

# **In wenigen Minuten webbasiert zum normgerechten CAD-Modell einer Hubseiltrommel**

Assoc.Prof. DI Dr.techn. Christian LANDSCHÜTZER,  
ist Professor für Fördertechnik des Instituts für Technische Logistik der TU Graz und leitet dort den Arbeitsbereich Logistik Technologie.

DI Julian THORESSON,  
ist Absolvent der TU Graz und Gründer sowie Inhaber der Firma THOR Knowledge Engineering GmbH (TKE), die eine webbasierte Generierungsplattform für CAD-Modelle von Hubseiltrommeln anbietet.

*Individualisierung und Lieferzeitverkürzung fordern heutzutage nicht nur e-commerce und die Konsumgüterbranche, sondern diese beiden Trends stellen auch für den klassischen Maschinenbau und die Fördertechnik eine Herausforderung dar. Viel Zeit kann in der Beschleunigung routinemäßiger Konstruktionsarbeit gewonnen werden. Der Ansatz der automatisierten Konstruktion ist dafür lange bekannt und wurde – durchaus ambivalent – in den letzten Jahrzehnten mehr oder weniger aufgegriffen.*

*Der vorliegende Beitrag stellt eine wissenschaftlich erarbeitete, einfach anzuwendende Auswahl- und Bewertungsmöglichkeit vor, ob automatisierte Konstruktion für eine Konstruktionsaufgabe eine probate Vorgehensweise ist. Am Beispiel der Hubseiltrommel kann dies vollumfänglich bejaht werden, was im zweiten Teil des Beitrags vorgestellt wird. Die Lösung der Firma TKE zeigt den wissenschaftlich gestützten und webbasierten Weg, einer automatisierten Hubseiltrommelgenerierung in kürzester Zeit.*

## **1 KBE (KBx) in der Technischen Logistik<sup>1</sup>**

Die technische Beherrschung automatisierter Konstruktionslösungen im allgemeinen und vor allem im CAD ist evident und wird je Industriebranche unterschiedlich vorangetrieben. Je nach Einsatz von 2D- oder 3D-CAD-Systemen lassen sich somit viele Routinetätigkeiten in der CAD-Konstruktion, v.a. bei Variantenkonstruktionen (Def. nach [VDI 2221]) automatisieren und damit weitestgehend bei gesicherter Qualität beschleunigen. Sobald die Euphorie über die technische Machbarkeit ökonomisch beleuchtet wird muss man kritisch fragen, ob der Aufwand der zeit- und ressourcenintensive Erstellung einer automatisierten Konstruktionslösung gerechtfertigt ist.

[LAN 16] widmet sich diesem Thema – und weiteren Engineeringaufgaben in der Technischen Logistik – ausführlich und versucht methodisch Produktentwicklungsansätze aus veränderungs- und innovationsgetriebenen Branchen wie bspw. automotive auf den Fachbereich Technische Logistik und Fördertechnik zu übertragen. Darin werden zehn Methoden identifiziert, die eine aufgezeigte Lücke in der Modernität der Entwicklungstätigkeit schließen vermögen. KBE und

---

<sup>1</sup> Kapitel 1 bis 4 folgen der in [LAN18] entwickelten Methode „MeK5: KBx“.

die Erweiterung auf KBx ist eine Methode davon aus dem Themenbereich „Konstruktion“; ergänzt wird dieser durch die Bereiche „Berechnung“ und „Wissen“. Die Einordnung der Methoden in den Produktentwicklungsprozess sowie in die Größendimensionen der Technischen Logistik (Komponente-Maschine-Anlage-System) und ein interaktives Einordnungsmodell sollen helfen, die Methoden für die je eigene Problemstellung rasch zu identifizieren und ihren Nutzen früh zu erkennen.

## 1.1 Problemstellung<sup>2</sup>

Historisch belegt sind Vollautomatisierungsversuche von Konstruktionen der 1990er Jahre, wo automatisierte Konstruktion (KBE) erstmals IT-technisch möglich wurde. Viele davon sind als gescheitert zu betrachten, da der Aufwand dem Nutzen gegenüber in einem groben Missverhältnis stand. Der hohe Aufwand der Erstellung von KBE-Lösungen ist einer der Hauptnachteile, Konstruktionsprozesse wissenschaftlich effizienter und akkurater zu machen. Die Literatur beschreibt aktuelle ausgewählte erfolgreiche Lösungen [ALC14] und Methodiken zum Entwickeln von full-KBE Systemen (Definition full-KBE<sup>3</sup> nach [LAN 16]). [VBD+12] zeigt den aktuellen Stand auf und spezifiziert Entwicklungsziele. Dazu zählen das Beseitigen improvisierter Lösungen und die Wissenswiederverwendung. Es existieren keine technischen Handlungsempfehlungen zum Erstellen von KBE-Lösungen; lediglich aufwendige Methodiken zur Erstellung eines solchen Systems auf IT-Ebene sind bekannt. Umfangreiche projekttechnische Vorgehensweisen zur Erstellung von KBE werden mit [VDI 5610-1], technische Beispiele mit [VDI 5610-2] dargelegt. Nirgendwo dort wird nach dem Grad der sinnvollen Automatisierung einer Konstruktionsaufgabe und oder nach der Größe des zu erzeugenden CAD-Modells differenziert. Hier bietet die vorgestellte Vorgehensweise einen ersten Ansatz der Differenzierung und in Ergänzung dazu greift [LAN 16] mit „MeW2: Wissen im Konstruktionsprozess“ die Wissenswiederverwendung im KBE-Erstellungsprozess auf.

## 1.2 Zielsetzung der Methode

- Entscheiden zu können, ob eine KBE-Lösung erstellt werden soll.
- Entscheiden zu können, was in einer Konstruktion sinnvoll wofür automatisierbar ist.
- Bewusstsein für Sinnhaftigkeit automatisierter Konstruktion schärfen.

---

<sup>2</sup> Die Untergliederung der Kapitel 1 bis 4 folgt jener von [LAN18], um dem Leser bei Hinzuziehen weiterer Methoden daraus die Einordnung zu erleichtern und die Idee des Methodenfactsheets nicht zu verwerfen.

<sup>3</sup> Zum einen gibt es die **full-KBE-Lösung**, die mit einer Spezialsoftware umgesetzt wird, welche vor allem in der Flugzeug- und Fahrzeugindustrie eingesetzt wird (bspw. MOKA, KOMPRESSA,...) und ggf. nur zur Visualisierung des CAD benötigt. Zum anderen gibt es die **KBE-fähigen augmented CAD-Systeme**. Hierunter fallen parametrische CAD-Baugruppen, die durch übergeordnete Berechnungstools, wie MS EXCEL, MathCad, MATLAB oder selbstständige VB-Programme generiert werden können, oder direkt im CAD generiert werden. Es muss von Spezialsoftwareprodukten der CAD-Hersteller abgegrenzt werden, wie z.B., der Hersteller CATIA mit Knowledge Ware oder NX mit Knowledge Fusion, die eine full-KBE-Lösungen darstellen. Im Bereich der augmented CAD-Systeme sind nur Lösungen und Erfahrungsberichte bekannt, Methodiken zu deren Entwicklung sind nicht publiziert. MeK5 soll hierzu einen Beitrag liefern.

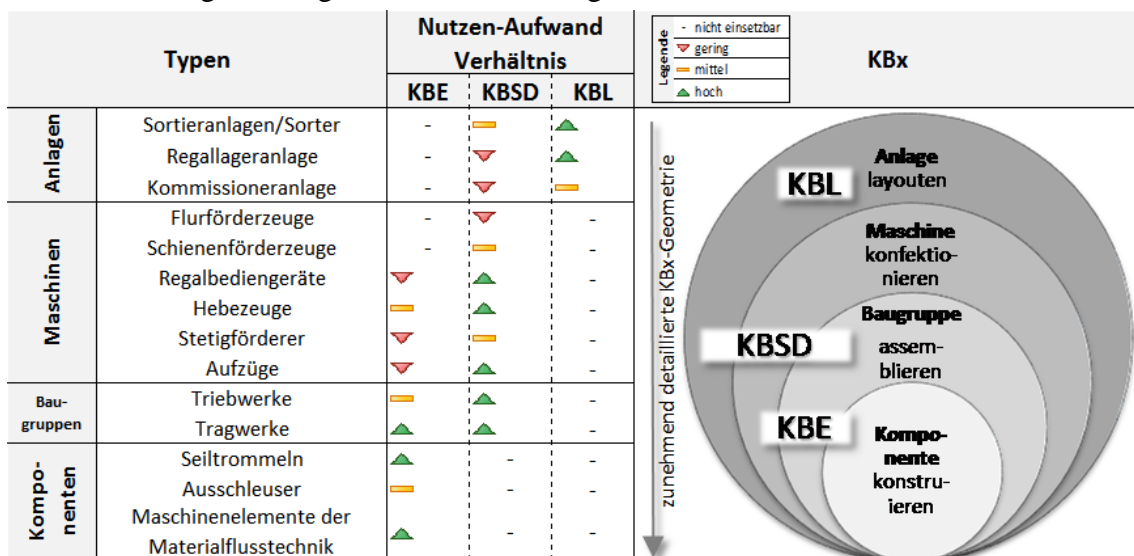
### 1.3 Lösungsansatz/Arbeitsprinzip

- Bereitstellung von Bewertungsmöglichkeiten und Prüfkriterien für den KBE-Einsatz und ggf. Verwurf des Entschlusses der Erstellung einer KBE-Lösung
- Differenzierung der Konstruktionsautomatisierung nach technisch/logistischer Aufgabenstellungsart und schrittweiser Reduktion des Automatisierungsgrades mit zunehmender Größe und Komplexität der Gewerke (aus KBE wird KBx)
- Bereitstellung eines Werkzeuges der Wissensverwaltung als Ergänzung in [LAN 16] mit MeW2, das den Erstellungsprozess der KBE-Lösung unterstützt und dokumentiert
- Bereitstellung von Umsetzungsbeispielen

Ein Prozess stellt dazu eine Frage/Checkliste für den Einsatz von KBE bereit und mit der Definition des KBx kann der Konstruktionsautomatisierungsgrad für unterschiedliche Aufgabenstellungen differenziert werden.

### 1.4 Fokus zur Technischen Logistik

Die KBx-Definition [P4] ist im Kontext der Technischen Logistik entwickelt und als solche nur für diese gültig. Eine Abstufung der Konstruktionsautomatisierung ist sicherlich für andere Branchen denkbar, allerdings nicht unangepasst von der KBx-Definition auf diese übertragbar. Eine Zuordnung der Möglichkeiten des KBx gibt Bild 1 wieder.

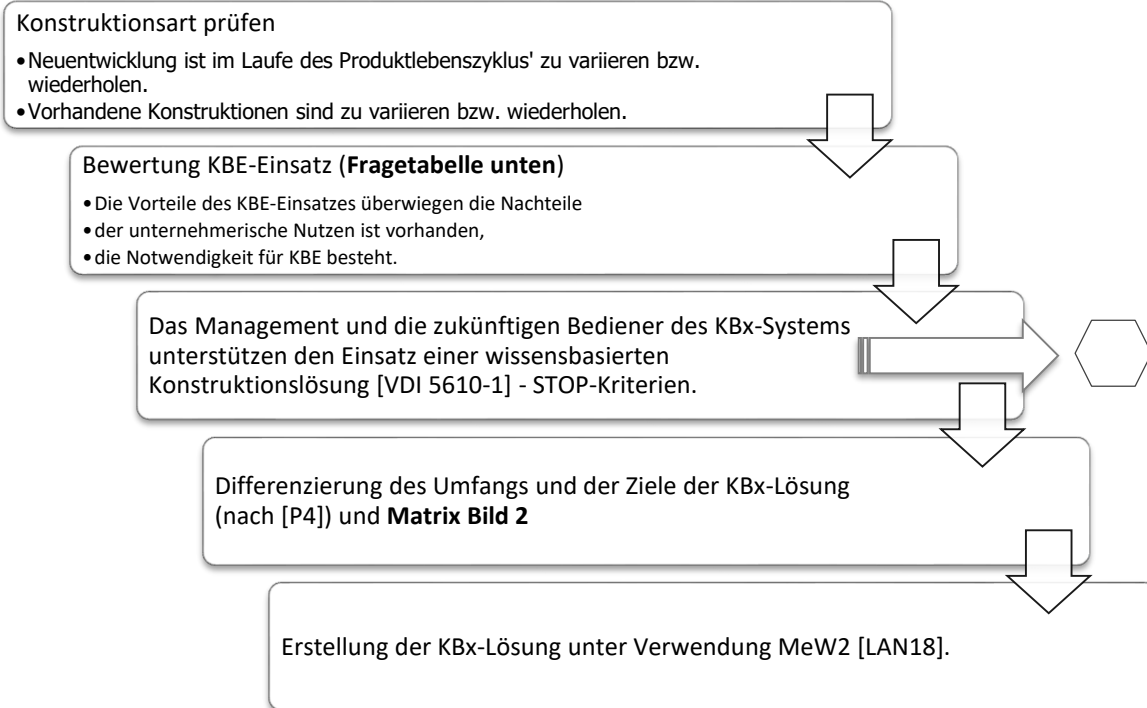


**Bild 1:** Eignung des KBx für die Gewerke der Technischen Logistik [P3]

## 2 Durchführung KBx

### 2.1 Prüfprozess zum Einsatz KBx

Das Erstellen einer KBx-Lösung ist aufgabenspezifisch immer unterschiedlich [VBD+12]. Untenstehend findet sich mit Bild 2 ein Prüf- und Bewertungsprozessprozess, ob und welche Art von KBx für die Konstruktionsaufgabe eingesetzt werden soll. Die schrittweise Beschreibung des Prozesses ist Kap. 2.2 zu entnehmen.

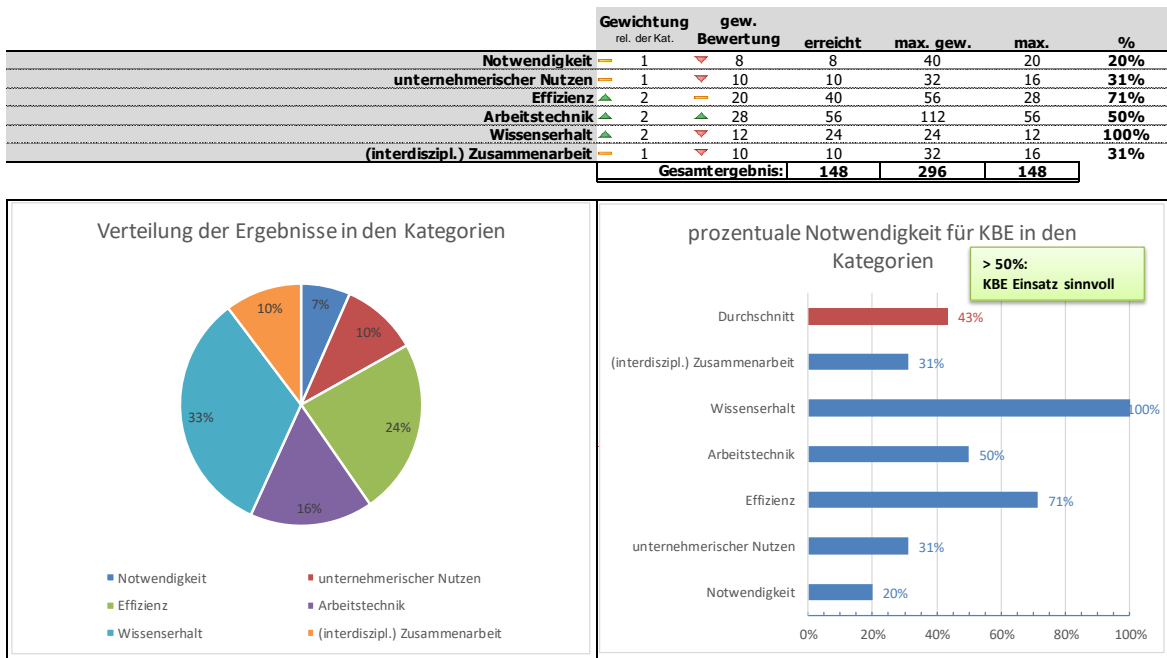


#	Kategorie	Prüffragen	Gewichtung	Bewertung	gew. Wert	Anmerkung (nicht für den Befragten)
			rel. in der Kat. (durch paarw. Vergleich)	[0/nicht ... 2/sehr]		
			Vorgabe [1/2]			
N1	Notwendigkeit nach [ALC12]	Wird Konstruktionswissen unzureichend verwaltet?	▲ 2	▲ 2	4	
N2		Geht Wissen durch das häufige Wechseln von Fachkräften im Unternehmen verloren?	▲ 2	▼ 0	0	
N3		Sind viele dezentrale Wissensspeicher unterschiedlicher Art vorhanden und diese nicht immer aktuell?	▲ 2	— 1	2	
N4		Ist die Benutzerfreundlichkeit bereits eingesetzter KBE-Systeme ausreichend?	— 1	▼ 0	0	
N5		Besteht der subjektive Eindruck, dass zu viel Wissen im Konstruktionsprozess vorhanden ist?	— 1	▲ 2	2	
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>8 von 20</b>	
U1	unternehmerischer Nutzen nach [ALC12]	Benötigt der Konstruktionsprozess Beschleunigung?	▲ 2	▲ 2	4	
U2		Sind komplexe Berechnungen vorhanden und daher die Fehleranfälligkeit der Konstruktion hoch?	▲ 2	▲ 2	4	
U3		Ist die Produktentwicklung multidisziplinär und daher die Mitarbeiter auf Ihre Kernkompetenzen fokussiert (verteilte Rollen in der Konstruktion/Berechnung)?	— 1	▲ 2	2	
U4		Sollen die Konstrukteure nur wenige Entscheidungen selbständig treffen?	— 1	▲ 2	2	
U5		Ist der Konstrukteur bereits frei für innovative Tätigkeiten?	▲ 2	— 1	-2	negative Frage!
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>10 von 16</b>	
E1	Effizienz	Ist die Produkteinführungszeit zu reduzieren?	▲ 2	▲ 2	4	
E2		Sind die Produktkosten zu reduzieren?	▲ 2	▲ 2	4	
E3		Sind viele Anpassungen an Kundenwünsche vorhanden, die die Konstruktion nicht wesentlich ändern (max. Variantenkonstruktion)?	— 1	— 1	1	
E4		Sollen diese Kundenanforderungen rascher umgesetzt werden?	— 1	— 1	1	
E5		Sind die Produktdetails zu spät im Entwicklungsprozess bekannt?	— 1	▲ 2	2	
E6		Soll Konstruktionswissen an Dritte weiter vermarktet werden?	▲ 2	▲ 2	4	
E7		Kann prinzipiell Budget für F&E einer KBE-Lösung bereitgestellt werden?	▲ 2	▲ 2	4	STOP-Kriterium
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>20 von 28</b>	



#	Kategorie	Prüffragen	Gewichtung	Bewertung	gew. Wert	Anmerkung (nicht für den Befragten)
			rel. in der Kat. (durch paarw. Vergleich)	[0/nicht .. 2/sehr]		
			Vorgabe			
			[1/2]			
N1	Notwendigkeit nach [ALC12]	Wird Konstruktionswissen unzureichend verwaltet?	▲ 2	▲ 2	4	
N2		Geht Wissen durch das häufige Wechseln von Fachkräften im Unternehmen verloren?	▲ 2	▼ 0	0	
N3		Sind viele dezentrale Wissensspeicher unterschiedlicher Art vorhanden und diese nicht immer aktuell?	▲ 2	— 1	2	
N4		Ist die Benutzerfreundlichkeit bereits eingesetzter KBE-Systeme ausreichend?	— 1	▼ 0	0	
N5		Besteht der subjektive Eindruck, dass zu viel Wissen im Konstruktionsprozess vorhanden ist?	— 1	▲ 2	2	
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>8 von 20</b>	
U1	unternehmerischer Nutzen nach [ALC12]	Benötigt der Konstruktionsprozess Beschleunigung?	▲ 2	▲ 2	4	
U2		Sind komplexe Berechnungen vorhanden und daher die Fehleranfälligkeit der Konstruktion hoch?	▲ 2	▲ 2	4	
U3		Ist die Produktentwicklung multidisziplinär und daher die Bearbeiter auf Ihre Kernkompetenzen fokussiert (verteilte Rollen in der Konstruktion/Berechnung)?	— 1	▲ 2	2	
U4		Sollen die Konstrukteure nur wenige Entscheidungen selbständig treffen?	— 1	▲ 2	2	
U5		Ist der Konstrukteur bereits frei für innovative Tätigkeiten?	▲ 2	— 1	-2	negative Frage!
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>10 von 16</b>	
E1	Effizienz	Ist die Produkteinführungszeit zu reduzieren?	▲ 2	▲ 2	4	
E2		Sind die Produktkosten zu reduzieren?	▲ 2	▲ 2	4	
E3		Sind viele Anpassungen an Kundenwünsche vorhanden, die die Konstruktion nicht wesentlich ändern (max. Variantenkonstruktion)?	— 1	— 1	1	
E4		Sollen diese Kundenanforderungen rascher umgesetzt werden?	— 1	— 1	1	
E5		Sind die Produktdetails zu spät im Entwicklungsprozess bekannt?	— 1	▲ 2	2	
E6		Soll Konstruktionswissen an Dritte weiter vermarktet werden?	▲ 2	▲ 2	4	
E7		Kann prinzipiell Budget für F&E einer KBE-Lösung bereitgestellt werden?	▲ 2	▲ 2	4	STOP-Kriterium
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>20 von 28</b>	
A1	Arbeitstechnik	Ist das vorhandene CAD-System etabliert im Unternehmen (oder neu)?	— 1	▲ 2	2	
A2		Wird viel Zeit für Doppelarbeiten benötigt?	— 1	— 1	1	
A3		Wird viel Zeit für das Aufsuchen bereits getätigter Konstruktionen benötigt?	— 1	— 1	1	
A4		Kann den Mitarbeitern Einarbeitungszeit in die neue KBE-Lösung bereitgestellt werden?	▲ 2	▲ 2	4	
A5		Ist mehr Transparenz für Unternehmens- und Entwicklungsprozesse nötig?	— 1	— 1	1	
A6		Benötigt der Konstruktionsprozess mehr Standardisierung?	— 1	— 1	1	
A7		Ist die Dokumentation der Entwicklung verbesserungswürdig?	— 1	— 1	1	
A8		Besteht Verbesserungsbedarf bei Zugriffskonzepten auf konstruktive Daten?	— 1	— 1	1	
A9		Treten die Konstruktionsaufgaben wiederholt auf (Anpassungs- und Variantenkonstruktion)?	▲ 2	▲ 2	4	
A10		Ist Budget und Kapazität zur Betreuung der KBE-Lösung nach der Erstellung dieser noch vorhanden?	▲ 2	— 1	2	STOP-Kriterium
A11		Ist die Produktarchitektur soweit statisch, dass während der geplanten Lebensdauer der KBE-Lösungen keine grundlegenden Änderungen zu erwarten sind?	▲ 2	▲ 2	4	
A12		Sind mit dem vorhandene CAD-System Releasewechsel geplant?	— 1	▼ 0	0	negative Frage!
A13		Ist die Konstruktionsaufgabe sehr einfach [VBD+12]?	▲ 2	▼ 0	0	negative Frage!
A14		Sind im Unternehmen Software-Eigenentwicklung üblich?	— 1	▼ 0	0	
A15		Ist der Konstruktionsprozess vornehmlich kreativ und innovativ [VBD+12]?	▲ 2	▼ 0	0	negative Frage!
A16		Ist das Wissen für die Konstruktion vorhanden (oder wird es extern zugebracht) [VBD+12]?	▲ 2	▲ 2	4	
A17		Kann der Konstruktionsprozess eindeutig definiert werden [VBD+12]?	▲ 2	— 1	2	
A18		Herrscht im Unternehmen ständige Technologieänderung [VBD+12]?	▲ 2	▼ 0	0	negative Frage!
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>28 von 56</b>	
W1	Wissenserhalt	Ist das Wissen im Konstruktionsprozess sinnvoll für weitere Entwicklungen wiederverwendbar?	▲ 2	▲ 2	4	
W2		Soll das Wissen im Konstruktionsprozess über die Konstruktion hinaus aufbereitet werden?	▲ 2	▲ 2	4	
W3		Sind die Mitarbeiter willens, Wissen preiszugeben?	▲ 2	▲ 2	4	STOP-Kriterium
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>12 von 12</b>	
Z1	(interdisziplinäre) Zusammenarbeit	Soll verteilt auf die Konstruktion zugegriffen werden [AMM08]	▲ 2	— 1	2	
Z2		Sind mit der Konstruktion CAE-Analysen geplant, die viele Änderungen nach sich ziehen?	▲ 2	— 1	2	
Z3		Sind die Schnittstellen der Zusammenarbeit zu verbessern?	▲ 2	— 1	2	
Z4		Ist dem Kunden der Entwicklungsprozess zu dokumentieren/vorzuführen?	▲ 2	▲ 2	4	
			<b>Teilergebnis:</b>		<b>10 von 16</b>	

↓



**Bild 2:** Prüfprozess KBx in der Technischen Logistik

## 2.2 Schritte der Prozessdurchführung

**Konstruktionsart prüfen:** obwohl in der Fragetabelle im folgenden Schritt implizit die Konstruktionsart erfasst wird, muss zu Beginn geprüft werden, in welchem Rahmen die KBE-Lösung zu erstellen ist. Quantitativ ist dies nicht bemessbar und muss wie jede KBE-Erstellung situationsangepasst erfolgen [VBD+12].

**Bewertung KBE-Einsatz:** Die Fragetabelle versucht Klarheit über die Entscheidung für und wider KBE zu schaffen. Wenn die Summe (Durchschnitt) der Ergebnisse der Kategorien größer als 50 % ist, kann von einem sinnvollen KBE-Einsatz ausgegangen werden. Eine Gewichtung ist in der jeweiligen Kategorie relativ zwischen den einzelnen Fragen/Themen mit 1 (unwichtig) und 2 (wichtig) zu vergeben, die Tabelle beinhaltet dazu Vorgabewerte. Abschließend sind die Kategorien untereinander nochmals zu gewichten. In der Bewertung<sup>4</sup> bedeutet 0 nicht relevant und 2 sehr relevant. Die Bewertung kann beliebig verändert werden, der Hauptnutzen der Tabelle besteht in der prinzipiellen Behandlung von Grundfragen des KBE. Die Bewertung ist subjektiv, im Idealfall von mehreren Befassten, auszuführen. Naturgemäß sind auch die verteilten Gewichte subjektiv; die Fragetabelle hilft aber, eine Tendenz zu identifizieren.

**STOP-Kriterien:** Da nach den Grunderkenntnissen des Wissensmanagement im Ingenieurwesen

[VDI 5610-1] einige Voraussetzungen gelten, sind diese nochmals hier als STOP-Kriterium angeführt. Bei Vorliegen nur einer fehlenden Voraussetzung daraus, ist der KBE-Lösung kein Erfolg wahrscheinlich.

**Differenzierung KBx:** Die Differenzierung in KBx grenzt den Verwendungszweck und den Umfang der KBx-Lösung ein und spezifiziert die umzusetzenden Hauptfunktionen. Die

<sup>4</sup> Die Tabelle ist mit einer exemplarischen Bewertung vorausgefüllt um die Ergebnisdarstellung zu verdeutlichen.

angegebenen Regelklassen mit den nötigen Daten und Informationen spannen einen Rahmen des einzusetzenden Wissens auf.

**Erstellung der KBE-Lösung unter Verwendung MeW2:** Der Ablauf einer KBE-Erstellung ist nach [VBD+12] immer situationsangepasst<sup>5</sup>. Die Einbeziehung von MeW2 [LAN 16] soll helfen, das erfasste Wissen über die Umsetzung der einzelnen KBx-Lösung hinaus verfügbar zu halten und den Entwicklungsprozess zu dokumentieren.

### 2.3 Hilfsmittel (Software)

KBx-Systeme selbst sind nicht automatisiert erstellbar, einige Methoden zum Entwerfen von KBE-Systemen sind von großen interdisziplinären Teams entwickelt worden (s. Projekt MOKA [MOK12]). Dabei sind stets full-KBE-Lösungen adressiert, die im Bereich der Technischen Logistik die Ausnahme darstellen<sup>6</sup>. Diese Methoden sind für den Einsatz im Bereich automotive/aerospace entworfen und nicht unangepasst auf die Technische Logistik zu transferieren.

Die xKBE-app, die Methode MeW2 in eine IT-Lösung umsetzt [LAN18], ist ein Werkzeug zur Entwicklung und Dokumentation von Beziehungen in Konstruktionen, das Daten und Informationen zentral verfügbar hält. Sie unterstützt den Ansatz für KBE-fähige augmented CAD-Systeme<sup>7</sup>. Für die Beherrschung von komplexen Zusammenhängen verschachtelter Produktstrukturen existiert Software für Komplexitätsmanagement, die dem Konzept von xKBE-app ähnlich ist [TES14a].

## 3 Prozessphasen des KBx

### 3.1 Vorgänger / Nachfolger und Position im PEP bzw. Planung

Die Ausprägungen von KBx sind in unterschiedlichen Phasen des PEP einsetzbar, siehe Bild 3.

- KBE ist bei der Variantenkonstruktion sinnvoll und im Ausarbeiten angesiedelt.
- KBSD ist der Anpassungs- und Variantenkonstruktion zuzuordnen und dementsprechend ab dem Entwerfen einsetzbar, wenn Lösungsprinzipien bekannt, deren konkrete Ausprägung aber noch offen ist.
- Insbesondere KBL ist einerseits ein Bindeglied zwischen der Realplanung von Logistiksystemen und der frühen Konstruktionsphase mit simultaneous engineering für die Logistik<sup>8</sup> (MeK1 in [LAN18]). In der Ausarbeitungsphase ist KBL ein

---

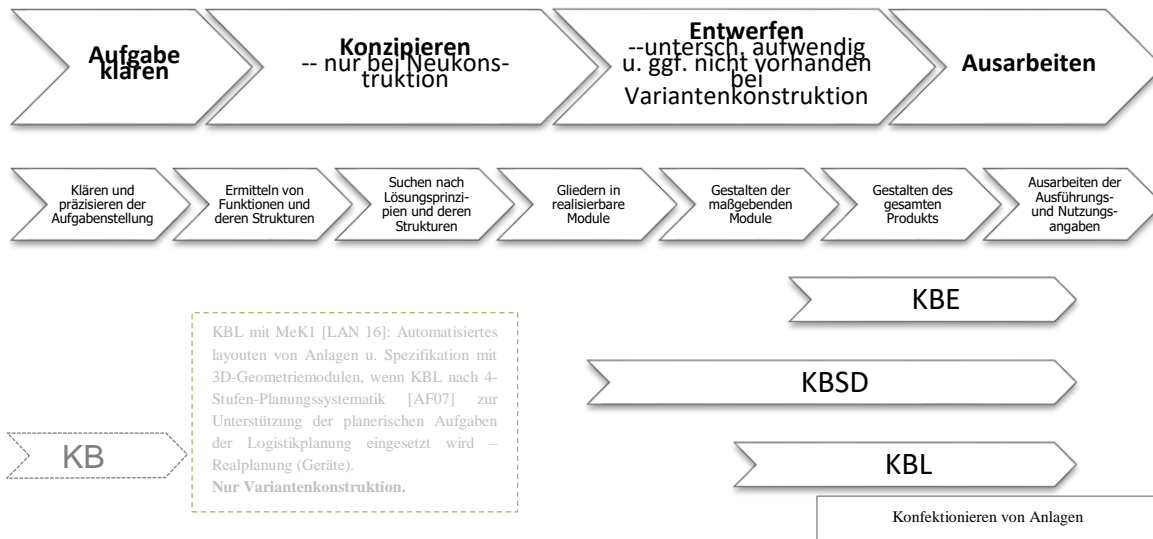
<sup>5</sup> Die Richtlinien [VDI 5610-1] und v. a. [VDI 5610-2] liefern ein best-practice für die Vorgehensweise.

<sup>6</sup> Z.B. DC Design Suite [FOR14], Details dazu sind aus strategischen Gründen nicht publiziert

<sup>7</sup> Hier ist KBE CAD-integriert und das CAD durch übergeordnete Berechnungs- und Verwaltungstools gesteuert.

<sup>8</sup> Wenn mit 3D-Geometriemodulen die planerischen Aufgaben soweit unterstützt werden können, dass aus dem üblichen 2D-Layout bereits 3D-CAD-Baugruppen entstehen entsteht ein doppelter Nutzen. Der Planung liegen genauere Informationen über das verbaute Material vor, also sind die Kosten exakter ermittelbar. Der Konstruktion liegen zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt die Anforderungen und Randbedingungen des zu entwerfenden Systems vor; es kommt zu einem simultaneous engineering. Naturgemäß ist dieser KBL-Ansatz nicht für eine Neukonstruktion möglich, da die Lösungsprinzipien dann ja nicht bekannt sind, und somit keine 3D-Geometriemodule verfügbar sind.

Konfektionierungselement für Maschinen und Anlagen mit geringer Geometriedetailtiefe (s. auch [P4]).



**Bild 3:** Konstruktionsphasen für KBx

### 3.2 Vernetzung zu anderen Methoden aus [LAN 16]

„MeK2: Methodisches Entwickeln“ ist der Rahmen der Aktivitäten mit KBE. Die Methodische Entwicklung als solche sorgt für eine dokumentierte, nachvollziehbare Entwicklung von Konstruktionen. Nur so sind diese automatisierbar<sup>9</sup>.

„MeK4: Methodisches CAD“, ist eine unabdingbare Voraussetzung für KBx. Da KBx in der Domäne CAD angesiedelt ist, ist methodisches arbeiten Voraussetzung, um regenerierbare und stets neu parametrierbare Varianten einer Konstruktion zu erzeugen.

„MeW2: Entwicklung und Dokumentation von Abhängigkeiten in automatischen Konstruktionen – xKBE-app“ stellt dem KBx ein Entwicklungs- und Dokumentationsszenario bereit, das die Arbeit mit KBx erleichtert. Dabei wird Wissen zentral erfassbar und der Entwicklungs- und Änderungsprozess dokumentierbar.

## 4 Bewertung KBx

### 4.1 Nutzen und Aufwand, Vorteile und Nachteile

Der Aufwand für die Erstellung eines KBE-Systems ist in der Literatur und oben hinreichend differenziert betrachtet und ist von Anwendungsfall zu Anwendungsfall individuell zu beurteilen. Mit der Differenzierung in KBx und der Bewertungsliste kann der Aufwand/Nutzen

<sup>9</sup> „Die Konstruktionsmethodik ist ebenfalls unabdingbare Voraussetzung für eine flexible und durchgängige Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses unter Nutzung rechnerinterner Produktmodelle. Ohne sie ist die Entwicklung wissensbasierter Programmsysteme, die rechnergesteuerte Konstruktion von Wirkkomplexen, die Anwendung von gespeicherten Daten und Methoden, die Verknüpfung von Einzelprogrammen, insbesondere von Geometriemodellierern mit Berechnungsprogrammen, sowie die Durchgängigkeit des Datenflusses und die Datenverknüpfung mit anderen Unternehmensbereichen (CIM, PDM) nicht möglich.“ [FEL13a]



einfach und fundiert abgeschätzt werden. Wenn die Frage nach Unterstützung der KBx-Entwicklung durch das Management und die Mitarbeiter nicht positiv beantwortbar sind, ist trotz investiertem Aufwand in KBx kein Erfolg und Nutzen daraus möglich<sup>10</sup>.

Die Differenzierung des Einsatzes in KBx mit der vorgestellten Methode MeK5 bringt folgende Vorteile:

- Vermeidung einer Überautomatisierung der Aufgabe durch Differenzierung der zu automatisierenden Tätigkeiten nach Objektgröße und Einsatz.
- Neue Schnittstelle für das Zusammenwirken Konstruktion-Berechnung (CAD-CAE) mit dem KBSD und dadurch effizientere mechanische Dimensionierung der Objekte.
- KBL als Anknüpfung an wissensbasierte Planungsansätze, das eine maschinenbaulich-technische Sicht auf die Entwicklungsaufgabe im CAD stellt. Dadurch sind frühestmöglich Stücklisteninformationen verfügbar, die eine akkurate Preisberechnung ermöglichen.

Nachteile:

- Auch KBx ist von positiven Entscheidungen des Managements zugunsten Wissensmanagement, Bereitstellung von Budget und Ressourcen und der Preisgabe des Wissens der Mitarbeiter abhängig<sup>11</sup>. Bei Nichtvorhandensein einer der Voraussetzungen ist KBE erfolglos (vgl. STOP-Fragen im obigen Prozess).

## 4.2 Neuheitsgrad

Die Neuheit liegt in der Projektion des Knowledge-based engineering auf die Technische Logistik. Mit den erstellten Prüffragen kann abgewogen werden, ob ein KBx-Einsatz sinnvoll erscheint. Die Zuordnung einzelner Arten des KBx zu Konstruktionsarten bzw. zum PEP gibt einen ersten Überblick über die Phasen des Einsatzes von KBx in der Produktentwicklung. Mit der vorgestellten Differenzierung „KBx“ kann ein effizienter Einsatz ermöglicht werden.

## 4.3 Wirkung

Mit KBE kann die Variantenvielfalt ausgearbeiteter Komponenten und Baugruppen hin zu Baureihen (im Ausarbeiten) erhöht werden (Tiefenrichtung auf allen Ebenen in Bild 4). KBSD dient im Entwurf und Ausarbeiten von v.a. Maschinen und teilweise auch Baugruppen und Anlagen der Variation der Entwürfe. Einerseits um diese geometrisch rasch weiter zu detaillieren und andererseits um Geometriemodelle für angeschlossene entwicklungsunterstützende Prozesse (v.a. Berechnung und Simulation) bereitzustellen. Eine Beschleunigung des PEP ist die Folge. Mit KBL ist ein Produktspektrum ganzer Anlagen, in der KBL-eigenen Detaillierungstiefe, als Verallgemeinerung erzeugbar. Eine weitere KBL Wirkung ist im Aufgabenklären durch Variantenerzeugung zu sehen. Für alle KBx-Ansätze ist im Stadium „Aufgabe klären“ nach deren Einsatzmöglichkeit und der Sinnhaftigkeit der Konstruktionsautomatisierung rechtzeitig zu differenzieren (blauer Kubus). Interaktiv kann das

---

<sup>10</sup> Zuzufolge allgemeiner Erkenntnisse des Wissensmanagements im Ingenieurwesen [VDI 5610-1].

<sup>11</sup> Wie dies für KBE und Wissensmanagement allgemein nach [VDI 5610-1] gilt.



## 5 Knowledge Based Engineering von Hubseiltrommeln

Im Folgenden wollen wir uns mit dem wissensgestützten Engineering von Hubseiltrommeln beschäftigen. Einerseits sollen die Hintergründe und Motivation in Betracht gezogen werden und andererseits der Aufbau des Projektes sowie die Umsetzung und Ergebnisse. Im generellen kann vorab festgestellt werden, dass alle Seiltrommeln weltweit eine gewisse Ähnlichkeit aufweisen, sie bestehen im Wesentlichen aus den Komponenten: Kupplung, Bordscheibe, Trommelmantel, Welle, Lager und Seil.



**Bild 5:** Seiltrommeln in Stahlwerken

### 5.1 Hintergrund

Ausgehend von der Diplomarbeit „Knowledge Based Engineering of Hoisting Drums“ [THO10] in Kooperation mit der Firma voestalpine Stahl GmbH in Linz an der Technischen Universität Graz im Jahr 2010 wurde ein erster Prototyp eines Systems zur automatischen Auslegung und 3D Zeichnungsgenerierung für Hubseiltrommeln entwickelt.

Der Anlass für das Projekt lag darin, dass zu diesem Zeitpunkt regelmäßig Seiltrommeln (in Stahlwerken s. Bild 5) berechnet und gezeichnet werden mussten und sich die Frage stellte, ob es nicht eine Möglichkeit gäbe, diesen Prozess einfacher, schneller und sicherer zu gestalten.

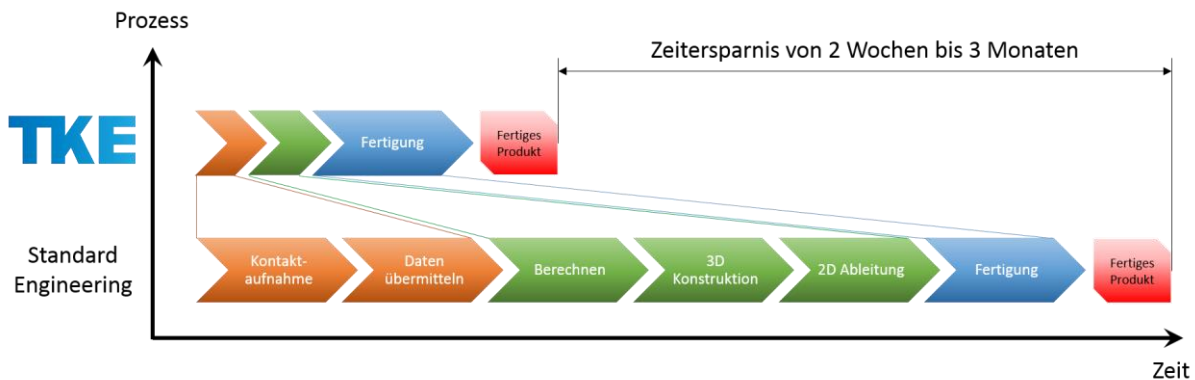
Die Gründe dahinter, warum zu diesem Zeitpunkt für dementsprechend viele Kräne eine neue Seiltrommel benötigt wurde, waren vielfältig, allen voran jedoch lag der Verschleiß gefolgt von der Tatsache, dass Bestandszeichnungen schlecht oder gar nicht mehr leserlich waren, bzw. das Design verbessert werden sollte.

Bzgl. der Lebensdauer einer Seiltrommel, kann diese stark variieren. Das Ende ist allerdings auf jeden Fall erreicht, sobald der Rillengrund durch das Einreiben des Seiles einen falschen Radius besitzt, oder die Flanken zwischen den Rillen keine Rundung, sondern Spitzen aufweisen. Beides führt zu einer punktuellen Überbelastung des Hubseiles und somit zu einer verminderten Standzeit und erhöhten Wechselzeit Aufgrund von vermehrtem Litzenbruch. Nicht außer Acht zu lassen ist auch der Sicherheitsaspekt, der bei einer falschen Beanspruchung des Hubseiles im äußersten Fall zu einem Seilbruch führen kann.

#### 5.1.1 Motivation für das Projekt

Die Idee dafür kam aus der Firmeninternen Kranserviceabteilung, welche sich zu diesem Zeitpunkt mehrere Male jährlich mit der Konstruktion von Seiltrommeln beschäftigte und sich

die Frage stellte ob dies nicht einfacher, schneller und zuverlässiger zu bewerkstelligen wäre, um einerseits Kosten zu sparen und andererseits den Konstrukteur zu entlasten (Bild 6).



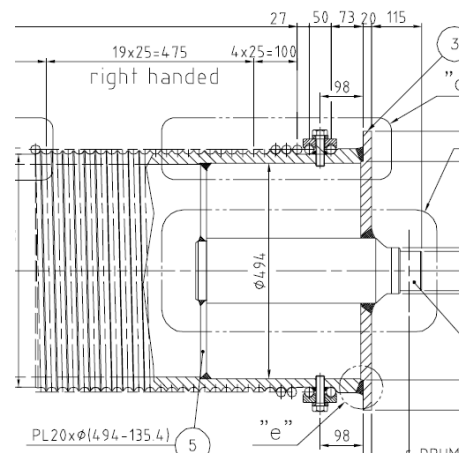
**Bild 6:** Prozessoptimierung mit Hilfe von KBE

### 5.1.1.1 Konstruktionszeichnungen nicht vorhanden

Vor allem bei älteren Kränen wie es bei Stahlwerken durchaus der Fall sein kann, die Zeichnungen teilweise nicht mehr vorhanden, oder nur mehr bedingt leserlich, welches einen Nachbau unmöglich machte.

### 5.1.1.2 Kostenintensives Design

Ein zweiter Faktor stellte das veraltete und teilweise kostenintensive Design solcher Trommeln dar (Bild 7). Das alte Designprinzip (jedoch noch weitgehend verbreitet) angelehnt an die Norm SEB 666211 [SEB 666211], welche die Welle an der Lagerseite mit einem innenliegenden Stegblech stützt, hat gravierende Nachteile, wenn sich diese Stütze an der falschen Stelle befindet. Diese Stütze stellt für den Trommelmantel einen erheblichen Sprung in der Steifigkeit dar welches bei normgerechter Ausführung der Dicke des Trommelmantels (gleiche Norm) im Betrieb zu Rissen führen kann. Aufgrund dessen haben manche Konstrukteure Abhilfe gefunden indem der Trommelmantel dementsprechend verstärkt ausgeführt wurde. Das neue Designprinzip verzichtet auf dieses Stegblech komplett welches dazu führt, dass der Trommelmantel und die dazugehörige Schweißnaht erheblich leichter und kostengünstiger ausgeführt werden kann. Aufgrund der Einsparung der Trommelwandstärke und dem dazugehörigen Trommeldurchmesser kann mit einer Gewichtsreduktion von ca. 25% gerechnet werden. Dies spiegelt sich auch in den Fertigungskosten für die Seiltrommel wieder, da die dazugehörigen arbeitsintensiven Schweißnähte ebenfalls reduziert werden können.



**Bild 7:** Altes Design mit Innensteg

### 5.1.1.3 Standardisierung

Ein dritter Grund stellte die Standardisierung der Konstruktion und der Berechnung dar. Mit Hilfe von KBE können Zeichnungen immer normgerecht und mit den gleichen

Designprinzipien erstellt werden, ohne sich über den Wissenstransfer zwischen verschiedenen Konstrukteuren Gedanken machen zu müssen.

#### 5.1.1.4 Sicherheit

Sicherheit bei Engineering und Konstruktion waren die finalen ausschlaggebenden Punkte für dieses Projekt. Niemand ist vor Denk-, Rechen- oder Ablesefehlern geschützt und diese können teilweise einen gravierenden Einfluss auf das Endergebnis aufweisen. Sei es ein Ziffernstrich bei der Berechnung, das Ablesen von Tabellenwerten in der falschen Zeile oder ein Übertragungsfehler der Berechnungsergebnisse in das CAD System.

### 5.1.2 Von der Diplomarbeit zum Online Service von TKE – THOR Knowledge Engineering

Nach erfolgreichem Abschluss der Diplomarbeit wurde an einem Konzept gearbeitet diesen Service zu erweitern und für eine breitere Masse zugänglich zu machen.

#### 5.1.2.1 Erweiterungen

Ausgehend von der Diplomarbeit wurde die Idee in mehrere Richtungen vorangetrieben. Einerseits sollte es bei der Berechnung möglich sein, nicht nur ein vorgegebenes Produkt berechnen zu können, sondern stattdessen eine Vielzahl an Lieferanten zu berücksichtigen um einen möglichst breiten Markt an Kranbauern, Kranservicefirmen und Betreibern zu erreichen.

Andererseits wurde die Limitation der Erstellung der 3D Datei erweitert, womit nun die komplette Generierung von Fertigungs-, Schweißteil- und Detailzeichnungen möglich ist. Im Weiteren werden auch noch die Berechnungsunterlagen und Dokumente zu Unterlieferanten zur Verfügung gestellt.

In Kooperation mit der Firma Primetals Technologies, kann auf Wunsch auch direkt die Fertigung und weltweite Lieferung der zuvor generierten Seiltrommel angefragt werden.

#### 5.1.2.2 Das Online System

Basis des neuen Online Service stellt eine Plattform im Internet dar, auf welcher mittels vorangegangenen Login, Projekte erstellt, gespeichert und jederzeit wieder abgerufen werden können. Der Auslegungsprozess (Bild 8) wurde soweit vereinfacht, dass kein detailliertes Wissen über Normen notwendig ist, jegliche Information und KO-Kriterien wurden im System hinterlegt und werden falls erforderlich abgefragt.



**Bild 8:** Von den Eingabedaten bis zur gefertigten Trommel

Nachdem der Prozess der Auslegung einer Seiltrommel (dazu weiter unten) abgeschlossen wurde, kann man sich kostenlos eine Voransicht in 3D (3D pdf) und 2D (Übersichtszeichnung mit Haupt- und Anschlussmaßen) generieren lassen.

Bestätigt man diese und schließt den Bestellvorgang ab, wird unmittelbar darauf der Download der Dokumente freigegeben.

## 5.2 Aufbau des KBE Systems

Bei diesem Service handelt es sich nicht um eine reine Parametrisierung einer 3D Zeichnung, sondern um ein komplettes Auslegungs- und Designprogramm, darum wird das System in folgende drei Teile unterteilt: Berechnung, 3D Generierung und 2D Generierung.

### 5.2.1 KBE der Berechnung

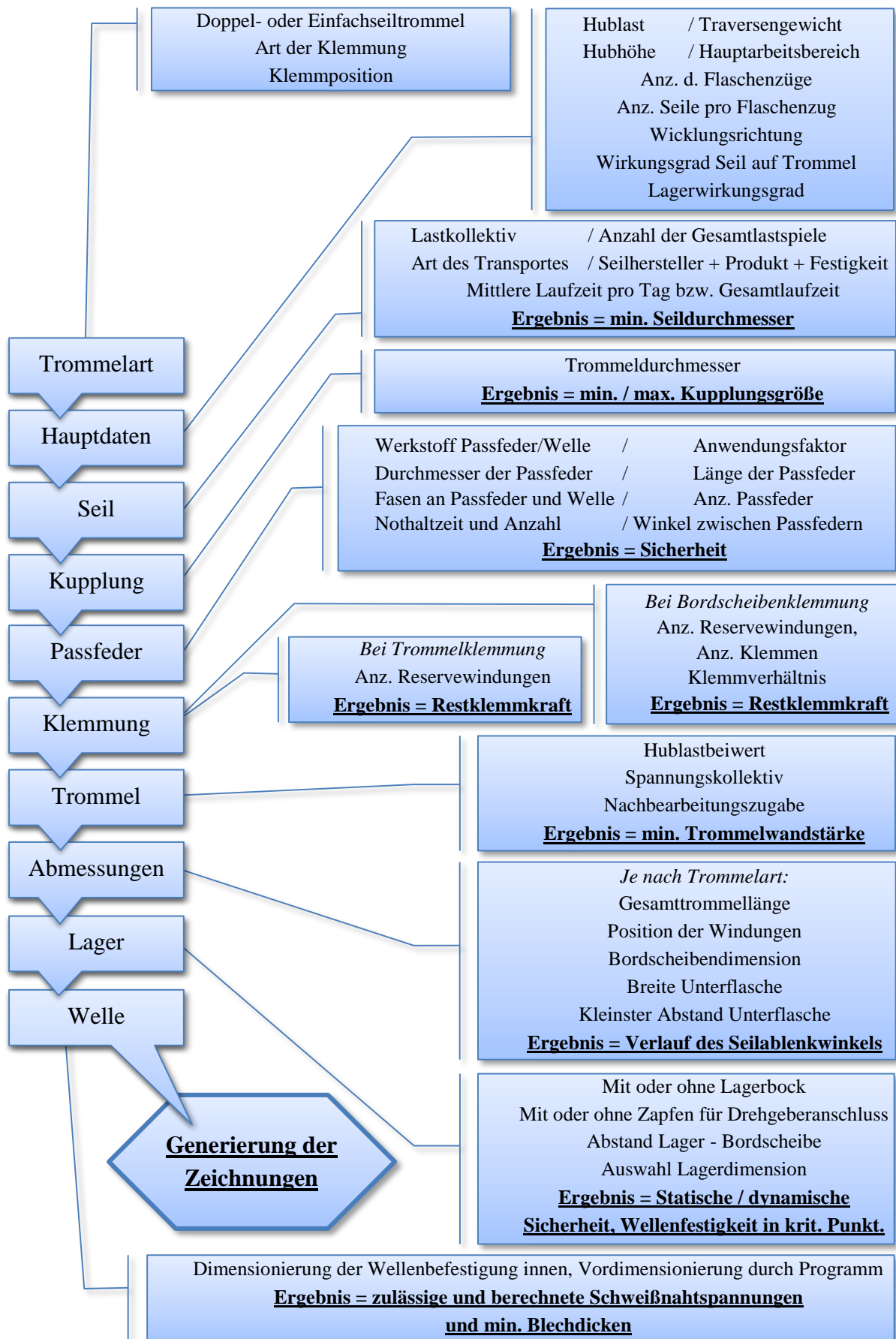
Die Reihenfolge der Eingabe der Daten wurde bereits aus der Diplomarbeit übernommen und weiter verfeinert bzw. erweitert und in einzelne Schritte gegliedert. Zuerst erfolgt die Auswahl der Art von Seiltrommel (Übersicht siehe Bild 9), hier kann man zwischen sieben verschiedenen Arten unterscheiden. Auswahlkriterien sind (Eine Erweiterung der Variantenvielfalt kann auf Kundenwunsch angedacht werden): doppelte oder einfache Seiltrommel, Position der Seilklemmen und die Art der Klemmung.



**Bild 9:** 7 Varianten von Seiltrommeln

Im nächsten Schritt werden die Hauptdaten (Hubhöhe, Hublast, Hubgeschwindigkeit, etc.) des Kranes/der Trommel eingegeben. Aufgrund dessen, und mit Berücksichtigung der Einstufung des Kranes und weiterer Faktoren, werden in den nächsten Schritten alle Maschinenelemente und Komponenten der Unterlieferanten automatisch berechnet und vorausgelegt.

Nach finaler Eingabe der geometrischen Längendaten sowie Schriftkopfbezeichnungen usw. kann die Voransicht generiert werden. Siehe dazu Ablaufdiagramm Bild 10.



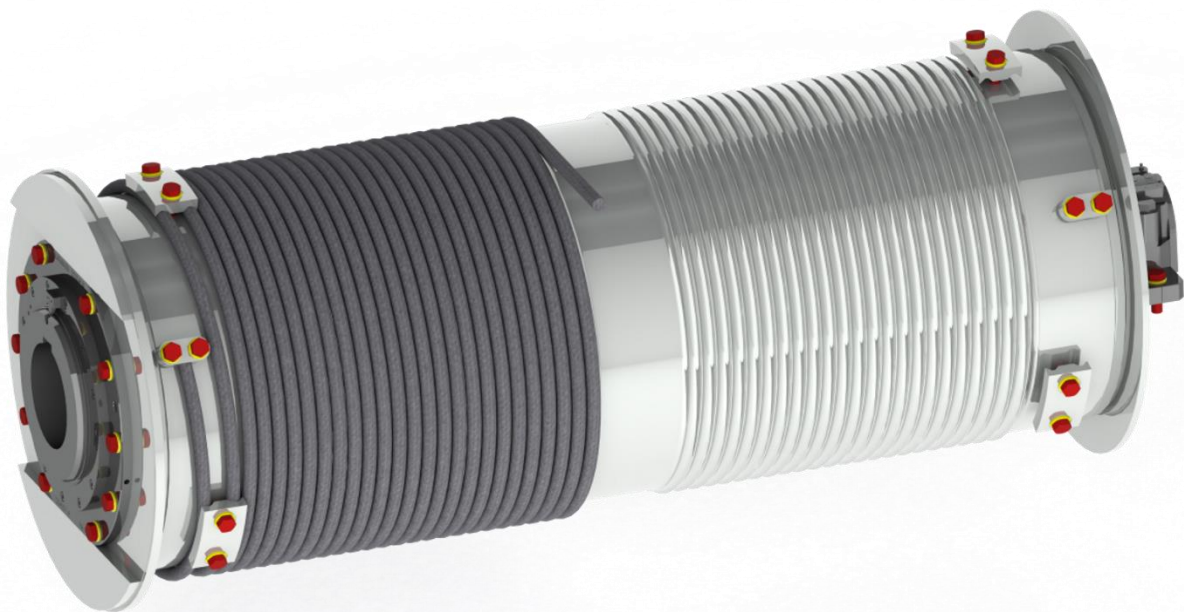
**Bild 10:** Ablaufdiagramm der Auslegung einer Seiltrommel

### 5.2.2 Generierung der 3D Komponenten

Nach der Übergabe der Daten in das CAD Programm übernimmt ein eigens erstelltes Macro die weiteren Vorgänge. Die Erstellung der 3D Seiltrommel erfolgt in den folgenden Schritten:

- Öffnen der einzelnen Komponenten in der jeweiligen Variante und aktualisieren, (Spezielles Augenmerk muss auf, mittels CAD Assistenten erstellten, Features gelegt werden, da sich hier die Aktualisierung als komplexer herausstellt, z.B. Bohrassistent)
- Öffnen der Zusammenstellung in der jeweiligen Variante und aktualisieren
- Einfügen der Komponenten der Unterlieferanten für Kupplung und falls erforderlich Lager bzw. Lagergehäuse
- Speichern der Datei in den verschiedenen Formaten

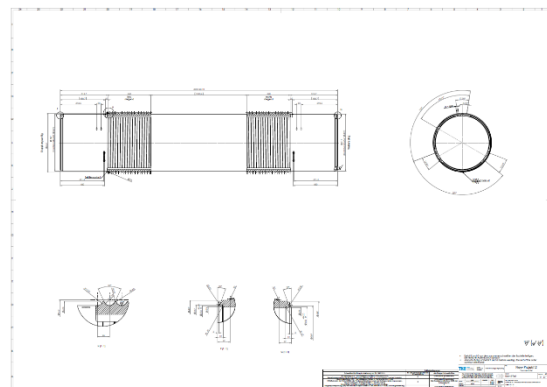
Dieser Schritt ist der wahrscheinlich Einfachste in der gesamten Prozesskette, da die meiste Arbeit vom CAD Programm selbstständig durchgeführt (Ergebnis siehe Bild 11).



**Bild 11:** Generierung der Zusammenstellung

### 5.2.3 Generierung der 2D Zeichnungen

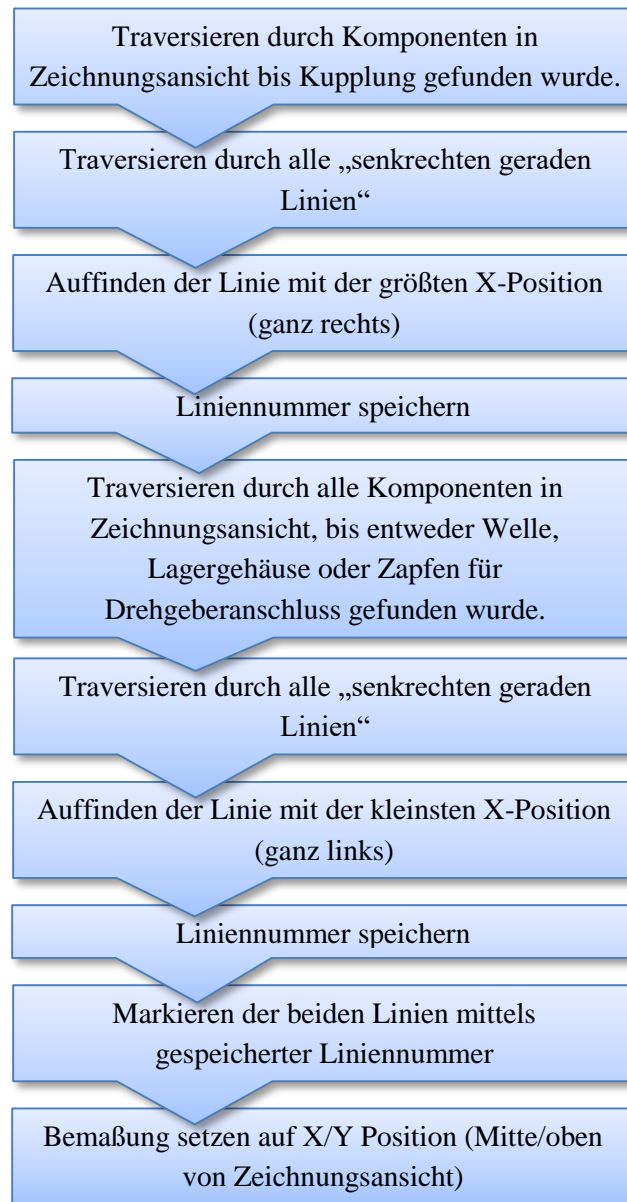
In diesem Schritt wird die zuvor erstellte 3D Zusammenstellung weiterverarbeitet. Zur Generierung der Übersichtszeichnung wird das 3D Modell mittels Macro in ein Zeichenblatt eingefügt, skaliert, positioniert und die Haupt- sowie Anschlussmaße gesetzt (siehe Bild 12). Die Kunst besteht darin, die richtigen Linien und Kanten zur Bemaßungssetzung mittels Quellcode richtig zu identifizieren. Während der normale CAD Konstrukteur visuell die Linien markiert und mittels Mausclick seine Bemaßung setzt, ist dies mit einem Programmcode nicht ganz so einfach,



**Bild 12:** Fertigungszeichnung  
Trommelmantel



mehr dazu in Bild 13, welches den relativ einfachen Ablauf des Setzens einer Hauptabmessung schematisch darstellt. Im Anschluss wird je nach Anforderung die Datei in den verschiedenen Formaten zur etwaigen Weiterverarbeitung gespeichert und zum Upload bereitgestellt. Ähnliche Prozeduren finden nun für die Generierung der einzelnen Fertigungs-, Schweißteilzeichnungen sowie die Stückliste statt.



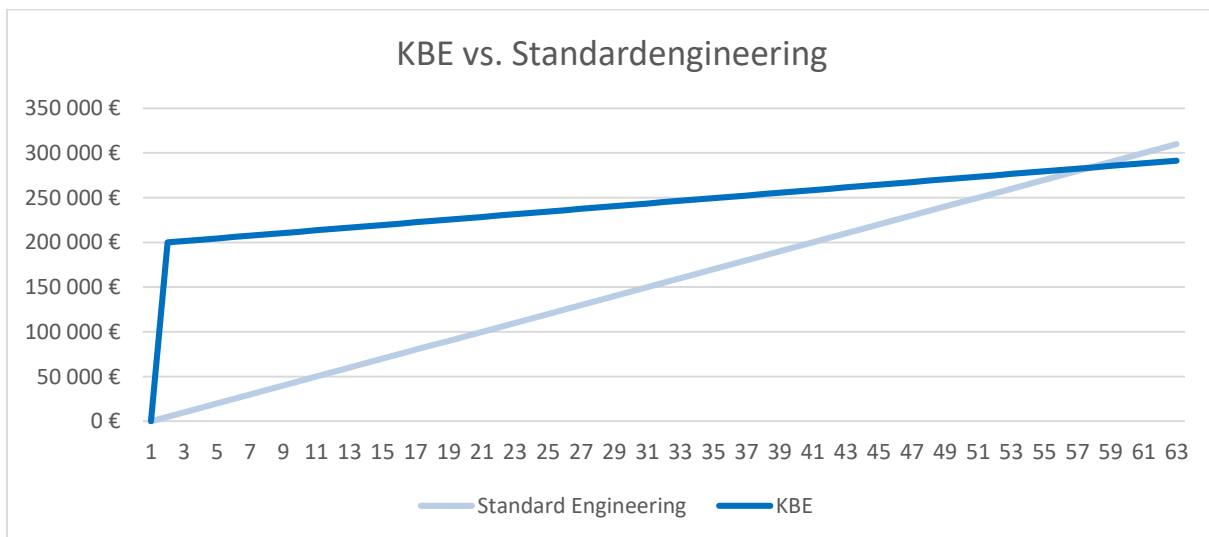
**Bild 13:** 10 Schritte bis zur Hauptabmessung

### 5.3 Systemgrenzen

So wie jede Anwendung braucht auch dieses System gewisse Grenzen in denen es einwandfrei Operieren kann. Diese können entweder statisch sein (z.B. größter und kleinster Trommeldurchmesser bzw. maximale Trommellänge) oder dynamisch (z.B. minimale Trommellänge = Windungslänge + Klemmlänge + 2 x Mindestabstand zu Bordscheibe) welche sich jeweils aus dem Auslegungsprozess ergeben.

## 6 Fazit

Für das Engineering in der Technischen Logistik ist KBx ein probates Mittel, um den Herausforderungen nach individuelleren Lösungen, schnellerer Realisierungen und leistungsfähigerer Maschinen beizukommen. Im Gesamtkontext eines modernen Engineeringansatzes ist es aber sicher nur ein kleiner Teil des Ganzen, um die in [LAN18] identifizierte Lücke in der Fortschrittlichkeit der Entwicklung hin zu bspw. automotive zu schließen. Mit der Methode zur Einsatzprüfung von KBx (siehe Kap. 1 bis 4) wurde konkret für die Seiltrommel identifiziert und kann allgemein festgestellt werden, wie geeignet KBx in einer gegenständlichen Konstruktionsaufgabe einsetzbar ist. Die webbasierte Generierung von Hubseiltrommeln will als KBE einer Variantenkonstruktion und teilweise sogar einer Anpassungskonstruktion dazu einen Beitrag liefern, um die theoretischen Methoden und Ansätze den Anwendern im Fachbereich verfügbar zu machen. KBE lässt sich für ein begrenztes System (Hubseiltrommel) mit einer bestimmten Variantenvielfalt hervorragend einsetzen. In diesem sind alle möglichen Kombinationen miteinander verknüpfbar und lassen sich auch ohne Probleme erweitern. Die Erstellung einer solchen Anwendung erfordert jedoch viel Zeit und Knowhow in den verschiedensten Bereichen, angefangen von der Erstellung der Benutzeroberfläche (Frontend, Backend und aufsetzen intelligenter Algorithmen in der Online Anwendung), über Engineering, Konstruieren und CAD-Anwendungsspezifisches API-Programmieren. Darum muss bei der Auswahl des KBE Projektes speziell auf die Nachfrage und die zu erwartende Menge an Anfragen geachtet werden, da sich ein solches Projekt erst ab einer gewissen Anzahl an Generierungen rechnet. Dies wurde bei einer Hubseiltrommel als positiv bewertet, nachdem ein weltweiter Markt (vorerst jedoch nur Europa) in Betracht gezogen wurde. Der Break-even Punkt wird bei ca. 60 Generierungen prognostiziert (Bild 14).



**Bild 14:** Projektkosten im Vergleich zu Standardengineering

## 7 Literatur<sup>12</sup>

- [P3] Landschützer, Christian; Jodin, Dirk: Wissensgestützte Methoden und Werkzeuge zur Geräteentwicklung und -konstruktion in der Technischen Logistik. In: Jahrbuch der Logistik. 2014, S.40-45
- [P4] Jodin, Dirk; Landschützer, Christian: KNOWLEDGE-BASED METHODS FOR EFFICIENT MATERIAL HANDLING EQUIPMENT DEVELOPMENT. In: Proceedings International Material Handling Research Colloquium 2012 - Gardanne. 2012, in press
- [P5] Landschützer, Christian; Jodin, Dirk; Wolfschluckner, Andreas: KNOWLEDGE BASED ENGINEERING – AN APPROACH VIA AUTOMATED DESIGN OF STORAGE/RETRIEVAL SYSTEMS. In: Proceedings in manufacturing systems. 2011, 6, S.3-10
- [P6] Landschützer, Christian; Jodin, Dirk; Thoresson, Julian: Knowledge-Based Engineering in der Technischen Logistik. In: Hebezeuge und Fördermittel. 2012, 1-2, S.38-41
- [P11] Landschützer, Christian; Fritz, Matthias; Jodin, Dirk: KNOWLEDGE BASED ENGINEERING AND MODERN CAE FOR SORTING SYSTEMS. In: Proceedings in manufacturing systems. Bucharest: , 2012, 2, S.69-76
- [AF07] Arnold, Dieter; Furmans, Kai: Materialfluss in Logistiksystemen. 5. Auflage, Berlin: Springer, 2007
- [ALC14] Need for KBE. Alcyon Engineering PVT LTD, 2014 [Zugriff am: 17. April 2014]. Verfügbar unter: [http://www.alcyon.co.in/kbe\\_need.html](http://www.alcyon.co.in/kbe_need.html)
- [AMM08] Alavi, Ali; May, Jared; Mohammed, Jaby: Application of Computer Aided Design (CAD) In Knowledge Based Engineering. Proceedings of The 2008 IAJC-IJME International Conference. Nashville: IAJC, 2008
- [FEL13a] Feldhusen, Jörg.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Berlin: Springer, 2013
- [FOR14] FortnaInc. Fortna DC Design Suite [online]. YouTube, 2014 [Zugriff am: 18. Juni 2014]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=SKeYE5hWypU&feature=youtu.be>
- [LAN18] Landschützer, Christian: Methoden und Beispiele für das Engineering in der Technischen Logistik. Habilitationsschrift, TU Graz: Verlag der TU Graz 2018, ISBN Print 978-3-85125-575-1, ISBN E-Book 978-3-85125-576-8, DOI 10.3217/978-3-85125-575-1.
- [MET15] Methodeneinordnungsmodell. Landschützer, Christian, 2015 [Zugriff am: 1. Oktober.2015]. Verfügbar unter: <http://ortner-pichler.at/Methodenmodell>
- [MOK12] [MOK12a] Moka-Projekt. MOKA-Konsortium (Hrsg.), 2012 [Zugriff am: 11.5.2012]. Verfügbar unter: <http://web1.eng.coventry.ac.uk/moka/project.htm>

---

<sup>12</sup> Die mit [Pxx] zitierten Publikationen sind Schlüsselpublikationen von [LAN18] die dazu dienen, die Methoden, und daraus die hier vorgestellte Arbeit, zu identifizieren. Daher sind sie vorweg gelistet und abweichend gekennzeichnet.

- [MÜL12] Müller, Dominik: Knowledge Based Engineering Lösung für Komponenten eines Elektrokettenzuges. Master Thesis, Hochschule RheinMain: o.V., 2012
- [PIC12] Pichler, Alexander: Knowledge-based Engineering zur Grobplanung und Gestaltung automatisierter Hochregallager. Diplomarbeit, Graz: Institut für Technische Logistik, 2012
- [SEB 666211] STAHL-EISEN-Betriebsblätter (SEB) des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute: SEB 666211 – Fördertechnik, Seiltrommeln: Anschlußmaße und technische Anforderungen, 1992.
- [SCH16] Schilcher, Matthias: Knowledge-based Engineering zur Grobplanung und Analyse von Sortiersystemen. Diplomarbeit, Graz: Institut für Technische Logistik, 2016
- [TES14a] LOOMEIO Highlights. Teseon - Complexity Engineers, 2014 [Zugriff am: 16. April 2014]. Verfügbar unter: <http://www.teseon.com/loomeo-wissenstransfer>
- [THO10] Thoesson, Julian: Knowledge Based Engineering of Hoisting Drums, Diplomarbeit am Institut für Technische Logistik an der Technischen Universität Graz, 2010.
- [VBD+12] Verhagen, Wim J.C.; Bermell-Garcia, Pablo; van Dijk, Reinier E.C.; Curran, Richard: A critical review of Knowledge-Based Engineering: An identification of research challenges. In: Advanced Engineering Informatics. Amsterdam: Elsevier, 2012, 26(1), S. 5-15
- [VDI 2221] VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2221 - Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 1993
- [VDI 5610-1] VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 5610 - Blatt 1 Wissensmanagement im Ingenieurwesen - Grundlagen, Konzepte, Vorgehen. Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2009
- [VDI 5610-2] VDI (Hrsg.): VDI-Richtlinie 5610 - Blatt 2 - ENTWURF Wissensmanagement im Engineering - Wissensbasierte Konstruktion (KBE). Berlin: Beuth-Verlag GmbH, 2015