

# EPLAN

efficient engineering.

## Engineering 4.0

Eine Studie über die Effizienzpotenziale und den Einsatz von CAE-Software  
in der Elektrokonstruktion für das Engineering von Maschinen und Anlagen

# 40

ENGINEERING

PROZESSBERATUNG

ENGINEERING-SOFTWARE

IMPLEMENTIERUNG

GLOBAL SUPPORT

FRIEDHELM LOH GROUP



# Engineering 4.0

Eine Studie über die Effizienzpotenziale und den Einsatz von CAE-Software in der Elektrokonstruktion für das Engineering von Maschinen und Anlagen

07.05.2019

Studiendesign: Dr. Thomas Gartzten, Sebastian Schloesser, Michael Mendl-Heinisch



European 4.0 Transformation Center GmbH  
Campus-Boulevard 57  
Dr. Thomas Gartzten  
52074 Aachen, Germany  
[www.e4tc.de](http://www.e4tc.de)

Studiendurchführung mit: Uwe Harder, Detlef Harms



EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG  
Uwe Harder  
An der Alten Ziegelei 2  
40789 Monheim  
[www.eplan.de](http://www.eplan.de)

# Schlagwörter

**Industrie 4.0, Standardisierung, Schaltschrankstudie 4.0, Engineering, Effizienz, Methodik, Wiederholungsgrad, Modularisierung, Strukturierung, Konfiguration, Generierung**

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 und anderweitig vervielfältigt werden.

# Inhaltsverzeichnis

|     |                                                    |    |
|-----|----------------------------------------------------|----|
| 1   | Einleitung Engineering 4.0                         | 5  |
| 2   | Im Überblick                                       | 6  |
| 3   | Studiendesign                                      | 7  |
| 3.1 | Engineering-Workflow-Modell                        | 8  |
| 3.2 | Methodenwert                                       | 10 |
| 3.3 | Methodik Effizienzlevel                            | 11 |
| 3.4 | Use Effizienzlevel                                 | 14 |
| 3.5 | Durchführung der Studie                            | 15 |
| 4   | Teilnehmer der Studie                              | 16 |
| 4.1 | Maschinenbau (Serien- und Sondermaschinen)         | 17 |
| 4.2 | Ingenieurbüros/Hardwareplaner                      | 18 |
| 4.3 | Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer           | 18 |
| 4.4 | Schaltschrankbauer                                 | 18 |
| 4.5 | Entwurfsprozesse Engineering                       | 18 |
| 5   | Effizienz im Engineering: Einflussfaktoren         | 19 |
| 6   | Referenzmodell                                     | 20 |
| 7   | Anwendung Modell                                   | 23 |
| 7.1 | Herstellung von Serienmaschinen                    | 23 |
| 7.2 | Herstellung von Serienmaschinen mit Sonderanteilen | 24 |
| 7.3 | Herstellung von Sondermaschinen                    | 26 |
| 7.4 | Ingenieurbüros/Hardwareplaner                      | 27 |
| 7.5 | Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer           | 28 |
| 7.6 | Schaltschrankbauer                                 | 29 |
| 8   | Effizienzhandlungsfelder                           | 30 |
| 8.1 | Teilstandardisierte Arbeitsweise (eLevel: 1 -> 2)  | 31 |
| 8.2 | Standardisierte Arbeitsweise (eLevel: 2 -> 3)      | 32 |
| 8.3 | Teilautomatisierte Arbeitsweise (eLevel: 3 -> 4)   | 33 |
| 8.4 | Automatisierte Arbeitsweise (eLevel: 4 -> 5)       | 33 |
| 8.5 | Zusammenfassung                                    | 34 |
| 9   | Ausblick Markttrends                               | 35 |
| 10  | Anhang (Effizienztabelle)                          | 36 |

# Einleitung Engineering 4.0



Komplex und viel diskutiert: Die Welt spricht von Industrie 4.0. Die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der industriellen Fertigung nimmt von flexibler Produktion über smarte Logistik bis Robotik und Big-Data-Anwendungen bereits Kontur an. Wie aber steht es um die strategische Digitalisierung von Konstruktion und steuerungstechnischer Auslegung der Maschinen und Anlagen selbst?

Die Frage ist virulent, schließlich ist die zentrale Herausforderung in Engineering und Fertigung vergleichbar: Der Markt verlangt nach effizienter Umsetzung individueller Kundenwünsche. Wer das Ziel verfolgt, komplexe Geräte, Produktionsmaschinen oder ganze Anlagen effizient zu projektieren, stößt auf eine „Black Box“ ungeklärter Fragen: Wie sieht Engineering 4.0 in der Steuerungstechnik überhaupt aus? Mit welchen Maßnahmen kann die Effizienz erhöht werden? Lässt sich das Optimierungspotenzial in Korrelation zur Arbeitsweise quantifizieren?

Diesem Themenkomplex ging das European 4.0 Transformation Center (E4TC) am RWTH Aachen Campus nach. Der Forschungsbericht „Engineering 4.0“ fußt auf einer achtmonatigen Felduntersuchung bei deutschen Maschinenbauern im Serien- und Sondermaschinenbau, bei Ingenieurbüros/Hardwareplanern sowie Geräteherstellern.

Das European 4.0 Transformation Center hat im Rahmen der Studie das Studiendesign erarbeitet. Hierzu haben die Aachener Wissenschaftler ein Referenzmodell des Engineering-Workflows eingeführt und erstellt eine Bewertungsmatrix mit fünf Effizienzstufen. Der „Efficiency Level“-Matrix mit detaillierten Aussagen zum „Methodik-Workflow“ ist eine „Use Level“-Matrix beigelegt. Sie beschreibt und bewertet die Nutzung von CAE-Software zur Erstellung der steuerungstechnischen Dokumentation im Bereich Elektro, Pneumatik und Hydraulik für die Fertigung von Maschinen und Anlagen als Grundvoraussetzung für Engineering 4.0. Die Validierung der Methodik erfolgte anhand von Referenzkundenbesuchen in Zusammenarbeit zwischen dem E4TC und Eplan. Ausgerollt wurde die Studie anschließend durch Eplan innerhalb des Kundenstamms.

Die Studie betrachtet konkret die steuerungstechnische Auslegung, Hardwarekonstruktion und das Engineering rund um die elektrische Auslegung und zugehörige Schaltschrankkonstruktion. Ziel aller Prozessschritte ist die Erstellung von „Digital Twin“-Dokumenten, speziell „Digital Twin“-Schaltschränken, um eine konsistente, digitale Grundlage für die papierlose, automatisierte Schaltschrankfertigung zu legen. Auf Basis der empirischen Erhebung identifiziert die Studie mehrere Handlungsfelder und Faktoren, die einen möglichen Effizienzgewinn im Engineering auch im Abgleich von Automatisierung und notwendigem Standardisierungsaufwand im teils hohen zweistelligen Prozentbereich verorten.

Die entwickelte Methodik zur Quantifizierung von Potenzialen und Maßnahmen im Engineering ermöglicht erstmals eine fundierte Reflexion gegenwärtiger Engineering-Workflows im Serien- und Sondermaschinenbau auf dem Weg zu Engineering 4.0.

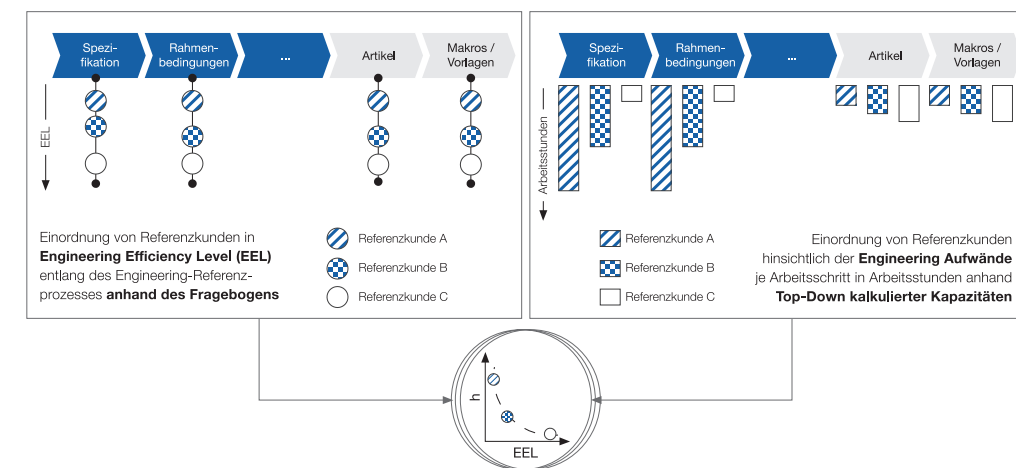
# Im Überblick

- Das Engineering kann in fünf Effizienzlevel (eLevel) klassifiziert werden.
- Über eLevel 1 bis 5, von klassisch bis automatisiert, sind typisch erreichbare Effizienzpotenziale ermittelt worden.
- Effizienz ist nicht berechenbar, sondern in einem Benchmark vergleichbar und schätzbar.
- Von Stufe zu Stufe kann im Gesamtprozess eine Effizienzsteigerung von ca. 20 % realisiert werden.
- 25 % Zeitersparnis bei der Stromlaufplanerstellung (Schritt 4-7) bringt eine geräteorientierte Arbeitsweise (eLevel2).
- 50 % Zeitersparnis bei der Stromlaufplanerstellung (Schritt 4-7) bringt die Nutzung einer Schaltungsbibliothek für Produktfunktionen (eLevel3).
- Weitere 25 % Zeitersparnis bei der Stromlaufplanerstellung (Schritt 4-7) bringt die Einführung einer Teilautomatisierung (eLevel4).
- Für die initiale Erstellung von professionellen Artikeldaten benötigt ein Unternehmen durchschnittlich ca. 6 Monate.
- „Erstellung aller Reports“ (Schritt 6) entfällt komplett durch Standardisierung (eLevel3).
- Durch die Nutzung einer umfassenden Schaltungsbibliothek (eLevel4) können 75 % der Zeit in der Prüfung der Schaltpläne (Schritt 5) eingespart werden.
- Etwa eine Verdopplung des Standardisierungsaufwandes ist die Voraussetzung für eine teil- bis vollautomatisierte Konfiguration.
- Der Schlüssel zu höherer Effizienz im Engineering liegt in der Arbeitsteilung in Auftragsbearbeitung und Datenerstellung zur Standardisierung.
- Die Stufe der Teilautomatisierung ergibt in vielen Fällen betriebswirtschaftlich das beste Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen.

# Studiendesign

Ziel der Studie ist es, einen quantifizierten Referenzprozess zu ermitteln, welcher als Vergleich für die Effizienz im elektrischen Engineering genutzt werden kann. Hierzu wird zu Beginn ein Referenzprozess für das elektrische Engineering erstellt. Für diesen Referenzprozess werden in einem nächsten Schritt Referenzwerte ermittelt, welche für die unterschiedlichen Schritte des Engineering-Referenzprozesses die Aufwände für unterschiedliche Engineering-Level zeigen. Im Anschluss wird basierend auf den vorliegenden Ergebnissen eine Referenzkurve abgeleitet.

## Studiendesign „Effizienz im Elektrischen Engineering“



Für die Studie werden zu Beginn repräsentative Referenzkunden ausgewählt. Mit diesen Referenzkunden wird im Anschluss je ein Workshop sowie ein strukturiertes Prozessinterview mithilfe eines Fragebogens durchgeführt. Der Fragebogen adressiert hierbei die unterschiedlichen Schritte des Referenzprozesses sowie die Arbeitsweise innerhalb der Schritte. Hierdurch kann je Arbeitsschritt ein Engineering Efficiency Level bestimmt werden. Weiterhin werden für verschiedene Projekte eines Unternehmens die relevanten Aufwände bestimmt. Auf Basis der ermittelten Daten kann somit für jeden der aufgenommenen Prozessschritte ein Zusammenhang zwischen dem Engineering Efficiency Level und dem benötigten Aufwand dargestellt werden.

### 3.1 Engineering-Workflow-Modell

Zur Quantifizierung der einzelnen Aufwände wurde ein allgemeines Modell eines Auftragsdurchlaufes erarbeitet und auf alle an der Studie teilnehmenden Unternehmen angewendet. Die Arbeitsschritte können durchaus parallel oder iterativ ausgeführt werden.

#### Engineering-Workflow-Modell „Konstruktion“ (Arbeitsschritte 1–8)



#### Standardisierung (Arbeitsschritt 9, 10)



#### 1. Spezifikation klären:

Arbeitsschritte:

- Die technischen und funktionalen Aspekte der Aufgabenstellung werden geklärt.

Ergebnis:

- Die technischen Spezifikationen zur Auftragsabstimmung sind abgestimmt und definiert.

#### 2. Rahmenbedingungen klären:

Arbeitsschritte:

- Die Rahmenbedingungen des Auftrags (Lieferbedingungen, Aufstellung, bauseitige Einspeisungen) werden geklärt.

Ergebnis:

- Die Rahmenbedingungen des Auftrags (Lieferbedingungen, Aufstellung, bauseitige Einspeisungen) sind abgestimmt und definiert.

#### 3. Funktionen und Infrastruktur projektieren:

Arbeitsschritte:

- Die technischen Produktfunktionen (Sensoren, Aktoren) werden ausgelegt.
- Die Infrastrukturfunktionen (Einspeisen, Steuern, Bedienen, Überwachen, Not-Aus) werden ausgelegt.

Ergebnis:

- Die Stromlaufpläne für Produkt- und Prozessfunktionen sowie Infrastrukturfunktionen sind im CAE konstruiert.

#### 4. Stromlaufpläne erstellen:

Arbeitsschritte:

- Die Stromlaufpläne für Produkt- und Prozessfunktionen werden erstellt.
- Die Stromlaufpläne für Infrastrukturfunktionen werden erstellt.
- Es wird im CAE konstruiert.

Ergebnis:

- Die Stromlaufpläne für Produkt- und Prozessfunktionen und Infrastrukturfunktionen sind im CAE konstruiert.

#### 5. Stromlaufpläne prüfen:

Arbeitsschritt:

- Die Stromlaufpläne werden geprüft, korrigiert und final fertiggestellt.

Ergebnis:

- Die Stromlaufpläne liegen in der finalen und fehlerfreien Version vor.

#### 6. Stücklisten ausleiten:

Arbeitsschritte:

- Die Stücklisten (Bill of Material, BOM) werden erstellt.
- Es werden Reports erstellt.

Ergebnis:

- Die Stücklisten (Bill of Material, BOM) liegen vor.
- Alle benötigten Artikel sind in der Stückliste enthalten.

#### 7. Fertigungsdokumentation ausleiten

Arbeitsschritt:

- Die benötigten Dokumente für die Fertigung werden erstellt.
- Die Fertigungsdokumentation enthält Klemmen, Kabel und Verbindungen.

Ergebnis:

- Alle benötigten Fertigungsunterlagen inklusive Klemmen, Kabel und Verbindungen sind dokumentiert und können an die Fertigung übergeben werden.

#### 8. Schaltschrank konstruieren

Arbeitsschritt:

- Der Schaltschrank wird in 2D oder 3D konstruiert.

Ergebnis:

- Alle Schaltschränke und Gehäuse sind konstruiert.
- Die Konstruktion liegt entweder in 2D oder 3D vor.

## 9. Artikelstandards anlegen

Arbeitsschritt:

- Es werden die Daten der verwendeten Artikel gepflegt.

Ergebnis:

- Artikeldaten liegen vor.

## 10. Makros und Vorlagen anlegen

Arbeitsschritt:

- Es werden Makros und Vorlagen für spätere Anwendungen erstellt.

Ergebnis:

- Makros und Vorlagen sind erstellt und sind für spätere Anwendungen nutzbar.

## 3.2 Methodenwert

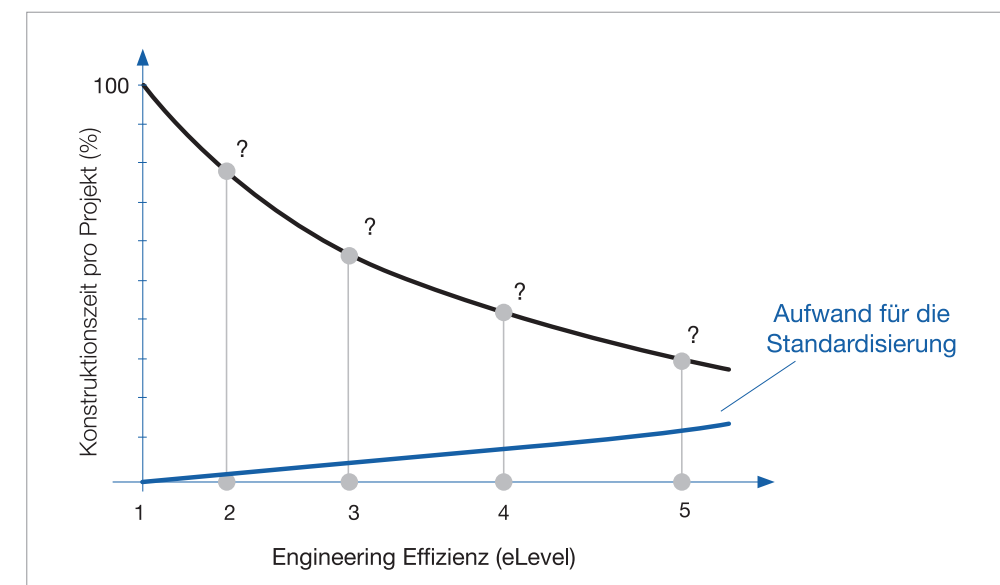
Für eine Vergleichbarkeit der Kundenanalysen ist ein Stromlaufplan-Referenzprojekt erstellt worden. Es handelt sich hier um 100 Seiten Stromlaufplan mit 30 typischen Funktionen (Produkt- und Infrastruktur). Dieses Referenzprojekt wird dazu genutzt, einen neutralen Wert zur Vergleichbarkeit unterschiedlicher Unternehmen zu gewährleisten. Hierzu wurden zunächst die typischen Tätigkeiten bei der Umsetzung der Engineering-Aufgabe beschrieben:

- Technische Klärung/Entwicklung
- Erstellen des grafischen Stromlaufplanes
- Anlegen/Verwendung der benötigten Artikel
- Ausleiten von Stücklisten
- Ausleiten von Beschriftungen
- Ausleiten von Fertigungsdokumenten
- Schaltschrankaufbau
- Nacharbeiten/Korrekturen

Bei der Erstkonstruktion (100 % ETO), also der reinen Neukonstruktion, wird dabei ein branchentypischer Wert von 1 h pro Stromlaufplanseiten angenommen. Für ein Referenzprojekt mit 100 Stromlaufplanseiten bedeutet dies eine Arbeitslast von 100 h. Diese 100 h werden im nächsten Schritt auf 100 % Zeitanteil als Berechnungsgrundlage angenommen. Je höher der Wiederholgrad einer Aufgabe ist, desto höher ist das Potenzial der Automatisierung, was die Zeit für die Erstellung der Stromlaufpläne reduzieren kann.

**Hypothese: Durch einen höheren Automatisierungsgrad kann der Methodenwert, also der Aufwand für die Erstellung einer Stromlaufplanseite, reduziert werden. Im Gegenzug hierzu wird sich der Aufwand für die Standardisierung bei einem höheren Automatisierungsgrad erhöhen.**

**Konstruktionszeit und Standardisierungsaufwand in Abhängigkeit der Engineering-Methode**



## 3.3 Methodik Effizienzlevel

Zur Bewertung der Effizienz je Arbeitsschritt erfolgt eine Skalierung in fünf unterschiedliche Effizienzstufen. Dieses Konzept ermöglicht eine Abstraktion und damit die Vergleichbarkeit und Einstufung von Unternehmen in ihrer spezifischen Engineering-Leistung. Somit kann je Prozessschritt die Effizienz durch gezielte Fragestellungen in Form eines Fragebogens objektiv bewertet werden. Nachfolgend werden beispielhafte Fragestellungen kurz vorgestellt:

### 1. Spezifikation klären: Wie wird in der Konstruktion mit den Auftragsdaten und Anforderungen umgegangen?

- Die Ablage von Auftragsdaten und Anforderungen erfolgt überwiegend analog (z. B. gescannte PDFs, Skizzen etc. auf File Servern).
- Die Ablage von Auftragsdaten und Anforderungen erfolgt überwiegend digital (z. B. digitale Excel Templates).
- Die Ablage von Auftragsdaten und Anforderungen erfolgt durchgängig digital (z. B. Dokumentation in PDM-System).

**2. Rahmenbedingungen klären: In welcher Art und Weise geht der Kunde mit den Rahmenbedingungen im Auftragsfall um (Normen, Werksnormen etc.)?**

- Rahmenbedingungen werden individuell im Auftragsfall geklärt und berücksichtigt.
- Templates und Vorlagen berücksichtigen bereits die mögliche Varianz an Rahmenbedingungen.
- Über einen Automatismus kann auf verschiedene Rahmenbedingungen reagiert werden.

**3. Funktionen und Infrastruktur projektieren: Wie wird bei der Entwicklung neuer technischer Lösungen (ETO) vorgegangen?**

- Neue technische Lösungen werden in einem manuellen Prozess entworfen (z. B. in Abstimmungen überwiegend durch Skizzen).
- Neue technische Lösungen werden in einem systemgestützten Prozess entworfen (z. B. transparente Historie durch Softwareeinsatz).

**4. Stromlaufpläne erstellen: Wie werden Stromlaufpläne erzeugt?**

- Die Erstellung von Stromlaufplänen erfolgt überwiegend grafisch interaktiv durch Platzierung von Symbolen oder Teilschaltungen (z. B. Kopieren und Einfügen).
- Die Erstellung von Stromlaufplänen basiert auf einer zentralen Makrobibliothek mit Produktfunktionen und hinterlegten Datentabellen.
- Die Erstellung von Stromlaufplänen erfolgt zum Großteil durch automatische Generierung per Anbindung an eine Konfiguration.

**5. Stromlaufpläne prüfen: Wie werden Stromlaufpläne nach der Erstellung geprüft?**

- Die Prüfung der Stromlaufpläne erfolgt manuell durch Durchsicht aller Stromlaufplanseiten.
- Die Prüfung der Stromlaufpläne erfolgt durch Massенbearbeitung und Korrekturen über Navigatoren (z. B. seitenübergreifende Mehrfachbearbeitung).
- Die Prüfung der Stromlaufpläne für Funktionen entfällt fast vollständig.

**6. Stücklisten ausleiten: In welcher Art und Weise werden Stücklisten ausgeleitet?**

- Die Stückliste wird manuell aus dem CAE ausgeleitet.
- Die Stückliste wird automatisch aus dem CAE ausgeleitet und manuell mit dem ERP-System verglichen.
- Die Stückliste wird automatisch aus dem CAE ausgeleitet und automatisch mit einem ERP/PDM-System verglichen.

**7. Fertigungsdokumentation ausleiten: Wie vollständig ist die Elektrodokumentation für die Fertigung?**

- Die Ausleitung der Fertigungsdokumentation erfolgt manuell durch den Anwender.
- Die Ausleitung der Fertigungsdokumentation erfolgt teilautomatisiert durch Auswertungsvorlagen.
- Die Ausleitung der Fertigungsdokumentation erfolgt automatisch durch eine ERP/PDM-Integration.

**8. Schaltschrank konstruieren: Wie geht der Kunde methodisch mit der Konstruktion um?**

- Die Schaltschrankkonstruktion erfolgt schematisch in Skizzen und ohne Artikelbezug.
- Die Schaltschrankkonstruktion erfolgt grafisch in 2D.
- Die Schaltschrankkonstruktion erfolgt grafisch in 3D.

**9. Artikelstandards anlegen: In welcher Detailtiefe legt der Kunde 3D-Daten zu den Artikeln an?**

- 3D-Artikeldaten beinhalten nur geometrische Maße.
- 3D-Artikeldaten beinhalten zusätzlich Fertigungsdaten (Bohrbilder, Fräsbilder etc.).
- 3D-Artikeldaten beinhalten zusätzlich NC-Daten und Routing.

**10. Makros und Vorlagen anlegen: Wie systematisch verwaltet und verwendet der Kunde Makros?**

- Makros werden im Elektrischen Engineering nicht verwendet.
- Makros werden im Elektrischen Engineering von einzelnen Anwendern verwendet.
- Makros werden im Elektrischen Engineering zentral verwaltet und von allen Anwendern verwendet.

Mithilfe der beispielhaft dargestellten Fragen kann jeder Prozessschritt auf einem der unten genannten „Efficiency Level“ eingeordnet werden. Während für die Befragung hier eine dreistufige Skala als ausreichend angesehen wurde, sind insgesamt fünf Efficiency Level definiert worden. Zwischenstufen bei der Gesamtbewertung ergeben sich durch die Tatsache, dass für die einzelnen Prozessschritte mehrere Fragen existieren.

**Definition Efficiency Level „Methodik Workflow“(eLevel)**

| eLevel |                      | Charakteristik der Arbeitsweise je Arbeitsschritt                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | „klassisch“          | grafisch orientierte Arbeitsweise, Symbole, manuelle Erstellung von Stromlaufplänen, typischer Entwurf neuer Schaltungen (ETO-Anteil)                                                                                                                                                                                           |
| 2      | „teilstandardisiert“ | geräteorientierte Arbeitsweise, Verwendung von Produktmakros, Aufbau von Artikeldatenbanken, Geräteauswahl                                                                                                                                                                                                                      |
| 3      | „standardisiert“     | grafisch und geräteorientierte Arbeitsweise, Nutzung einer Schaltungsbibliothek für Produktfunktionen, zentrale Makroprojekte, Modularisierung, konsequente Wiederverwendung, Erzeugung vollautomatischer Reports, Einführung von Arbeitsteilung im Engineering in Auftragsbearbeitung und Datenerstellung zur Standardisierung |
| 4      | „teilautomatisiert“  | Nutzung einer umfassenden Schaltungsbibliothek und von Konstruktionsmethoden wie Optionen, Varianten, Import von Daten, Offline-Integration ERP/PDM                                                                                                                                                                             |
| 5      | „automatisiert“      | Nutzung von Generierungs- und Konfigurationsfunktionen, Integration in den Gesamtprozess (ERP/PDM), Sales-Konfiguration (Automatisierungsgrad bis zu 100 %)                                                                                                                                                                     |

Effizienz-Level (eLevel)

10 Handlungsfelder

|    |                                                                         | 1 (klas-<br>sisch) | 2    | 3 (stan-<br>dardisiert) | 4     | 5 (auto-<br>matisiert) |
|----|-------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|-------------------------|-------|------------------------|
| 1  | Grundlagen, gleiche Symbole /<br>grafisches Design, Kopieren            | X                  | X    | X                       |       |                        |
| 2  | Artikeldatenbanken, Aufbau und<br>Nutzungsgrad                          |                    | 50 % | 100 %                   |       |                        |
| 3  | Erstellung von Vorlagen, Makrotech-<br>nik/Bibliothek, Wiederverwendung |                    |      | X                       | X     |                        |
| 4  | Regeln der Erstellung Konstruktions-<br>handbuch, zentrale Vorgaben     |                    |      | 50 %                    | 50 %  | 50 - 100 %             |
| 5  | Arbeitsteilung, Abwicklung und<br>Standardisierung                      |                    |      | X                       | X     | X                      |
| 6  | Produkt-Strukturierung der Wieder-<br>verwendung, Modularisierung       |                    |      | X                       | X     | X                      |
| 7  | Betrachtung der Arbeitsmethodik,<br>Plattform                           |                    |      | 50 %                    | 100 % | X                      |
| 8  | Betrachtung der Datendurchgängig-<br>keit, Vorplanung                   |                    |      | X                       | X     | X                      |
| 9  | Integration ERP/PDM, Artikeldaten,<br>Mechanik                          |                    |      |                         | X     | X                      |
| 10 | Automatisierung im Prozess,<br>Konfiguration                            |                    |      |                         |       | X                      |

3.4 Use Effizienzlevel

Um die Effizienz je Arbeitsschritt bewerten zu können, erfolgt eine Skalierung in fünf Stufen. Dieses Konzept ermöglicht eine Abstraktion und damit die Vergleichbarkeit und Einstufung von Unternehmen in ihrer spezifischen Engineering-Leistung.

Den Nutzungsgrad der CAE-Software kann man durch einen Use Level (uLevel) darstellen.

- Bewertung der Leistungsfähigkeit der eingesetzten CAE-Software
- Einschätzung der Nutzungstiefe der Anwender der CAE-Software

Use Level und Methodiklevel sind beide notwendige Voraussetzungen, um im Engineering-Prozess eine Bewertung eines Ist- und Soll-Zustandes mit möglichen Potenzialen aufzeigen zu können.

Je höher das Level, desto höher ist die Effizienz. Die Differenz zwischen Ist- und Soll-Zustand stellt das erreichbare Einsparpotenzial dar.

Definition Use Level „Software Funktionsnutzung“ (uLevel)

| uLevel |                     | Charakteristik der Funktionsnutzung der CAE-Software (Auszug)                                             |
|--------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | „basic“             | grafisch orientierte Arbeitsweise, keine Übersichten, keine Vorlagen, keine Übersetzungen, keine Reports  |
| 2      | „enhanced“          | grafisch orientierte Arbeitsweise, Copy & Paste, Makronutzung, Nutzung von Online-Nummerierungsfunktionen |
| 3      | „advanced“          | grafisch und geräteorientierte Arbeitsweise, Makroprojekte, Nutzung von Navigatoren, IEC 81346, IEC 61355 |
| 4      | „professional“      | Nutzung von Massendatenbearbeitungen, Import und Export                                                   |
| 5      | „high professional“ | Nutzung von Automatikfunktionen, Scripting, umfangreiches Customizing in der Arbeitsweise                 |

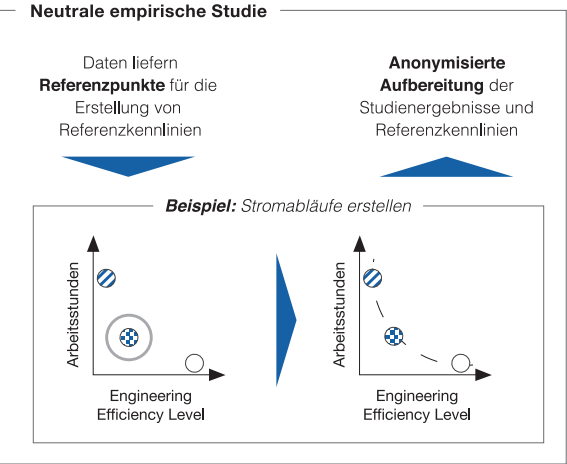
Eine Erhöhung des uLevel („Software Funktionsnutzung“), erreichbar durch Schulung/ Coaching sowie den Zukauf von Zusatzmodulen, ist Grundvoraussetzung für effizienteres Engineering. Damit allein ist unterdessen keine höhere Effizienz erzielbar.

3.5 Durchführung der Studie

Die Studie ist vor Ort bei unterschiedlichen Referenzkunden in einem halb- bis ganztägigen Workshop durchgeführt worden. Hierzu wurden unterschiedliche Mitarbeiter des Unternehmens einzeln und/oder in Gruppen mithilfe eines Prozessinterviews befragt. Zu Beginn sind die Rahmenbedingungen des Unternehmens aufgenommen worden. Anschließend erfolgte die Prozessaufnahme für das Elektrische Engineering in Form der bereits beispielhaft vorgestellten Fragen. Abschließend sind Zeitaufwände typischer Projekte der Unternehmen aufgenommen

worden, so dass ein Zusammenhang zwischen der spezifischen Arbeitsweise der Unternehmen (Engineering Efficiency Level), sowie dem entsprechenden Aufwand zu einem Projekt vorliegt. Hierdurch können aus den Daten spezifische Referenzkennpunkte bestimmt werden, welche anschließend in Form einer anonymisierten Referenzkennlinie überführt werden können. Das Studiendesign ist zunächst in Zusammenarbeit zwischen dem E4TC und Eplan Referenzkunden durchgeführt und validiert worden.

Methode des Studiendesigns



4

Teilnehmer der Studie

Jedes produzierende Unternehmen stellt unterschiedliche Erzeugnisse her und ist thematisch in branchenspezifische Endkunden- und Lieferantenbeziehungen eingebunden. Spezifischen Branchen lassen sich teils unterschiedliche Schwerpunkte und Workflows im Engineering zuordnen, um die jeweilige Geschäftstätigkeit ausüben zu können.

Betrachtete Branchen

|   |                                                 |                                                                                                                |
|---|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Anlagenbau, Verfahrenstechnik, Prozesstechnik   | Engineering von kontinuierlichen Prozessen<br>– überwiegende Auslegung von Messstellen und Prozessleittechnik  |
| 2 | Maschinenbau, Serien- oder Sondermaschinenbauer | Engineering von diskontinuierlichen Prozessen<br>– überwiegender Einsatz von Aktoren, Sensoren und Steuerungen |
| 3 | Produkthersteller                               | Herstellung seriennaher Produkte, Geräte, Prüfstände                                                           |
| 4 | Gebäudeausrüstung                               | Ausführungsplanung im Bereich „Building Information Modeling“ (BIM)                                            |

Vorliegende Studie betrachtet das Segment Maschinenbau im Serien- oder Sondermaschinenbau, Gerätebau, Zulieferer, Ingenieurbüros und Kooperationspartner.

Klassische ETO-Anteile je Branche

|     | Zielgruppe                     | Wiederholgrad der Produkte–Einschätzung des Neu-Engineerings (ETO) | Mit- oder ohne internen Schaltschrankbau |
|-----|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1.1 | Maschinenbau (Serienmaschinen) | < 5 %                                                              | beides                                   |
| 1.2 | Maschinenbau                   | 5–30 %                                                             | beides                                   |
| 1.3 | Maschinenbau (Sondermaschinen) | > 50 %                                                             | beides                                   |
| 2   | Gerätebau                      | siehe Maschinenbau                                                 | siehe Maschinenbau                       |
| 3   | Ingenieurbüros                 | je Auftrag                                                         | ohne                                     |
| 4   | Schaltschrankbau               | je Auftrag                                                         | X                                        |

4.1 Maschinenbau (Serien- und Sondermaschinen)

Diese Studie betrachtet die typischen Engineering-Prozesse in der Hardwarekonstruktion und die Erstellung von Stromlaufplänen und Fertigungsunterlagen für die Schaltschrankfertigung. Der Engineering-Prozess in der Steuerungstechnik beginnt mit dem Kundenauftrag und führt über die Konstruktion und Fertigung bis zur Auslieferung und Inbetriebnahme der Maschine beim Endkunden. Der Umfang der steuerungstechnischen Dokumentation kann von 100 Seiten bis zu durchaus mehreren tausend Seiten pro Maschine betragen. Die Maschinen sind typisch in Funktionen mit Varianten und Optionen ausgeprägt. Ebenfalls werden Schaltschrankdesign (2D oder 3D) für die Fertigung erstellt.

Unterteilung:

- 1. Engineering: Konstruktion der Steuerungstechnik/Hardwarekonstruktion
- 2. Fertigung: Fertigung der Schaltschränke

Ein Maschinenbauer mit interner Schaltschrankfertigung hat die gesamten Wertschöpfung (1, 2) im eigenen Hause. Alle Workflow-Schritte liegen in der eigenen Verantwortung.

Einteilung nach Anteil an der gesamten Wertschöpfung:

|   |                                              |                                                                                                                     |
|---|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Maschinenbauer mit internem Schaltschrankbau | (1) Konstruktionsprozess der Steuerungstechnik/Hardwarekonstruktion<br><br>(2) Fertigungsprozess der Schaltschränke |
| 2 | Maschinenbauer mit externem Schaltschrankbau | (1) Konstruktionsprozess der Steuerungstechnik/Hardwarekonstruktion                                                 |
| 3 | Schaltschrankbauer                           | (2) Fertigungsprozess der Schaltschränke                                                                            |

Einteilung nach Art der Produkte:

- 1. Entwurf und Herstellung Serienmaschinen (geringer ETO-Anteil, typisch 5 %, < 30 %)
- 2. Entwurf und Herstellung Sondermaschinen (großer ETO-Anteil, > 50 %)

Je nach Anteil der Wertschöpfung und der Art der Produkte ergeben sich verschiedene und unterschiedliche Effizienzpotenziale.

4.2 Ingenieurbüros/Hardwareplaner

Ingenieurbüros/Hardwareplaner übernehmen die steuerungstechnische Auslegung meist für viele verschiedene Endkunden und Branchen. Das Engineering ist geprägt durch verschiedene Vorgaben und Rahmenbedingungen der beauftragenden Maschinenbauer oder Anlagenbetreiber. Hervorzuheben ist hier das Umfeld im Automobilbau. Der Schaltschrankbau wird meist durch externe Schaltschrankbauer ausgeführt.

4.3 Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer

Die Anzahl der Stromlaufplanseiten pro Projekt liegt bei Geräteherstellern/kleineren Maschinenbauern zwischen 20 und 100 Seiten. Die Anzahl der Mitarbeiter im Engineering lag bei den teilnehmenden Firmen bei 1 bis 2 Mitarbeitern. Das 8-Phasen-Design aus dem klassischen Maschinenbau lässt sich auch auf das Segment Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer anwenden.

4.4 Schaltschrankbauer

Schaltschrankbauer arbeiten im Auftrag von Maschinenbauern und fertigen die Schaltschränke auf Basis angelieferter Stromlaufpläne. In 90 % der Aufträge existieren nur schematische oder 2D-Übersichtszeichnungen. Aus solchen angelieferten Stromlaufplänen lässt sich keine Fertigung automatisiert steuern.

4.5 Entwurfsprozesse Engineering

Manche Firmen decken verschiedene Bereich ab. Sie lassen sich somit nicht eindeutig in die Gruppe der Serien- oder Sondermaschinenbauer einordnen. Mehrere Entwurfsprozesse liegen gleichzeitig in einer gewissen Verteilung über die Erzeugnisse vor.

Beispiel eines typischen Maschinenbauers:

|   | Anteil an der Herstellung                                  | Überwiegende Arbeitsweise im Engineering                                                                                         |
|---|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 30 % Herstellung von Serienmaschinen                       | vorlagenbasierte Erstellung von Schaltungsunterlagen auf Basis von vorgedachten Maximalprojekten (Baureihen)                     |
| 2 | 50 % Herstellung von Serienmaschinen mit 30 % Sonderanteil | Erstellung der Schaltungsunterlagen auf Basis von vorhandenen Vorlagen und Teilprojekten durch Kopieren und manuelle Anpassungen |
| 3 | 20 % überwiegende Herstellung von Sondermaschinen          | individuelle Schaltungsentwürfe                                                                                                  |

Effizienz im Engineering:  
Einflussfaktoren

Zur Bewertung des Engineering-Prozesses in Unternehmen werden wesentliche Einflussfaktoren klassifiziert. Einige Faktoren sind unmittelbar, andere nicht direkt beeinflussbar. Als weitere Dimension muss der zeitliche Horizont berücksichtigt werden: Einige Faktoren sind kurz-, andere mittel- oder langfristig anpassbar. Die Komplexität vieler zu berücksichtigenden Variablen lässt sich der Überblicksdarstellung von Einflussfaktoren im Engineering entnehmen.

Einflussfaktoren im Engineering-Prozess

|   |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Workflow                | Beschreibt die Schritte des Auftragsdurchlaufs, vom Start in der Engineering-Abteilung bis zur Fertigstellung aller steuerungstechnischen Dokumente (Stromlaufpläne), die für Montage und Inbetriebnahme der Maschinen und für die Fertigung von Schaltschränken benötigt werden.                                   |
| 2 | Methoden im Engineering | Beschreibt die Art und Weise, wie das Engineering durchgeführt wird. Wesentlicher Faktor ist Erkennung und Nutzung der Wiederverwendung (Wiederholgrad) eines Auftrages und der Dokumentation. Die Umsetzung der Kundenanforderungen erfolgt durch „Engineering to Order“ (ETO) und „Configuration to Order“ (CTO). |
| 3 | Standardisierung        | Beschreibt den Grad der Standardisierung. Zuzuordnen ist der relative Zeitaufwand für Standardisierungsmaßnahmen, die den Wiederholgrad erhöhen und die Effizienz im Engineering auftragsspezifisch bzw. auftragsübergreifend steigern.                                                                             |
| 4 | Werkzeuge               | Beschreibt die eingesetzten Softwarelösungen sowie die Durchgängigkeit des Prozessablaufs im Engineering. Die Werkzeuge reichen von Standardlösungen über selbst programmierte Lösungen bis hin zu Hilfsmitteln wie Scripting.                                                                                      |
| 5 | Integration             | Beschreibt den Grad der Einbindung des steuerungstechnischen Engineerings in den Gesamtprozess wie mechanische Konstruktion, ERP/ PDM oder Softwareentwicklung.                                                                                                                                                     |
| 6 | Organisation            | Beschreibt die Organisationsstruktur, die Qualifikation der Mitarbeiter, die Arbeitsauslastung, Arbeitsteilung, Motivation, räumliche Anordnung der Arbeitsplätze und Verantwortlichkeiten.                                                                                                                         |
| 7 | Kunde                   | Beschreibt den Auftrag, die Anforderungen, Rahmenbedingungen, Kundenvorgaben und auch mögliche Anteile in der Wertschöpfungskette.                                                                                                                                                                                  |
| 8 | Lieferanten             | Beschreibt die Zusammenarbeit mit externen Lieferanten wie die Zusammenarbeit mit externen Schaltschrankbauern.                                                                                                                                                                                                     |

6

Referenzmodell

Erstellung eines Stromlaufplans mit 100 Seiten (30 % ETO-Anteil) und Auswertungen wie Stücklisten und Fertigungsunterlagen (Klemmenplan/Kabelplan)

Engineering-Workflow-Modell „Konstruktion“ (Arbeitsschritte 1–8)



Standardisierung (Arbeitsschritt 9, 10)



Die Auswirkungen der verschiedenen Arbeitsweisen auf den Referenzstromlaufplan zeigen sich in den hier aufgeführten erreichbaren Zeitersparnissen in der Stromlaufplanerstellung.

| eLevel                  | Arbeitsschritte 4–7:<br>Einsparung direktes Arbeiten am System (Stromlaufplanerstellung) | Arbeitsschritte 9, 10:<br>Aufwand für die Standardisierung, anteilige Berücksichtigung pro Auftrag | Resultierendes Gesamtpotenzial, Arbeitsschritte 1-10 gesamt |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. „klassisch“          | –                                                                                        | –                                                                                                  | –                                                           |
| 2. „teilstandardisiert“ | 25 %                                                                                     | 5 %                                                                                                | 20 %                                                        |
| 3. „standardisiert“     | 50 %                                                                                     | 10 %                                                                                               | 40 %                                                        |
| 4. „teilautomatisiert“  | 75 %                                                                                     | 15 %                                                                                               | 60 %                                                        |
| 5. „automatisiert“      | 100 %                                                                                    | 20 %                                                                                               | 80 %                                                        |

Bis zu 50 % Ersparnis bringt der Wechsel von zeichnerischer Stromlaufplanerstellung (eLevel1) zu vollständig standardisierter Stromlaufplanerstellung (eLevel3). Eine weitere Halbierung des Zeitaufwandes kann durch eine Teilautomatisierung (eLevel4) erreicht werden. Von Stufe zu Stufe kann unter Berücksichtigung des erforderlichen Standardisierungsaufwandes von einem Effizienzgewinn in Höhe von 15 bis 20 % ausgegangen werden.

Erstellung eines Schaltschrankaufbaus (Standardschrank)  
3D-Design (Aufbauplan, Referenzprojekt im eLevel3)

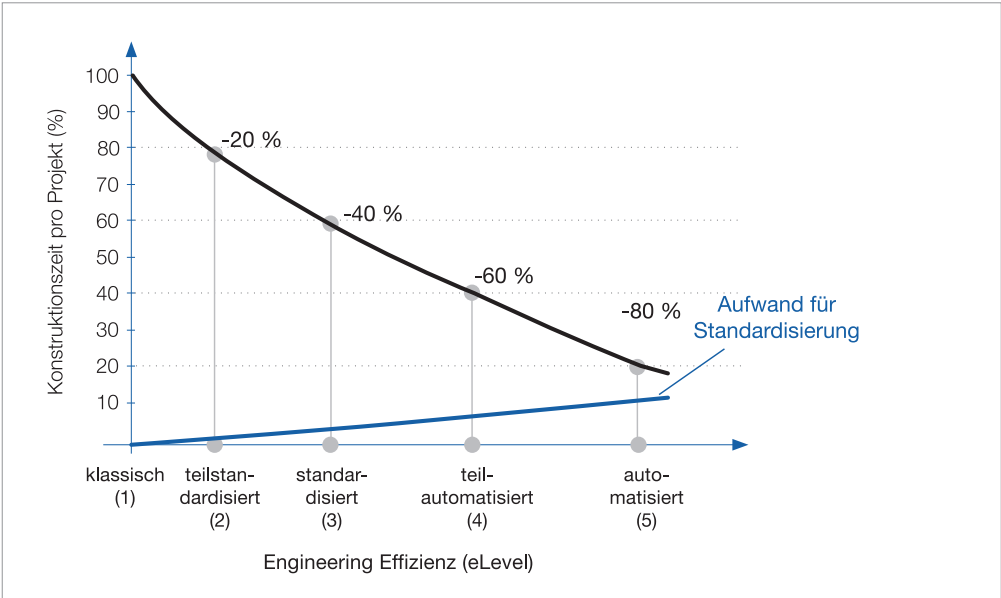
| eLevel                  | Arbeitsschritt 8:<br>3D-Design Schaltschrank<br>Zeitaufwand | Arbeitsweise                                                                                            |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. „klassisch“          | –                                                           | grafisch 2D, nur schematische Darstellung, keine Exportmöglichkeiten (NC und Routing) für die Fertigung |
| 2. „teilstandardisiert“ | Ausgangspunkt (100 %)                                       | Platzierung aus einer Artikelliste                                                                      |
| 3. „standardisiert“     | bis zu 50 % Einsparung                                      | Nutzung von Vorlagen und Eliminierung nicht verwendeter Teile zzgl. manueller Ergänzungen               |
| 4. „teilautomatisiert“  | nicht angewendet                                            | Generierung aus Stromlaufplan                                                                           |
| 5. „automatisiert“      | nicht angewendet                                            | Konfiguration, Anbindung an Sales-Konfigurator                                                          |

Der Zeitaufwand zur Erstellung eines 3D-Schranklayouts hängt maßgeblich von den verfügbaren Stammdaten sowie vom ETO-Anteil ab. Für die Erstellung eines Standard-schranklayouts werden im Mittel ca. 4 Stunden benötigt. Das sind in diesem Referenzmodell zwei Seiten 3D-Layout (Montageplatte + Tür).

50 % Ersparnis bringt der Wechsel von der teilstandardisierten Arbeitsweise (eLevel2) auf eine vollständig standardisierte Arbeitsweise (eLevel3).

Der Zeitaufwand zwischen Stromlaufplanerstellung und passender Schaltschrank-Layoutplanung liegt im Verhältnis 10 : 1 bis 20 : 1. Die Erstellung eines Stromlaufplans nimmt demnach 10- bis 20-mal mehr Zeit in Anspruch als die entsprechende Erstellung des Schaltschrankaufbaus.

Ergebnis: Referenz Engineering-Effizienz-Kurve



Die Kalkulationsbasis (Y-Achse) kann sich je Stromlaufplanseite oder wie hier dargestellt auf gesamte Stromlaufplanprojekte beziehen.

Für die Abwicklung der Aufträge sind zusätzliche, projektübergreifende, teils auch auftragsbezogene Standardisierungstätigkeiten erforderlich.

Standardisierungstätigkeiten

|   | Gruppierung der Tätigkeiten | Tätigkeiten                                                                                                                  |
|---|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Erstellung von Artikeldaten | Anlage von Kaufteilen in ERP- und CAE-Systemen                                                                               |
| 2 | Erstellung von Vorlagen     | Erstellung von Teilschaltungen (Makros) für die Wiederverwendung in Stromlaufplänen (Ausprägungen in Varianten und Optionen) |

7.1 Herstellung von Serienmaschinen

Serienmaschinen sind Standardprodukte. Der Prototyp einer Maschine (Baumuster) wird entwickelt und dann fast unverändert mehrere hundert Mal bestellt, konfiguriert, gefertigt und gebaut. Das Engineering besteht darin, für jeden Auftrag eine „As built“-Dokumentation (wie gebaut) aus Varianten und Optionen einer Mastervorlage zu erstellen.

Anwendung finden die Effizienzlevel 3–5.

| eLevel | Arbeitsweise        | Charakteristik der Arbeitsweise                                                                                                                                                              |
|--------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3      | „standardisiert“    | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen durch geringfügiges Anpassen und Platzieren der gewählten Varianten und Optionen                                                    |
| 4      | „teilautomatisiert“ | Nutzung von Varianten und Optionstechnik, teilweise Generierung der Stromlaufpläne und der passenden Fertigungs- und Kundendokumente                                                         |
| 5      | „automatisiert“     | Vollständige, automatische Generierung der Stromlaufpläne und der passenden Fertigungs- und Kundendokumente auf Basis einer Sales-Konfiguration. Hier ist keine Benutzeraktion erforderlich. |

eLevel3: Ausgangssituation

30 % der Firmen erstellen gar keine Dokumentation; hier wird auf einen Masterplan verwiesen. In einer separaten Bestellung wird auf die aktuelle, bestellte Konfiguration hingewiesen. Es gibt keine „As built“-Dokumentation.

eLevel4: > 40% Einsparpotenzial

60 % der Firmen erstellen eine „As built“-Dokumentation durch die Verwendung eines Masterprojektes. Nicht verwendete Duplikate werden gelöscht, der Plan dann manuell fertiggestellt, indem nicht verbundene Potenziale angeschlossen, fehlende Kabel nachgeführt werden etc.

eLevel5: bis zu 100 % Einsparpotenzial

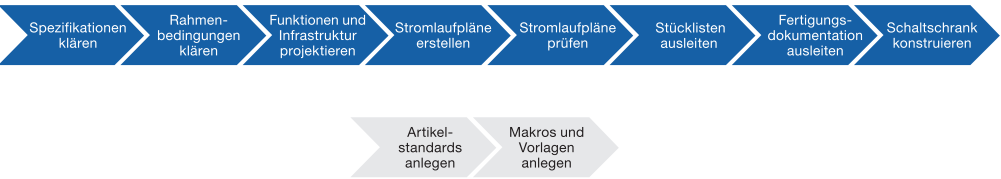
10 % der Firmen beschäftigen sich mit einer automatisierten Konfigurationslösung.

Beispiel für typische Einsparungen im Serienbau/200 Maschinen pro Jahr (absolute Zahlenwerte)

| eLevel | Erstellungszeit der Dokumente pro Auftrag [h] | Einsparung [%] | 200 Aufträge pro Jahr Ersparnis [h] |
|--------|-----------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| 3      | 3                                             | –              | –                                   |
| 4      | 1,5                                           | 50 %           | 300                                 |
| 5      | 0                                             | 100 %          | 600                                 |

7.2 Herstellung von Serienmaschinen mit Sonderanteilen

Die Maschinenbaufirmen haben einen eigenen Schaltanlagenbau oder arbeiten mit externen Schaltschrankbauern zusammen. Der Neu-Engineering-Anteil liegt bei 20 bis 30 % (ETO).



Typische Zeitaufwände im Auftragsdurchlauf in der Engineering-Abteilung

| 1                                        | 2                 | 3                  | 4            | 5      | 6           | 7       | 8              |
|------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------|--------|-------------|---------|----------------|
| Spezifikation klären                     | Rahmenbedingungen | Projek-tieren 30 % | Konstruktion | Prüfen | Stück-liste | Reports | Schrank-aufbau |
| 5 %                                      | 5 %               | 18 %               | 42 %         | 10 %   | 5 %         | 5 %     | 10 %           |
| direkt beeinflussbar (ca. 62 % der Zeit) |                   |                    |              |        |             |         |                |

Das Engineering nutzt eine oder mehrere Kopiervorlagen, Varianten und Optionen auf Basis von Seitenmakros, die für jeden Auftrag zuerst zusammenkopiert und dann manuell ergänzt werden.

Bei der Herstellung von Serienmaschinen mit Sonderanteilen dominiert das Engineering der Effizienzlevel 2 und 3. Ebenfalls ausgeprägt ist das Arbeiten im Effizienzlevel 4.

| eLevel | Arbeitsweise         | Charakteristik der Arbeitsweise                                                                                                                           |
|--------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2      | „teilstandardisiert“ | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen, Kopieren von Seitenmakros, manuelle Ergänzungen                                                 |
| 3      | „standardisiert“     | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen durch Anpassen und Platzieren der gewählten Varianten und Optionen, Nutzung von Importfunktionen |
| 4      | „teilautomatisiert“  | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen, teilweise Generierung von Teilen der Projekte                                                   |

eLevel2: Ausgangssituation

30 % der Firmen erstellen auf Basis eines oder mehrerer Masterpläne neue Projekte. Sehr oft werden Seitenmakros verwendet. Die Seitenmakros sind oft redundant und auch mitarbeiterspezifisch. Mehrere tausend Seitenmakros als Vorlage sind in der Anwendung. Die Aktualisierung dieser Vorlagen nimmt einen großen Zeitanteil in Anspruch.

eLevel3: 45–50 % Einsparpotenzial

50 % der Firmen erstellen auf Basis eines oder mehrerer Masterpläne neue Projekte. Sehr oft wird der Standard auf redundanten Seitenmakros aufgebaut. Hier kommt erstmals ein zentraler Firmenstandard zum Einsatz. Die Aufgabe liegt darin, die Redundanz zu verringern und die Vorlagen neu zu strukturieren und zu modularisieren.

eLevel4: > 50 % Einsparpotenzial

60 % der Firmen erstellen eine „As built“-Dokumentation durch die Verwendung eines Masterprojektes. Nicht verwendete Duplikate werden gelöscht, der Plan wird manuell weiter angepasst und fertiggestellt. Nicht verbundene Potenziale werden angeschlossen, fehlende Kabel nachgeführt etc. Teilkonfigurationstechniken werden angewendet. Die Infrastruktur, u. a. die SPS, wird zusätzlich ergänzt.

eLevel5: zzt. keine zu 100 %-Konfigurationslösungen im Einsatz

Beispiel für typische Einsparungen bei 100 Aufträgen (absolute Zahlenwerte)

| eLevel | Erstellungszeit der Dokumente pro Auftrag [h] | Einsparung [%] | 100 Aufträge pro Jahr Einsparung [h] |
|--------|-----------------------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| 2      | 16                                            | –              | –                                    |
| 3      | 8                                             | 50 %           | 800                                  |
| 4      | 4                                             | 75 %           | 1.200                                |

7.3 Herstellung von Sondermaschinen

Die Herstellung von Sondermaschinen ist überwiegend als komplette Neuentwicklung zu begreifen: Einem relativ hohen Zeitaufwand für die Lösungsfindung steht ein geringer systematischer Aufwand gegenüber. Typische Durchlaufzeiten liegen bei insgesamt 6 Monaten.

Im Sondermaschinenbau hat sich für die Vergleichbarkeit des Engineerings im Unternehmen die Messgröße „Zeit pro Seite“ bewährt.

Engineering primär im Rahmen der Effizienzlevel 2 und 3

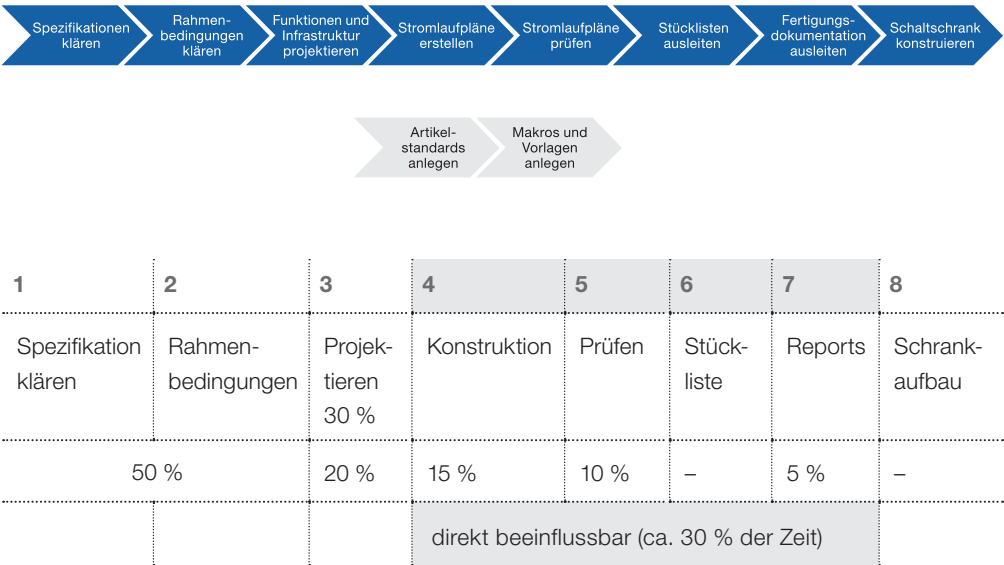
| eLevel | Arbeitsweise         | Charakteristik der Arbeitsweise                                                                                                                           |
|--------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2      | „teilstandardisiert“ | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen, Kopieren von Seitenmakros, manuelle Ergänzungen                                                 |
| 3      | „standardisiert“     | Erstellung der Stromlaufpläne auf Basis von Masterplänen durch Anpassen und Platzieren der gewählten Varianten und Optionen, Nutzung von Importfunktionen |

Beispiel für typische Einsparungen (absolute Zahlenwerte)

| eLevel | Erstellungszeit der Dokumente pro Auftrag [h] | Einsparung [%] | 5 Aufträge pro Jahr Einsparung [h] |
|--------|-----------------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| 2      | 500                                           | –              | –                                  |
| 3      | 425                                           | 15 %           | 375                                |

7.4 Ingenieurbüros/Hardwareplaner

Typische Zeitaufwände im Auftragsdurchlauf in der Engineering-Abteilung



Praxisbeispiel: Ein Ingenieurbüro/Hardwareplaner befasst sich schwerpunktmäßig mit der Auslegung in den Punkten 3 und 4. In allen anderen Prozessschritten ist eine Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen oder anderen Firmen bzw. Vertragspartnern erforderlich. Daraus folgt, dass immer unter Vorgaben gearbeitet wird. Existieren mehrere Auftraggeber, sind je nach Auftrag auch mehrere unterschiedliche Vorgaben zu beachten.

Beispiele für Vorgaben

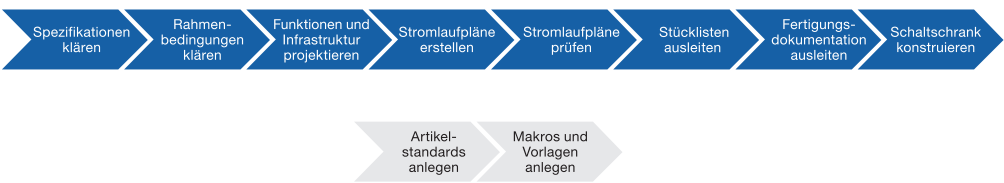
- Freigabelisten von zu verwendenden Artikeln
- Schaltungsvorgaben mit BMK-Benennungen
- Makrobibliotheken
- Designvorgaben
- Automotive-Normvorgaben
- Verkabelungsvorgaben
- Vorgaben zu Adressierung von IOs

Beim Anwender Ingenieurbüros/Hardwareplaner kann die Effizienz des Engineerings ebenfalls mit dem allgemeingültigen Modell aus dem Maschinenbau abgebildet werden.

7.5 Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer

Die Anzahl der Stromlaufplanseiten pro Projekt liegt bei Geräteherstellern/kleineren Maschinenbauern zwischen 20 und 100 Seiten. Die Anzahl der Mitarbeiter im Engineering lag bei den teilnehmenden Firmen bei 1 bis 2 Mitarbeitern.

Das 8-Phasen-Design aus dem klassischen Maschinenbau lässt sich auch auf das Segment Gerätehersteller/kleinere Maschinenbauer anwenden.



Je nach Wiederholgrad liegt die Einordnung eher im Bereich der Serienmaschinen mit 10- bis 20-prozentigem Sonderanteil.

Um von einer klassischen Arbeitsweise auf eine standardisierte Arbeitsweise zu wechseln, wird meist die „Maximalprojekttechnik“ oder „Optionstechnik“ im Engineering angewendet.

Häufigste Dokumentationsform ist die Anwendung der „Maximalprojekttechnik“. Aus einem typischen 150 %-Projekt mit redundanten Schaltungen wird durch Streichen ein Auftragsprojekt erzeugt und dieses manuell an die aktuellen Anforderungen angepasst.

Beispiel für typische Einsparungen (absolute Zahlenwerte)

| eLevel | Erstellungszeit der Dokumente pro Auftrag [h] | Einsparung [%] | 200 Aufträge pro Jahr Einsparung [h] |
|--------|-----------------------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| 2      | 8                                             | –              | –                                    |
| 3      | 4                                             | 40–50 %        | 800                                  |

7.6 Schaltschrankbauer

Schaltschrankbauer arbeiten im Auftrag von Maschinenbauern und fertigen die Schaltschränke auf Basis angelieferter Stromlaufpläne. In 90 % der Aufträge existieren nur schematische oder 2D-Übersichtszeichnungen. Aus dergestalt angelieferten Stromlaufplänen lässt sich keine Fertigung automatisch steuern.

In nur ca. 10 % der Aufträge werden digital auswertbare Pläne angeliefert; auf Basis dieser Pläne können z. B. NC-Daten für die Bearbeitung der Montageplatten und für Türausschnitte abgeleitet werden.

Verfügt der Schaltschrankbauer über eine automatisierte Fertigung, erfolgt ein „Nach-Engineering“ oder eine Optimierung der Daten, um den NC-Fertigungsprozess oder das Routing zu nutzen.

Der „Digital Twin“ des Schaltschranks wird durch den Schaltschrankbauer überwiegend in 3D neu aufgebaut. Das Erstellen von Drahtlisten für die Konfektion von Drähten erfolgt auf Excel-Basis.

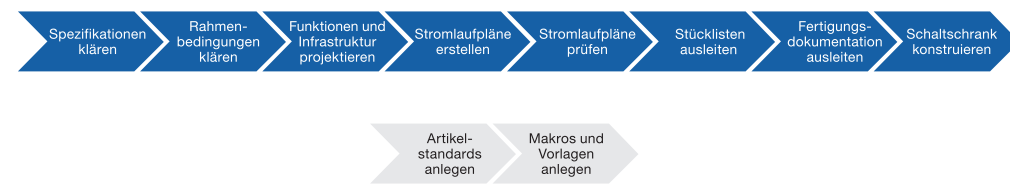
Eine logische Korrektur der Stromlaufpläne erfolgt nicht, da das separate Erstellen der Drahtlisten einfacher und schneller umsetzbar ist als das korrekte Umzeichnen der angelieferten Stromlaufpläne.

Generatoren und Konfigurationen sind nicht im Einsatz.

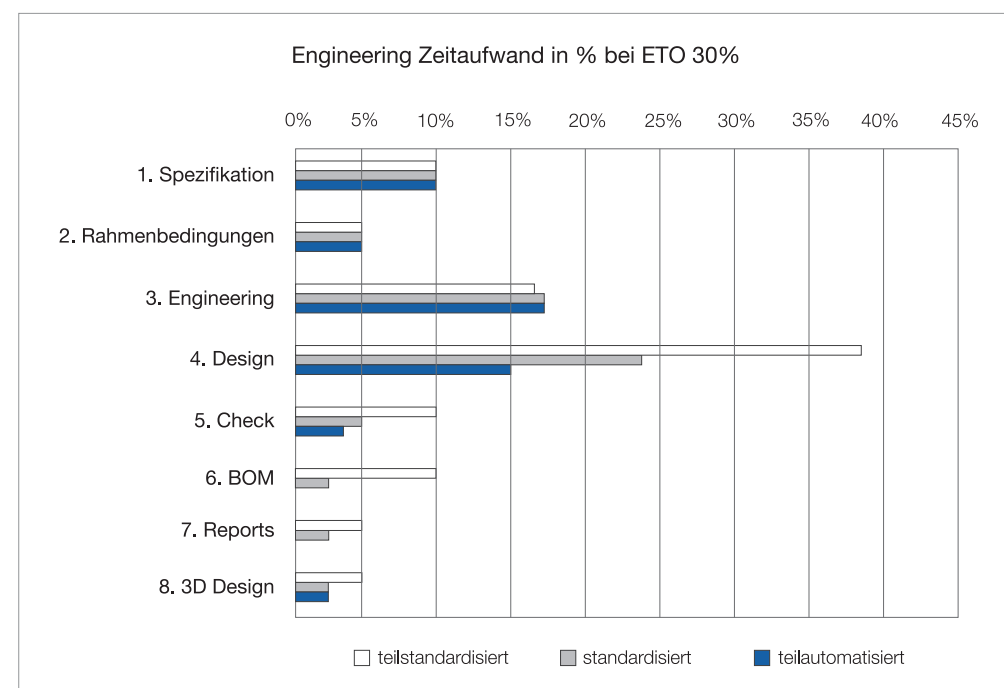
Es ist erklärter Wunsch der Schaltschrankbauer, seitens ihrer Auftraggeber – den Maschinenbauern – immer mehr zu 100 % digitale Modelle für Gehäuse zu erhalten, um vom Engineering 4.0 nahtlos in den Ablauf der Industrie-4.0-Fertigungsprozesse überleiten zu können.

# Effizienzhandlungsfelder

Der zeitliche Aufwand pro Prozessschritt differiert von Firma zu Firma, je nach Produktportfolio und Anteil der Serien- und Sonderkonstruktionen sowie dem damit verbundenen Wiederholgrad der Dokumentation.



Typische Zeitaufwände der Engineering-Schritte (1-8) in % ausgehend von eLevel2



Teilweise überlappen sich die Aufgaben, teilweise gibt es Iterationsschleifen. Die benötigte Zeit pro Arbeitsschritt kann im konkreten Fall eine geringfügig andere Verteilung aufweisen. Die Darstellung zeigt einen Mittelwert und stellt einen Orientierungsrahmen für die konkrete Betrachtung der eigenen Zeitaufwände dar.

**Wesentliche Kriterien für potenziell erreichbare Effizienzlevel liegen im ETO-Anteil und in der Methodik der Stromlaufplanerstellung begründet.**

## 8.1 Teilstandardisierte Arbeitsweise (eLevel: 1 -> 2)

Der Schlüssel zur Effizienzsteigerung von „Klassisch“ (eLevel1) auf „Teilstandardisierung“ (eLevel2) liegt in vollständiger Nutzung der CAE-Systeme beim Aufbau von Artikeldaten. Die Artikel liegen bisher meist nur mit kaufmännischen Daten vor, wie Beschreibungstexte und einige technische Kenngrößen. Für den Einstieg in eine geräteorientierte Arbeitsweise ist dies nicht ausreichend.

**Maßnahme:** Erstellung von qualitativ hochwertigen Gerätedaten  
**Ergebnis:** Geräteorientierte Arbeitsweise

Geräteorientiert bedeutet, dass sich Stromlaufpläne direkt per Drag & Drop aus Artikeln erstellen lassen. Die grafische Darstellung passt sofort, Nacharbeiten fallen keine an. Die Artikel/Gerätedarstellungen sind die Grundbausteine für den späteren Aufbau von kompletten Schaltungsvorlagen.

Ebenfalls können grafische Stromlaufpläne sehr einfach und schnell um Artikeldaten ergänzt werden. Hier fallen bei der Eingabe Unstimmigkeiten sofort auf und lassen sich umgehend korrigieren.

Stromlaufpläne können durch Gerätetechnik um ca. 25 bis 30 % schneller erstellt werden. Der Aufwand für die initiale Erstellung hängt je Firma von der Anzahl aktuell verwendeter Artikel ab.

Die Studie ergab, dass in Firmen durchschnittlich eine absolute Zahl von ca. 3.000 aktiven Artikeln vorliegt. Da Artikel in Baureihen verwendet werden und hier ebenfalls ein Wiederholfaktor zu berücksichtigen ist, reduziert sich der Aufwand der Erstellung von Gerätedaten um ca. 50 %. Das bedeutet, dass nur ca. 1.500 Artikel geräteorientiert aufgearbeitet werden müssen.

Die Erfahrungswerte der Unternehmen lassen auf einen Aufwand von bis zu 6 Monaten schließen, um über eine professionelle, arbeitsfähige Basis an Gerätedaten zu verfügen. In der Folgezeit ist lediglich der laufende Aufwand für neu dazukommende Artikel zu berücksichtigen.

### Effizienz

Stromlaufpläne können durch Gerätetechnik ca. um 25 bis 30 % schneller erstellt werden. Da die Stromlaufplanerstellung nur einen Teil des gesamten Engineering-Prozesses darstellt, verkürzt sich der gesamte Prozess um mindestens 15 %. Die Reports, montagebezogene Fertigungslisten, können teilautomatisiert erzeugt werden. 50 % Zeitersparnis sind erzielbar.

50 % Zeitersparnis lassen sich durch die teilautomatisierte Stücklistenerzeugung (BOM) erzielen.

## 8.2 Standardisierte Arbeitsweise (eLevel: 2 -> 3)

Der Schlüssel zur Effizienzsteigerung von „Teilstandardisierung“ (eLevel2) auf „Standardisierung“ (eLevel3) liegt in vollständiger Nutzung der CAE-Systeme bei Aufbau von wiederkehrenden Teilschaltungen, Varianten und Optionen, die als Grundbausteine für Stromlaufpläne verwendet werden.

**Maßnahme:** 1. Produktstrukturierung

Methode zur Strukturierung von Maschinen und Anlagen in Produktfunktionen  
Aktoren, Sensoren, Bildung von Varianten und Optionen  
Modularisierung der Infrastruktur  
Entwicklung wiederverwendbarer Funktionen  
(Grundlage IEC 81346)  
Betrachtung von Fertigungsstrukturen

2. Erstellung einer Bibliothek von Schaltungsvorlagen

**Ergebnis:** Strukturierung als Basis für die Erstellung von Konstruktionsvorlagen

Ein modularer Baukasten von Konstruktionsvorlagen kann auf Basis der Produktstrukturierung aufgebaut werden. Dieser Baukasten dient als Basis für die Stromlaufplanerstellung.

Projekte werden in Folge aus geprüften Teilschaltungen zusammengesetzt. Je nach Komplexitätsgrad können meist die Produktfunktionen (Aktoren) per Teilschaltungen zusammenkopiert werden. Im Weiteren werden manuell Ergänzungen durchgeführt, wie die Auslegung der Steuerungstechnik und Infrastruktur.

### Effizienz

Stromlaufpläne können durch Konstruktionsvorlagen um weitere ca. 25 % schneller erstellt werden. Der gesamte Engineering-Prozess (alle 8 Phasen) verkürzt sich um weitere 15 %. Die Reports, montagebezogene Fertigungslisten, können vollautomatisch erzeugt werden. 100 % Zeitersparnis sind erzielbar.

100 % Zeitersparnis lassen sich durch die vollautomatisierte Stücklistenerzeugung (BOM) erreichen.

## 8.3 Teilautomatisierte Arbeitsweise (eLevel: 3 -> 4)

Der Schlüssel zur Effizienzsteigerung von „Standardisierung“ (eLevel3) auf „Teilautomatisierung“ (eLevel4) und fortführend auf „Vollautomatisierung“ (eLevel5) liegt in der Änderung der Konstruktionsmethodik. Die Erstellung der Dokumentation wird jetzt zunehmend automatisch konfiguriert und generiert.

**Maßnahme:** Einführung von Arbeitsteilung in Auftragsbearbeitung und Standardisierung

Wenn noch nicht eingeführt, muss für den Aufbau einer Automatisierung der Arbeitsteilung realisiert werden. Dediziert ausgewählte Mitarbeiter erstellen die Vorlagen.  
Auftragsbearbeiter nutzen diese Vorlagen für die Erstellung der Stromlaufpläne.

**Ergebnis:** Maximalprojekte, Optionstechnik oder Konfiguration der Generierung

Ein modularer Baukasten von Konstruktionsvorlagen kann auf Basis der Produktstrukturierung mit Regeln versehen werden. Der Baukasten dient als Basis für den Aufbau einer Lösung zur automatischen Stromlaufplanerstellung.

In der Teilautomatisierung wird das Projekt aus geprüften Teilschaltungen automatisch zusammengesetzt. Im Weiteren werden manuell Ergänzungen durchgeführt, wie die Auslegung der Steuerungstechnik und Infrastruktur.

Diese Automatisierung der letzten manuellen Schritte hat keines der untersuchten Unternehmen vollständig umgesetzt.

### Effizienz

Stromlaufpläne können durch diese Konstruktionsvorlagen um weitere ca. 25 % schneller erstellt werden. Der gesamte Engineering-Prozess (alle 8 Phasen) verkürzt sich um weitere 15 %.

## 8.4 Automatisierte Arbeitsweise (eLevel: 4 -> 5)

„Vollautomatisierung“ (eLevel5) versteht sich als konsequente Fortführung der Tätigkeiten in der „Teilautomatisierung“ (eLevel4).

Der Übergang von letzten manuellen Schritten hin zu einer 100-prozentigen Automatisierung hängt maßgeblich vom Wiederverwendungsgrad, der Komplexität und Häufigkeit der Aufgabenstellungen ab.

## 8.5 Zusammenfassung

Es hängt im Wesentlichen von der Varianz der Engineering Aufgabe, der Höhe des ETO Anteils [%], der Programmierkompetenz, dem Erfahrungsstand der Engineering Abteilung und dem Sonderanteil im Engineering ab, bis zu welchem Grad eine Automatisierung in % eine Effizienzsteigerung ermöglicht.

Zwar ist Effizienz nicht direkt berechenbar, aber in einem Benchmark vergleichbar und schätzbar.

Somit lässt sich aus der Studie schließen, dass durch eine Standardisierung (eLevel3) der Artikel und Konstruktionsvorlagen 50 % der Zeit für die Erstellung von Stromlaufplänen (Schritt 4-7) eingespart werden kann.

Mit einer anschließenden Teilautomatisierung (eLevel4) können zusätzlich weitere 25 % der Zeit für die Erstellung von Stromlaufplänen (Schritt 4-7) eingespart werden.

Die Studie zeigt auf, dass der Schlüssel zu höherer Effizienz im Engineering in der Arbeitsteilung in Auftragsbearbeitung und Datenerstellung zur Standardisierung liegt. Der Zeitaufwand für die Erstellung der Stromlaufpläne kann halbiert werden.

Dies lässt sich als Grundlage für eine anschließende, stufenweise Automatisierung der Stromlaufplanerstellung nutzen.

Dabei ist die Voraussetzung für eine teil- bis vollautomatisierte Konfiguration etwa eine Verdopplung des Standardisierungsaufwandes.

**Somit ergibt die Stufe der Teilautomatisierung in vielen Fällen betriebswirtschaftlich das beste Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen.**

Vollständige, digitale Engineering-Unterlagen wie Stromlaufpläne und 3D-Designs der Schaltschränke, der so genannte „Digital Twin“, ermöglichen erhebliche Optimierungen in der Fertigung. Diese Potenziale sind in der Studie „Schaltschrankbau 4.0“ der Universität Stuttgart sehr gut dargestellt.

Alle befragten Unternehmen, die auf Automatisierung, Konfiguration und Generierung von Fertigungsunterlagen setzen, haben folgende Erfolgsfaktoren für Effizienzsteigerung benannt:

1. Bewusste Unternehmensentscheidung zur Arbeitsteilung in übergreifende Standardisierung und auftragsbezogene Tätigkeiten
2. Nutzung der langjährigen Erfahrungen/Services des CAE-Softwareherstellers bei der richtigen Umgestaltung der Prozesse
3. Aufbau von eigenen Kompetenzen für Softwareentwicklung zur Einschätzung von Lösungsmöglichkeiten
4. Priorisiertes Handling der Standardisierungsthemen im Tagesgeschäft
5. Agiles und schnelles Vorgehen für schnelle erste Erfolge
6. Ganzheitliche Betrachtung der Effekte für den Gesamtprozess, kein abschließlicher Fokus auf die Kostenstelle „Engineering“

Weiterhin eröffnen sich zusätzliche Nutzenpotenziale der Engineering-Unterlagen im Product Lifecycle, speziell in den Bereichen Wartung und Instandhaltung im laufenden Betrieb.

### Augmented Reality

Eine professionelle vollständige Elektrodokumentation, digital verfügbar, bietet für den Betrieb von Maschinen einen erheblichen Mehrwert für eine schnelle Fehlersuche und die Minimierung von Ausfallzeiten.

Durch Anzeigen von Zusatzinformationen aus den Engineering-Unterlagen kann eine Hilfestellung bei komplexen Aufgaben gegeben werden. Werden z. B. für einen Wartungstechniker die Betriebsmittel einer Maschine „beschriftet“, dann kann er zu den richtigen Dokumenten navigieren und erhält passende Service- bzw. Arbeitsanweisungen.

### Zukünftige Servicemodelle

„Digital Twin“-Daten aus dem Engineering stellen die Basis für den Aufbau zukünftiger Geschäftsfelder wie „Vorausschauende Wartung“. Sie lassen sich zudem nutzen für die Dokumentation von Änderungen in der Steuerungstechnik im Maschineneinsatz. Die Technologie der weltweiten Verfügbarkeit von Daten aus cloudbasierten Systemen ist vorhanden. Erste praktische Anwendungen für den Datenzugriff im laufenden Betrieb von Maschinen und Anlagen stehen bereits zur Verfügung.

10

# Anhang (Effizienztabelle)

Relative Zahlenwerte für die Einsparpotenziale je Arbeitsschritt (ET0 30 %)

| eLevel                       | Arbeitsschritte 4–7:<br>Einsparung direktes Arbei-<br>ten am System (Strom-<br>laufplanerstellung) | Arbeitsschritte 9, 10:<br>Aufwand für die<br>Standardisierung,<br>anteilige Berücksich-<br>tigung pro Auftrag | Resultierendes<br>Gesamtpotenzial,<br>Arbeitsschritte<br>1-10 gesamt |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1. „klassisch“               | –                                                                                                  | –                                                                                                             | –                                                                    |
| 2. „teilstandar-<br>disiert“ | 25 %                                                                                               | 5 %                                                                                                           | 20 %                                                                 |
| 3. „standar-<br>disiert“     | 50 %                                                                                               | 10 %                                                                                                          | 40 %                                                                 |
| 4. „teilauto-<br>matisiert“  | 75 %                                                                                               | 15 %                                                                                                          | 60 %                                                                 |
| 5. „auto-<br>matisiert“      | 100 %                                                                                              | 20 %                                                                                                          | 80 %                                                                 |

# **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](mailto:info@eplan.de) · [www.eplan.de](http://www.eplan.de)

PROCESS CONSULTING

ENGINEERING SOFTWARE

IMPLEMENTATION

GLOBAL SUPPORT

FRIEDHELM LOH GROUP

