegebenenfalls in überdimensionierten Anlagen oder Komponenten, reduziert aber den Aufwand sowohl im Engineering als auch in der Fertigung.

Outsourcing

Für die Studie war es entscheidend, Unternehmen zu befragen, deren Schaltschrankfertigung noch innerbetrieblich durchgeführt wird, was von den angefragten Unternehmen nur noch bei 78 % der Fall ist. Das heißt, immerhin jeder fünfte Schaltschrank einer Maschine oder Anlage wird bereits bei einem externen Dienstleister gefertigt. Daneben sei zu erwähnen, dass 27 % der befragten Unternehmen keine eigene mechanische Bearbeitung der Schaltschränke durchführen, sondern diese bereits vorkonfektioniert beziehen. Aufgrund des Zeit- und Kostendrucks stehen einige Unternehmen – vor allem jene mit geringer jährlicher Stückzahl an Schaltschränken und -anlagen – vor der Entscheidung, Schaltschränke extern fertigen zu lassen. Andere Unternehmen möchten ihre Schaltschrankfertigung weiterhin selber durchführen und greifen, wenn nötig, lediglich auf Vorkonfektionierung von Klemmleisten oder Kabelbäumen zurück. Inwiefern der Trend des Outsourcings anhält, ist schwer abschätzbar, dennoch sind die attraktiven Lieferbedingungen externer Dienstleister nicht zu unterschätzen.

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt sollen nun kurz die wichtigsten Ergebnisse der Studie zusammengefasst werden. Eine genauere Ausführung der einzelnen Ergebnisse können Sie in den entsprechenden Kapiteln finden.

Automatisierte Fertigung durch 3-dimensionales Engineering

Ein wesentlicher Trend, der bei den befragten Unternehmen zu erkennen ist, ist das Erstellen 3-dimensionaler Konstruktionszeichnungen. Diese sind zwar in der Übergangsphase von 2-dimensionalen Zeichnungen oder SLP mit Komplikationen und einer flachen Lernkurve verbunden, allerdings ist der durch 3-dimensionale Modelle erreichte Mehrwert deutlich von Vorteil. Letzten Endes ermöglichen 3-dimensionale Modelle eine vollautomatisierte Fließfertigung von Schaltschränken – oder eine entsprechend anteilige automatisierte Schaltschrankfertigung.

Auslagerung oder innerbetriebliche Fertigung?

Bei geringer jährlicher Stückzahl an Schaltschränken und dem damit verbundenen hohen, nicht erheblich rentablen Geschäft der Entwicklung und Fertigung von Schaltschränken stehen einige Unternehmen vor der Entscheidung, ihre Schaltschrankfertigung an externe Dienstleister abzugeben. Einige der befragten Unternehmen sehen darin nicht nur einen Verlust der eigenen Kompetenz, sondern sehen auch eine zu große Abhängigkeit von den Lieferfristen des Lohnfertigers. In der Serienfertigung von Maschinen ist dies generell unproblematisch, da die Fertigung der Maschine weniger zeitliche Beschränkungen hat, verglichen mit Anlagenbau. Es gibt keine allgemeine Kennzahl, anhand der dies bewertet werden kann, daher ist eine individualisierte Analyse notwendig.

Standardisierung im Engineering

Um betriebsinterne Schaltschrankfertigungen auch in kommenden Jahren konkurrenzfähig zu halten, müssen die Fertigungsanweisungen stärker standardisiert und vereinheitlicht werden. Dies kann auf den ersten Blick als unmöglich erscheinen aufgrund hoher Anteile an Sonderteilen im Maschinenbau, allerdings basieren die meisten dieser Sonderanfertigungen lediglich auf einer Optionsauswahl eines bestimmten Grundtyps Maschine. Entsprechend sollte sich für nahezu jede Maschine eine listenartige Fertigungsanweisung erstellen lassen, welche der Fertigung einen erheblichen Mehrwert liefert, da diese keinen Platz für unter-

schiedliche Interpretationen lässt. Somit können Fehler vermieden werden und gerade in Zeiten hoher Auslastung können ungelernte Arbeiter schnelle Hilfe bieten.

Denken in Funktionen

Ähnlich wie bei der Konstruktion einer Werkzeugmaschine oder Anlage muss auch bei der Schaltschrankfertigung in Funktionen oder funktionalen Einheiten gedacht werden. Heutige Ingenieure entwerfen ihre Schaltschränke aber meist noch aus einer Stückliste. Dies ist auf lange Sicht nicht praktikabel, daher muss ein Umdenken der Ingenieure in der Ausbildung und der Nutzung von Software erfolgen. Ein Schaltschrank muss in funktionale Einheiten, die jede für sich unabhängig der anderen geprüft und verwaltet werden kann, aufgebaut werden. Dies bietet sowohl im Engineering als auch in der Fertigung erhebliche Potentiale.

Listenbasierte Fertigungsdokumente

Die in der Fertigung verwendeten Dokumente basieren in der Regel auf Stücklisten, Stromlaufplänen und Konstruktionszeichnungen. Eine einfache Angabe von zu erledigenden Arbeitsschritten ist daraus nicht zu entnehmen, sondern unterliegt der Kompetenz jedes einzelnen Werkers. Durch Einführen listenbasierter Fertigungsdokumente, welche eine klare Reihenfolge und Struktur haben, können Fertigungsanweisungen fehlerfreier und schneller ausgeführt werden. Dadurch können in Hochlastzeiten die Kapazitäten erhöht werden, da keine ausgebildeten Fachkräfte benötigt werden. Die listenbasierte Fertigung ist der Schlüssel zu einer fehlerreduzierten und schnelleren, aber auch flexibleren Fertigung.

Arbeitsvorbereitung und Kommissionierung für schnelleren Fertigungsablauf

Um zukünftig eine Fließfertigung im Schaltschrankbau ermöglichen zu können, muss die Arbeitsvorbereitung mehr Aufmerksamkeit bekommen. Vorkommissionierte, auf jeden einzelnen Schaltschrank bezogene Kommissionierungsboxen müssen durch die Logistik im Warenlager zusammengestellt werden. Bis auf die Anschaffung von Drähten und das dazugehörige Schüttgut kann der verantwortliche Arbeiter auf abgezählte Betriebsmittel zurückgreifen. Die eigenständige Beschaffung von Betriebsmitteln durch den Arbeiter muss im Schaltschrankbau Vergangenheit sein.

EPLAN

efficient engineering.

- Prozessberatung
- Engineering-Software
- Implementierung
- Global Support



EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG
An der alten Ziegelei 2 · D-40789 Monheim am Rhein
Telefon: +49(0)2173 3964-0 · Fax: +49(0)2173 3964-25
E-Mail: info@eplan.de · www.eplan.de

PROCESS CONSULTING

ENGINEERING SOFTWARE

IMPLEMENTATION

GLOBAL SUPPORT

FRIEDHELM LOH GROUP

