

Diplomarbeit

**"Wirtschaftliches und technisches Optimierungspotential
von Francis Turbinen zum Einsatz als *ECO Line* Turbine
im Leistungsbereich von 300 kW bis 1200 kW."**

vorgelegt von

Georg Sailer



Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen

Vorstand: o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Jaberg

Betreuer: Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni

Externer Betreuer: Dipl.-Ing. Erwin Franz

Graz, November 2012

In Kooperation mit



Kössler GmbH & Co KG
Wasserkraftanlagen
St. Georgener Hauptstraße 122
3151 St. Georgen am Steinfeld

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

.....

date

(signature)

Danksagung

In erster Linie möchte ich meinen Eltern für die Unterstützung während meiner gesamten Ausbildungszeit danken. Ein besonderer Dank gilt auch meinen Geschwistern, meinen Freunden und meiner Freundin Désirée, die mich stets unterstützt haben und immer ein Rückhalt waren.

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni und o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Jaberg danke ich für die zahlreichen branchenspezifischen Hilfestellungen in technischer als auch kaufmännischer Hinsicht.

Der Geschäftsführung der Kössler GmbH & Co KG, Ing. Josef Lampl, MBA und Ing. Robert Doppler, danke ich für das Vertrauen und die Möglichkeit diese Diplomarbeit in Ihrem Unternehmen durchführen zu dürfen. Meinem Betreuer Dipl. Ing. Franz Erwin danke ich für die fachliche Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Bei den Mitarbeitern der Firma Kössler möchte ich mich für den offenen Umgang bedanken. Die Aufgeschlossenheit und das gute Betriebsklima ermöglichten mir ein produktives Arbeiten. Speziell danken möchte ich meinen Gesprächspartnern Ing. Georg Schoderböck, Ing. Michael Karner (Konstruktion), Ing. Fritz Neuhauser, Franz Moser, Josef Fuchs, Herbert Wallo (Lauftrad), Robert Smrcka (Spirale, Leitapparat), Christoph Sporidis (Werksmontage, Spirale), Roman Prirschl (Montage, Lauftrad), Ing. Robert Lurger Bsc. (Daten, Einführung), Ing. Karl Wieder, Ing. Walter Hromecek (Baureihe) und Ing. Manfred König (Hydraulik). Sie haben wesentlich zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen und ohne Ihre ehrliche und offene Haltung wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Kurzfassung

Kössler, ein Unternehmen der Voith Hydro GmbH & Co KG St. Pölten, entwickelte sich von einem Kleinwasserkraftanlagenhersteller kleiner- bis mittlerer Leistungen, zu einem Anlagenhersteller mittlerer- bis höchster Leistungen im Segment Kleinwasserkraft. Firmeninterne Untersuchungen von Kössler zeigten, dass die mangelnde Wettbewerbsfähigkeit im unteren Leistungsbereich ausschließlich auf die Parameter Preis und Lieferzeit zurückzuführen sind. Aus diesem Grund wurde die Produktlinie *ECO Line* entwickelt. Ziel dieser neuen Produktlinie ist die Schließung der Leistungslücke im Bereich von 300 bis 1200 Kilowatt um den gesamten Leistungsbereich von Kleinwasserkraftanlagen bedienen zu können. Angestrebt wird eine Kostenreduktion von 10 bis 15 Prozent und eine verkürzte Lieferzeit von 2 bis 4 Monaten.

Das Unternehmen ermittelte ein Kostenoptimierungspotential von 2,8 bis 3,5 Prozent für das Produkt *ECO Line Francis Turbine*. Im Rahmen meiner Diplomarbeit sollten diese Untersuchungen berücksichtigt und weitere Optimierungspotentiale gefunden werden. In einer IST-Analyse wurde das Kostenverhalten des Produktes im definierten Leistungsbereich untersucht. Diese Bestandsaufnahme ergab Kostenschwankungen bei vergleichbaren Projekten, Variantenvielfalt in der Laufradherstellung und eine Produktkomplexität in der Auftragsabwicklung.

Mit Hilfe einer Kosten- und Zeittreiberanalyse wurden in dieser Diplomarbeit mögliche Ursachen der Kosten- bzw. Zeiterhöhungen identifiziert und anschließend ein Maßnahmenkatalog mit Empfehlungen zur Verhinderung der identifizierten Ursachen erstellt. Zudem wurden Grenzkurven und Kostenvergleiche verschiedener Laufradfertigungsverfahren als Entscheidungshilfen der Verfahrenswahl ausgearbeitet.

Der wesentlichste Punkt des erstellten Maßnahmenkatalogs ist die Reduktion der Varianten durch eine Festlegung der Laufradgrößen. Dies geschieht durch die Entwicklung der *ECO Line Francis Baureihe* und ist zugleich die Grundlage für eine weitere Reduktion der Produktkomplexität.

Durch die Elimination der ermittelten Kostentreiber und der Einführung der *ECO Line Francis Baureihe* sind zukünftig Kosteneinsparungen von mindestens 9,6 bis 11,7 Prozent, sowie eine Reduzierung der Durchlaufzeit um 9 bis 11 Wochen möglich.

Abstract

Kössler is a subsidiary of the Voith Siemens Hydro Power GmbH & Co. KG in St. Pölten, Austria. It originally operated in the field of small- to medium-range hydro-power supplier within the sector of small hydropower. In this sector the company established itself over the last years as a manufacturer of medium- to large-size hydro-power plant equipment. An internal in-depth analysis of the company's product lines revealed a lack of competitiveness within the field of low to medium output hydro-power equipment. This is due to deficiencies in pricing and time to delivery. In order to overcome these shortcomings, the product family *ECO Line* has been developed. The focus of this innovative product line is to close the performance gap within the field of small scale hydro-power plants covering the output range from 300 to 1200 kilowatts. The company's aim is to reduce the gross costs 10 to 15 percent and to reduce manufacturing time by 2 to 4 month.

For the product *ECO Line Francis turbine* the company determined an optimization potential between 2,8 to 3,5 percent. These initial optimization parameters provided the starting point of my diploma thesis. Based on these evaluations further optimizations should be established. A gross cost analysis for the performance range under investigation revealed cost heterogeneity for comparable projects, many differences in blade wheel manufacturing and a complex purchase order processes.

This thesis performs an in-depth analysis with respect to costs and manufacturing time. Based on these findings, an optimization strategy was developed and cost minimization guidelines implemented. Moreover, threshold values as well as cost comparisons of different blade wheel production lines were established providing a decision aid to select manufacturing processes.

The main finding of the proposed action plan is a reduction of complexity by fixing the variants of potential blade wheels. This outcome will be implemented to the *ECO Line Francis series* and will serve the basis for a further product design simplification.

Based on the identified cost factor reduction, overall savings of 9,6 to 11,7 percent for the entire *ECO Line Francis series* appears feasible. In addition, a reduction of total manufacturing time by 9 to 11 weeks ought to be possible.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Formelverzeichnis und Abkürzungen	IX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
1.4 Kössler GmbH & Co KG	3
1.4.1 Firmengeschichte	4
1.4.2 Produkte	4
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Francis Turbinen	5
2.1.1 Grundlagen	5
2.1.2 Bauarten	6
2.1.3 Aufbau	7
2.1.4 Charakteristische Betriebszustände	9
2.1.5 Kavitation	10
2.2 Produkt- bzw. Prozessanalyse	11
2.2.1 Grundbegriffe	11
2.2.2 Problemlösungszyklus	12
2.2.3 ABC-Analyse	13
2.2.4 Kostentreiberanalyse	14
2.2.5 Zeittreiberanalyse	16
2.2.6 Ishikawa-Diagramm	17
2.2.7 Prozessmapping	17
2.2.8 Interviewtechniken	18
2.3 Baureihenentwicklung	20
2.3.1 Grundbegriffe	21
2.3.2 Grundähnlichkeiten	21
2.3.3 Geometrisch ähnliche Baureihen	22
2.3.4 Halbähnliche Baureihen	22
2.3.5 Normzahlreihen nach DIN 323	23
2.3.6 Vorgehensweise der Baureihenentwicklung	24
2.3.7 Grundstrukturen Baureihen	25
3 Analyse der Kostenstruktur	26
3.1 Referenzkraftwerk Nasswald	26
3.2 Auswahl vergleichbarer Anlagen	30

3.3	KW Nasswald	31
3.4	KW Breinig	32
3.5	KW Wanghof	33
3.6	KW Cinar 1	34
3.7	Laufräder	35
3.8	Leitapparat	38
3.9	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.....	40
4	Identifikation der Kostentreiber	42
4.1	Laufрад	42
4.1.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	42
4.1.2	Abfolge der Arbeitsabläufe.....	42
4.1.3	Auswahl möglicher <i>ECO Line</i> Laufräder	49
4.1.4	Kostenvergleich ausgewählter Laufräder	50
4.1.5	KW Nasswald	55
4.1.6	KW Cinar 1	56
4.1.7	KW Wanghof	57
4.1.8	KW Pilgersteg T1	58
4.1.9	KW Breinig	59
4.1.10	KW Pilgersteg T2.....	59
4.1.11	KW Oberlaussa 2	60
4.1.12	Vergleich der ermittelten Kernkosten	60
4.1.13	Grenzkurvenermittlung	65
4.1.14	Zusammenfassung der Ursachen	69
4.2	Konstruktion.....	70
4.2.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	70
4.2.2	Abfolge des Arbeitsablaufes	71
4.2.3	Konstruktion im Vergleich	73
4.2.4	KW Nasswald	73
4.2.5	KW Cinar 1	74
4.2.6	KW Breinig	76
4.2.7	KW Wanghof	78
4.2.8	Zusammenfassung der Ursachen	80
4.3	Montage	81
4.3.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	81
4.3.2	Abfolge des Arbeitsablaufes	81
4.3.3	Montage im Vergleich	84
4.3.4	KW Nasswald	88
4.3.5	KW Cinar 1	89
4.3.6	Auswahl möglicher Montagen.....	90
4.3.7	Abschätzung der Montagezeiten.....	91
4.3.8	Zusammenfassung der Ursachen	92
4.3.9	Bewertung Fundamentrahmen	93
4.4	Hydraulikleitungen	94

4.4.1	Mögliche Ausführung	94
4.4.2	Hydraulikleitungen im Vergleich.....	95
4.5	Hydraulikaggregat.....	96
4.5.1	Ausgangssituation	96
4.5.2	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	97
4.5.3	Kostenstruktur Hydraulikaggregat.....	97
4.5.4	Alternative Schließmechanismen.....	98
4.6	Werksmontage	100
4.6.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	100
4.6.2	Abfolge der Arbeitsabläufe.....	100
4.6.3	Werksmontage im Vergleich	103
4.6.4	KW Nasswald	104
4.6.5	KW Breinig	104
4.6.6	KW Wanghof	105
4.6.7	KW Cinar 1	106
4.6.8	Abschätzung der Dauer der Werksmontagezeiten.....	107
4.6.9	Zusammenfassung der Ursachen	109
4.7	Spiralgehäuse.....	110
4.7.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	110
4.7.2	Abfolge des Arbeitsablaufes	110
4.7.3	Spiralgehäuse im Vergleich	111
4.7.4	KW Wanghof	113
4.7.5	KW Nasswald	113
4.7.6	KW Beinig.....	115
4.7.7	KW Cinar 1	116
4.7.8	Zusammenfassung der Ursachen	117
4.8	Leitapparat	118
4.8.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	118
4.8.2	Abfolge des Arbeitsablaufes	118
4.8.3	Leitapparat im Vergleich	119
4.8.4	Leitschaufeln	120
4.8.5	Leitraddeckel	121
4.8.6	Turbinendeckel.....	123
4.8.7	Leitschaufelhebel.....	124
4.8.8	Regulerring	124
4.8.9	Zusammenfassung der Ursachen	124
4.9	Einbauplanung.....	125
4.9.1	Vorgehensweise der Datenerhebung.....	125
4.9.2	Abfolge des Arbeitsablaufes	126
4.9.3	Einbauplanung im Vergleich	126
5	Baureihenentwicklung.....	129
5.1	Ausgangssituation	129
5.1.1	Hydraulische Geometrien	129

5.1.2	Auswahl der spezifischen Drehzahlen	131
5.2	Randbedingungen	132
5.2.1	Zulässiger Betriebsbereich	133
5.2.2	Saughöhe	134
5.2.3	Generatorkosten	137
5.2.4	<i>ECO Line</i> Pelton	138
5.2.5	Wirtschaftliche Größen	138
5.2.6	<i>ECO Line</i> Kaplan	139
5.3	Baureihen Laufrad	139
5.3.1	Vorgehensweise Baureihenentwicklung.....	139
5.3.2	Variante 1	143
5.3.3	Variante 2	148
5.3.4	Gegenüberstellung Variante 1 und Variante 2	151
5.4	Baureihe Spirale	151
6	Zusammenfassung und Ausblick	153
6.1	Kostentreiberanalyse	153
6.2	Baureihenentwicklung.....	154
6.3	Einsparungspotential	155
Abbildungsverzeichnis.....		i
Tabellenverzeichnis.....		iv
Formelverzeichnis		v
Literaturverzeichnis.....		vi
Anhang		ix

Formelverzeichnis und Abkürzungen

Formelzeichen

a_0	... Leitschaufelöffnung	[%]
b_0	... Höhe Eintrittsquerschnittes Laufrades	[m]
D_1	... Eintrittsdurchmesser Laufrad	[m]
D_{11}	... Laufraddurchmesser der Einheitsturbine	[m]
D_{1a}	... Eintrittsdurchmesser Laufrad (außen)	[m]
D_{1i}	... Eintrittsdurchmesser Laufrad (innen)	[m]
D_{2a}	... Austrittsdurchmesser Laufrad (außen)	[m]
D_{2i}	... Austrittsdurchmesser Laufrad (innen)	[m]
D_3	... Austrittsdurchmesser Laufrad (außen) lt. Giesecke/Mosonyi	[m]
D_{3i}	... Austrittsdurchmesser Laufrad (innen) lt. Giesecke/Mosonyi	[m]
D_M	... Durchmesser der Modellturbine	[m]
H	... Fallhöhe	[m]
H, h_f	... Fallhöhe	[m]
H_{11}	... Fallhöhe der Einheitsturbine	[m]
H_{atm}	... Atmosphärendruckhöhe	[m]
H_d	... Dampfdruckhöhe (Wasser)	[m]
H_M	... Fallhöhe der Modellturbine	[m]
h_s	... Saughöhe	[m]
h_{szul}	... Zulässige Saughöhe	[m]
L_0	... Abmessung des Grundentwurfs	[m]
L_1	... Abmessung des Folgeentwurf	[m]
n_{11}	... Drehzahl der Einheitsturbine	$[\text{min}^{-1}]$
n_M	... Drehzahl der Modellturbine	$[\text{min}^{-1}]$
n_q	... spezifische Drehzahl	$[\text{min}^{-1}]$
n_{qopt}	... spezifische Drehzahl im Optimum	$[\text{min}^{-1}]$
n_{Turb}	... Turbinendrehzahl	$[\text{min}^{-1}]$
P_{Turb}	... erzeugte Leistung Turbine	[kW]
Q	... Volumenstrom	$[\text{m}^3]$
Q_{11}	... Volumenstrom der Einheitsturbine	$[\text{m}^3]$
Q_M	... Volumenstrom der Modellturbine	$[\text{m}^3]$
η_{opt}	... Wirkungsgrad im Optimum	[%]
η_T	... Turbinenwirkungsgrad	[%]
σ_{Th}	... Thoma Beiwert	[-]
φ	... Stufensprung	[-]
φ_1	... Größe 1 bzw. Stufensprung 1	[-]
φ_2	... Größe 2 bzw. Stufensprung 2	[-]
φ_L	... Stufensprung unter Einhaltung der geometrischen Ähnlichkeit	[-]
$\varphi_{T/P}$... Stufensprung von Toleranzen und Passungen	[-]

Abkürzungen

1 teilig	... Fräsen aus dem Vollen
2 teilig	... Fräsen aus zwei Rohlingen
3 teilig	... Herkömmliche Fertigung
A	... Preisabschätzung
AA	... allgemeine Arbeit
B	... Bohren
CNC K	... CNC Karussell
D	... Drehen
DLZ	... Durchlaufzeit
EBP	... Einbauplanung
FK	... Fertigungskosten
FSH	... Francis Spiralturbine horizontale Ausführung
FSHc	... Francis Spiralturbine horizontale Ausführung, kompakt
FSVc	... Francis Spiralturbine vertikale Ausführung, kompakt
GK	... Gemeinkosten
HB	... Horizontalbohrwerk
HK	... Herstellkosten
HW	... Handelswaren (Zukauf)
K	... Karussell
Ko-S	... Korrosionsschutz
KW	... Kraftwerk
M_{groß}	... Stundensatz Maschine Groß
MK	... Materialkosten
M_{klein}	... Stundensatz Maschine Klein
MÜ	... Montageüberwachung
N_a	... Stundensatz Normalarbeitszeit
P	... Programmierung an der Maschine
PK	... Preisliste Kössler
R	... Reinigen
R²	... Fehler der Trendlinien
R5...40	... Normreihen nach DIN 323
RKW	... Referenzkraftwerk Nasswald
S	... Sägen
SCHL	... Schleifen
SCHW	... Schweißen
T	... Stundensatz Techniker
T1, T2	... Turbinennummer
TIV (A/K/K)	... Turbine Inlet Valve (Absperrklappe, Kugelhahn, Kugelschieber)
UW	... Unterwasserspiegel
V	... Verladetätigkeit
VM	... Vollmontage
WM	... Werksmontage
z	... Schaufelzahl
ZFP	... zerstörungsfreie Prüfung

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation geschildert und der Aufbau dieser Arbeit erläutert. Anschließend wird das Unternehmen Kössler kurz vorgestellt.

1.1 Ausgangssituation

Abbildung 1.1 zeigt die Entwicklung der Firma Kössler, im Laufe ihrer Geschichte, zu Kleinwasserkraftanlagen höherer Leistungen. Untersuchungen ergaben, dass man vor allem im Bereich bis 1200 Kilowatt einen erheblichen Auftragsrückgang hinnehmen musste. Die wesentlichen Ursachen für die Einbußen in diesem Segment liegen im Preis und der Lieferzeit.¹

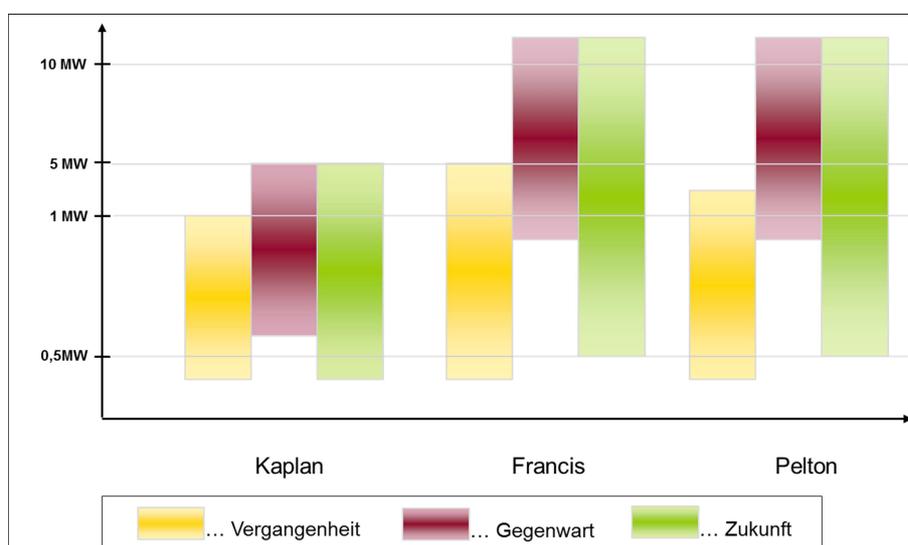


Abbildung 1.1: Entwicklung Kössler GmbH & Co KG²

Aufgrund der Entwicklung der Subventionspolitik vieler Länder in Richtung erneuerbarer Energien (siehe Türkei mit „Visio 2023“³), werden hohe Auftragseingänge erwartet. Bezogen auf Einzelprojekte sind Projekte im höheren Leistungsbereich aufgrund des besseren Kosten-Nutzen Verhältnisses in der Projektabwicklung zu bevorzugen. Allerdings wirken sich Projekte unter 1200 Kilowatt wesentlich stärker auf den quantitativen Auftragseingang aus und können daher keinesfalls vernachlässigt werden. Um in diesem Segment neu durchzustarten und wieder konkurrenzfähige Produkte anbieten zu können, wurde das Projekt bzw. die Produktlinie *ECO Line* ins Leben gerufen. Die Strategie ist es, „Business On Top Produkte“⁴ zu schaffen, welche die Märkte Deutschland, England, Türkei und Griechenland bedienen können.

¹ Vgl. VHGE Konzept ECO Line, 2010, Folie 2.

² Vgl. ebenda, Folie 3.

³ invest.gov.tr (14.08.2012).

⁴ Definition Kössler GmbH & Co KG: „Ein Produkt, das parallel (mit möglichst geringem Ressourcenverbrauch) zu derzeitigen Geschäften abgewickelt werden kann.“

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der Produktgruppe *ECO Line Francis* Anlagen. Im Vorfeld der Diplomarbeit wurden bereits intensive Untersuchungen seitens der Firma Kössler durchgeführt und ein Generatorkühl- und Generatorlagerkonzept festgelegt, das die Montage- und Konstruktionszeiten wesentlich reduziert (siehe Kapitel 4.3.7, 4.2.5). Zudem wurden zwei *ECO Line* Varianten ausgearbeitet: Variante 1 berücksichtigt ein alternatives Generatorkonzept (B5 anstelle B3), einen elektrischen Antrieb zur Leitradverstellung, ein eigenölversorgtes Turbinenabsperrorgan und das Outsourcing der Einbauplanung sowie Konstruktion zu Voith Hydro Trebišov. Variante 2 beinhaltet zusätzlich eine alternative Beschichtungsmethode.

Dabei wurden Einsparungspotentiale von 2,81 bzw. 3,50 Prozent, bezogen auf das Referenzkraftwerk Nasswald (siehe Kapitel 3.1), ohne Berücksichtigung des Kühl- und Lagerkonzepts des Generators, ermittelt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen weitere Untersuchungen vorgenommen werden.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, bestehende Francis Anlagenkonzepte auf wirtschaftliche und technische Optimierungspotentiale zu untersuchen, um einen Einsatz als *ECO Line Francis* Anlagen zu ermöglichen. Dabei sollen folgende Punkte eingehalten bzw. erreicht werden:

- Business On Top Produkt
- kein Substitut bestehender Geschäfte
- Preisreduktion um 10 bis 15 Prozent
- Reduktion der Lieferzeit um 2 bis 4 Monate (d.h. auf 10 bis 12 Monate)
- Produktqualität und Sicherheit auf bekannt hohem „Kössler-Niveau“
- ausschließlich technische⁵- und kaufmännische⁶ Standardbedingungen

Durch diese neue Produktlinie soll ein zusätzlicher Auftragseingang von 10 Prozent pro Jahr (2 Millionen Euro pro Jahr, 3 bis 4 Anlagen) erreicht werden.

Als *ECO Line Francis* Turbinen werden alle Anlagen bezeichnet, deren elektromechanische Ausrüstung folgende Randbedingungen erfüllt:

- Leistungsbereich von 300 bis 1200 Kilowatt (optional bis 1500 Kilowatt)
- Eintrittsdurchmesser D_{1a} bis zirka 800 - 900 Millimeter
- Horizontale Ausführung

⁵ Keine speziellen Nachweise, Berechnungen, Dokumentationen etc.

⁶ Keine speziellen Ausschreibungsverfahren, Dokumentationen etc.

1.3 Aufbau der Arbeit

Aufgrund der allgemein gehaltenen Zielsetzung, einigten sich die Geschäftsführung der Kössler GmbH & Co KG, Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni und ich darauf, mit einer dreiwöchigen Einarbeitungsphase im Unternehmen zu beginnen. Ziel dieser Einarbeitungsphase war einen möglichst genauen Einblick in die Prozessabläufe des Unternehmens zu erhalten, die Kostenstruktur von Francis Anlagen aufzuarbeiten und anschließend die weitere Vorgehensweise zu definieren. Die Aufarbeitung dieser Daten stellt somit die Grundlage dieser Arbeit dar und wird in Kapitel 3 beschrieben. Aufgrund dieser IST-Analyse und einer vertieften Literaturrecherche wurden die Problemfelder und mögliche Optimierungspotentiale in Zusammenarbeit mit O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Jaberg und Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni definiert und ein Konzept zur weiteren Vorgehensweise ausgearbeitet (Kapitel 3.9).

Mit den Themenschwerpunkten Kostentreiberanalyse, Variantenmanagement und Baureihenentwicklung konnten drei Bereiche gefunden werden, die einerseits passende Methoden zur detaillierteren Aufarbeitung der IST-Situation bereitstellten und andererseits schon in ähnlichen Ausgangssituationen (siehe Kapitel 2) zu vielversprechenden Zielsystemen geführt haben.

Ziel der Kostentreiberanalyse ist den bisher optimalsten Ablauf ausgewählter Kostenblöcke zu identifizieren (Kapitel 4). Diese Abläufe werden als interne Benchmarks definiert, den Kosten- bzw. Durchlaufzeitabweichungen gegenübergestellt und versucht geeignete Maßnahmen zur Verhinderung dieser Kostentreiber auszuarbeiten (siehe Maßnahmenkatalog im Anhang).

Zur Reduktion der Fertigungs- und Produktkomplexität werden Entscheidungshilfen (Grenzkurven, Bewertung Fundamentrahmen, Gegenüberstellung Verrohrung) ausgearbeitet (siehe Kapitel 4.1.13, 4.3.9 und 4.4).

In Kapitel 5 wird der wesentlichste Punkt des Maßnahmenkataloges umgesetzt. Dies ist die Reduktion der Varianten durch Größenfestlegung der Laufräder. Realisiert wird diese Größenfestlegung durch die Entwicklung der *ECO Line Francis Baureihe*. Aufbauend auf diesen Größen wird die Möglichkeit der Gruppierung der Spiralen analysiert.

Die Ergebnisse der Kostentreiberanalyse, der Baureihenentwicklung und die damit verbundenen Kosteneinsparungen werden in Kapitel 6 zusammengefasst. Weiters erfolgt ein Ausblick aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse.

1.4 Kössler GmbH & Co KG

In diesem Kapitel erfolgt ein kurzes Unternehmensportrait. Dabei werden die Geschichte und das Produktportfolio erläutert.

1.4.1 Firmengeschichte

„Das Unternehmen entstand 1928 als eine Reparaturwerkstätte für Turbinen und Generatoren. Später begann Kössler eigene Turbinen und Regler zu entwickeln und konnte kontinuierlich die Marktposition ausbauen. Schließlich wurde dem Unternehmen in den 80er Jahren die staatliche Auszeichnung der Republik Österreich für die Tätigkeiten am Sektor der Kleinwasserkraft verliehen. Begleitend dazu erweiterte Kössler stetig die Absatzmärkte und heute werden rund 20% des Umsatzes am österreichischen Markt generiert und 80% gehen nach Europa oder Übersee. Für diesen hohen Exportanteil erhielt das Unternehmen 2005 auch den Exportpreis der Wirtschaftskammer.

2007 erfolgte der Zusammenschluss mit Voith Hydro GmbH & Co KG St. Pölten. Zweck ist es der weltweiten Nachfrage von erneuerbarer Energie aus Kleinwasserkraft gerecht zu werden. Kössler wird das Zentrum für Kleinwasserkraft mit bestehender kundenorientierter und kompetenter Struktur und dem technologischem Background von Voith.“⁷

Derzeit beschäftigt Kössler rund 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und installiert jährlich rund 40 bis 50 neue Turbinenanlagen im In- und Ausland.⁸

1.4.2 Produkte

Nachfolgend sind die Produkt- und Tätigkeitsfelder von Kössler aufgelistet.⁹

- Kaplan Turbinen
- Francis Turbinen
- Pelton Turbinen
- ECO Flow Turbinen
- Stahlwasserbau
- Turnkey
- Service und Wartung
- Auftragsfertigung

⁷ koessler.com-a (15.08.2012).

⁸ Vgl. ebenda.

⁹ Vgl. koessler.com-b (15.08.2012).

2 Theoretische Grundlagen

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Grundlagen von Turbinen und im Speziellen von Francis Turbinen erörtert. Anschließend erfolgt eine Beschreibung wesentlicher Bestandteile einer Kostentreiberanalyse und schließlich wird der grundlegende Ablauf einer Baureihenentwicklung bzw. dessen Randbedingungen beschrieben.

2.1 Francis Turbinen

Nach einer Einführung in die Grundlagen der Turbinenauswahl, werden verschiedene Bauarten, der Aufbau der Francis Spiralturbine und deren charakteristischen Betriebszustände beschrieben.

2.1.1 Grundlagen

Wasserkraftanlagen lassen sich nach unterschiedlichsten Gesichtspunkten unterteilen. Eine wesentliche Unterscheidung erfolgt aufgrund der Fallhöhe und des Durchflusses.

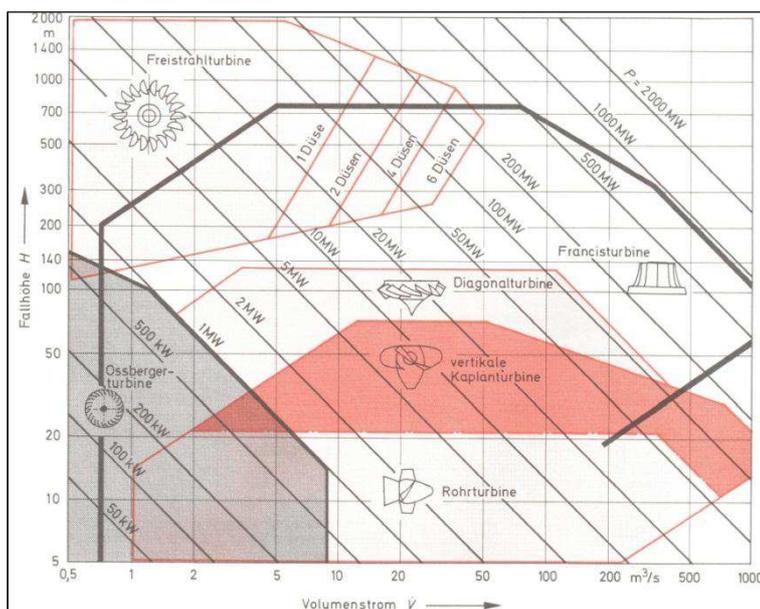


Abbildung 2.1: Einsatzbereiche verschiedener Turbinenarten ($H - Q$)¹⁰

Aus oben gezeigter Darstellung wird ersichtlich, dass bei Francis Turbinen Fallhöhen von über 600 m, Volumenströme von über 1000 m^3/s und Leistungen bis 1000 MW realisiert werden können. Francis Turbinen erreichen einen Turbinenwirkungsgrad von 94,5%, Kaplan-turbinen 94% und Peltonturbinen 92% ($0,34 \text{ m} \leq D \leq 0,45 \text{ m}$, $n \approx 1000 \text{ min}^{-1}$,

¹⁰ Bohl (2002), S. 114.

$Re \approx 5 \cdot 10^6 > Re_{krit}$).¹¹ Bei großen Francis Turbinen sind Wirkungsgrade bis 97% möglich (Bsp.: Sanxia, $D \approx 10 \text{ m}$, $n = 75 \text{ min}^{-1}$, $n_{qopt} \approx 64 \text{ min}^{-1}$, $Re \approx 400 \cdot 10^6$).¹²

Eine weitere Möglichkeit zur Unterscheidung der Turbinentypen und deren Einsatzbereich ist die spezifische Drehzahl.

$$n_q = n \cdot \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad [\text{min}^{-1}]$$

$$n \text{ [min}^{-1}\text{]}, Q \text{ [m}^3\text{/s]}, H \text{ [m]}$$

(2.1)

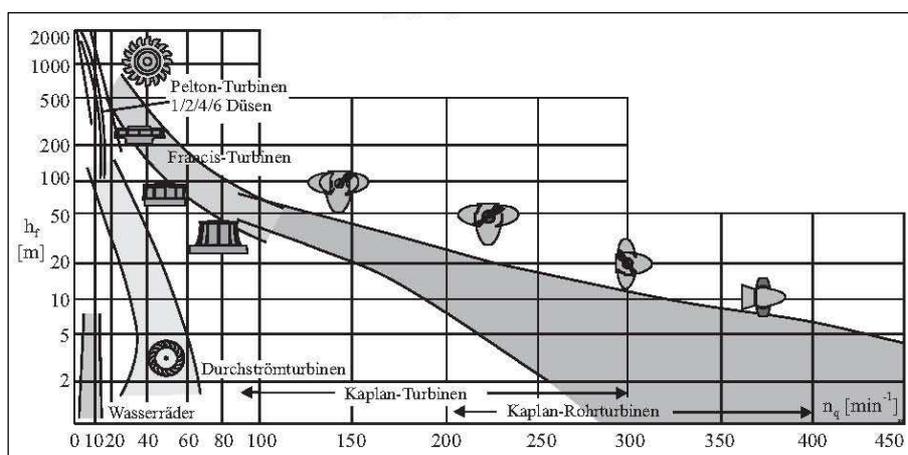


Abbildung 2.2: Einsatzbereiche verschiedener Turbinenarten ($H - n_q$)¹³

Zudem unterscheidet man aufgrund der Engpassleistung zwischen

- Kleinwasserkraftanlagen ($\leq 10 \text{ MW}$)
- mittleren Wasserkraftanlagen ($\leq 20 \text{ MW}$) und
- Großwasserkraftanlagen ($> 20 \text{ MW}$)¹⁴

2.1.2 Bauarten

Die Francis Turbine gehört zu den Überdruckturbinen, wird radial von außen nach innen durchströmt und gibt das Wasser axial ab. Man unterscheidet zwischen Schacht- und Spiralturbinen. Letztere werden sowohl in vertikaler, als auch horizontaler Bauweise (Wellenlage) ausgeführt. Dabei wird der Volumenstrom über den Leitapparat reguliert. Ausführungen in Schachtbauweise verfügen über keine Spirale und werden bei Fallhöhen bis etwa 5 Meter eingesetzt.¹⁵

¹¹ Vgl. Schilling (2011), Folie 3.

¹² Vgl. ebenda.

¹³ Giesecke (2009), S.511.

¹⁴ Vgl. Ökostromgesetz 2012, S. 6.

¹⁵ Vgl. Giesecke (2009), S.586.

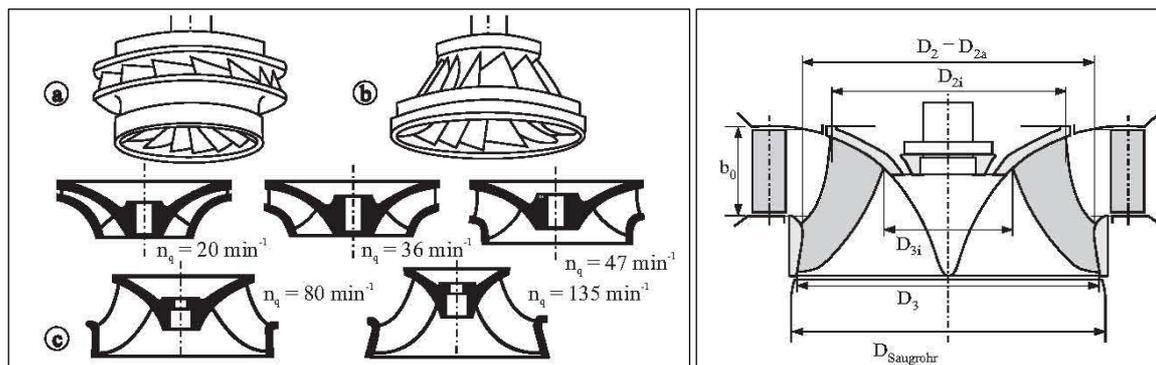


Abbildung 2.3: Francis Laufräder¹⁶

Francis Laufräder bestehen aus Boden, Kranz (Ring) und Schaufeln. Dabei kann die Schaufelzahl (7 bis 19) stark variieren und ist vom Kavitationsverhalten, der Festigkeit und Erfahrungswerten abhängig. Über den Laufradboden werden die Kräfte auf die Turbinenwelle bzw. Generatorwelle (je nach Bauart) übertragen und der Generator angetrieben. Aus Abbildung 2.3 erkennt man die unterschiedlichen Laufradgeometrien bei verschiedenen spezifischen Drehzahlen. Mit zunehmender spezifischer Drehzahl sind kleinere Eintrittsdurchmesser D_1 (in Grafik als D_2 bezeichnet) und größere Eintrittsquerschnitte b_0 ersichtlich. Form a zeigt einen Langsamläufer ($n_q = 30 \text{ min}^{-1}$) und Form b einen Schnellläufer ($n_q = 120 \text{ min}^{-1}$).

2.1.3 Aufbau

Aus nachfolgender Abbildung sind die Komponenten und die Ausführungen in vertikaler und horizontaler Bauweise einer Francis Turbine ersichtlich.

¹⁶ Giesecke (2009), S.588.

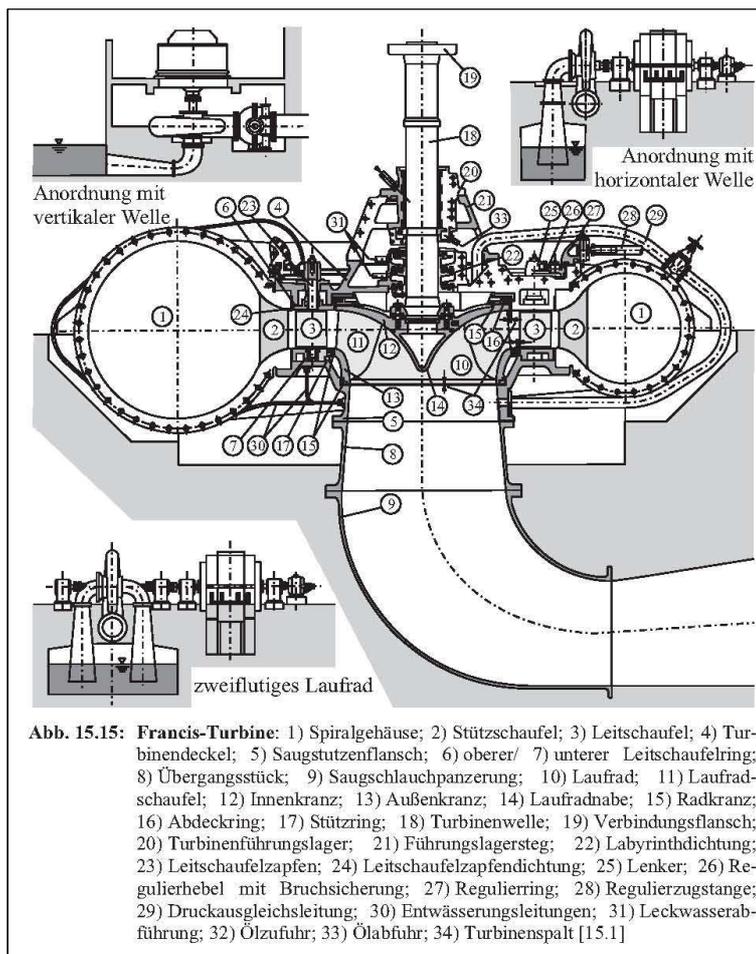


Abbildung 2.4: Francis Turbine¹⁷

Francis Turbinen in Kompaktbauweise verfügen über keine Turbinenwelle, sondern werden direkt auf die Generatorwelle montiert. Ein Beispiel einer Kompaktausführung ist in nachfolgender Abbildung links zu sehen. Dabei handelt es sich um eine *ECO Line* Spiralturbine der Firma Kössler. Rechts ist die Einbindung in das Krafthaus dargestellt.

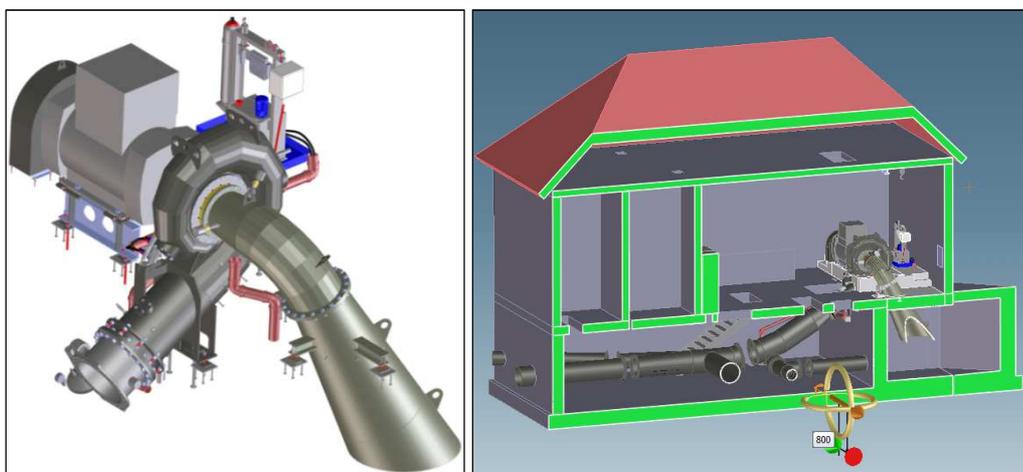


Abbildung 2.5: ECO Line Francis Anlage¹⁸

¹⁷ Vgl. Giesecke (2009), S.587.

¹⁸ Kössler (2011/2008).

2.1.4 Charakteristische Betriebszustände

Nachfolgende Abbildung 2.6 zeigt das Muscheldiagramm einer Francis Turbine. Daraus können charakteristische Betriebszustände der Turbine entnommen werden.

- Wirkungsgrade η_T
- Betriebsbegrenzungen (Leerlauf- und Vollastlinie)
- Leitradöffnung a_0
- Thoma-Wert (Sigma-Wert) σ_{Th}
- Linien mit konstanter spezifischer Drehzahl n_q
- „Optimaler Durchfluss um den Maschinensatz im Bereich der Nenndrehzahl zur Frequenzhaltung sowie mit optimalem Wirkungsgrad η_{opt} zu fahren.“
- Betriebsbegrenzungen h_{min}, h_{max} bzw. Q_{min}, Q_{max} (bei Hochwasser, Kavitationsgrenzen, schwingungsfreier Betrieb)
- Anfahren der Turbine ($n_{11} = 0$)
- Durchgangsdrehzahl bzw. Leerlauf ($\eta_T = 0$)

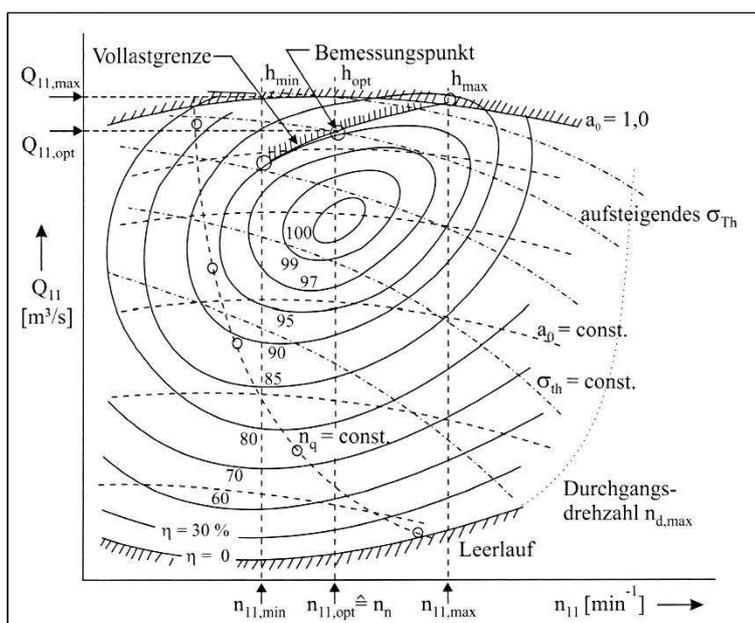


Abbildung 2.6: Muscheldiagramm¹⁹

Muscheldiagramme entstehen aufgrund von Modellversuchen. Es werden unterschiedliche Leitradöffnungen eingestellt und dabei Durchfluss (Q_M), Höhe (H_M), Drehzahl (n_M) und Wirkungsgrad (η_M) des Modells gemessen und anschließend auf eine fiktive Einheitsturbine mit einem Laufraddurchmesser $D_{11} = 1 \text{ m}$, die bei einer Fallhöhe von $H_{11} = 1 \text{ m}$ arbeitet, umgerechnet.²⁰

¹⁹ Giesecke (2009), S.530.

²⁰ Vgl. ebenda, S.528f.

$$Q_{11} = Q_M * \frac{\sqrt{H_{11}} * D_{11}^2}{\sqrt{H_M} * D_M^2} = \frac{Q_M}{\sqrt{H_M} * D_M^2} \quad [m^3/s] \quad (2.2)$$

$$n_{11} = n_{11} * \frac{\sqrt{H_{11}} * D_M}{\sqrt{H_M} * D_{11}} = n_M \frac{D_M}{\sqrt{H_M}} \quad [min^{-1}] \quad (2.3)$$

Setzt man anstelle der Modellwerte reale Werte für Höhe und Durchfluss ein, erhält man die Dimension, die spezifische Drehzahl und die Drehzahl der zu verwendenden Turbine. Üblicherweise ergibt sich der Laufradaußendurchmesser D_{2a} (in Abbildung 2.3 D_3), bei Kössler bzw. Voith handelt es sich um D_{1a} . Anschließend muss die zulässige Saughöhe h_{szul} ermittelt und kontrolliert werden (vgl. Kapitel 2.1.5)

2.1.5 Kavitation

„Unter Kavitation versteht man die Ausbildung örtlicher Dampfgebiete (Dampfblasen) im Inneren von strömenden Flüssigkeiten, wenn der statische Absolutdruck den temperaturabhängigen Dampfdruck erreicht oder unterschreitet.“²¹ Um Kavitation und somit Kavitationsschäden zu verhindern, muss nach Thoma folgende Bedingung eingehalten werden:

$$h_s \leq h_{szul} = H_{atm} - H_d - \sigma_{Th} * H \quad [m] \quad (2.4)$$

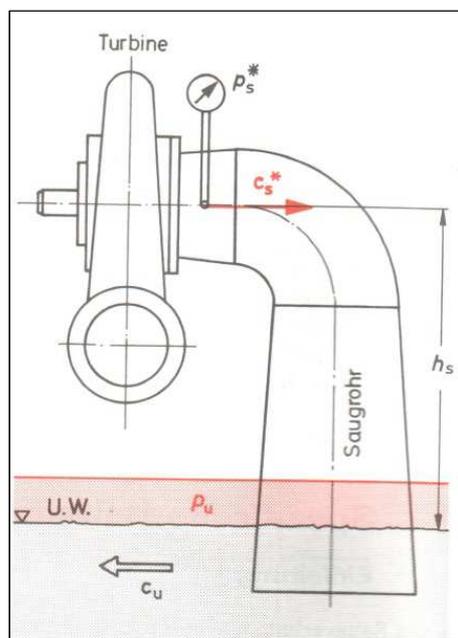


Abbildung 2.7: Saughöhe h_s ²²

²¹ Bohl (2002), S. 49.

²² Bohl (2002), S. 56.

Dabei handelt es sich bei H_{atm} um die Atmosphärendruckhöhe und bei H_d um die Dampfdruckhöhe des Wassers. Erster Faktor ändert sich in Folge dessen mit der Aufstellungshöhe der Turbine (H_{atm} sinkt bei zunehmender Meereshöhe) und H_d steigt bei zunehmender Wassertemperatur. Der Thoma- bzw. Sigma-Wert σ_{Th} ist von der spezifischen Drehzahl und in weiterer Folge von der Höhe und dem Durchfluss abhängig (vgl. Abbildung 5.4 und Abbildung 2.8). Die Fallhöhe H ist vorgegeben. Somit ist die geringste bzw. negativste zulässige Höhe bei einer hohen Aufstellungshöhe der Turbine, warmen Wasser, hoher spezifischer Drehzahl, hoher Fallhöhe und hohem Durchfluss zu erwarten. Ist keine positive Saughöhe realisierbar, muss die Maschine unter das Niveau des Unterwasserspiegels (UW) positioniert („eingegraben“) werden.

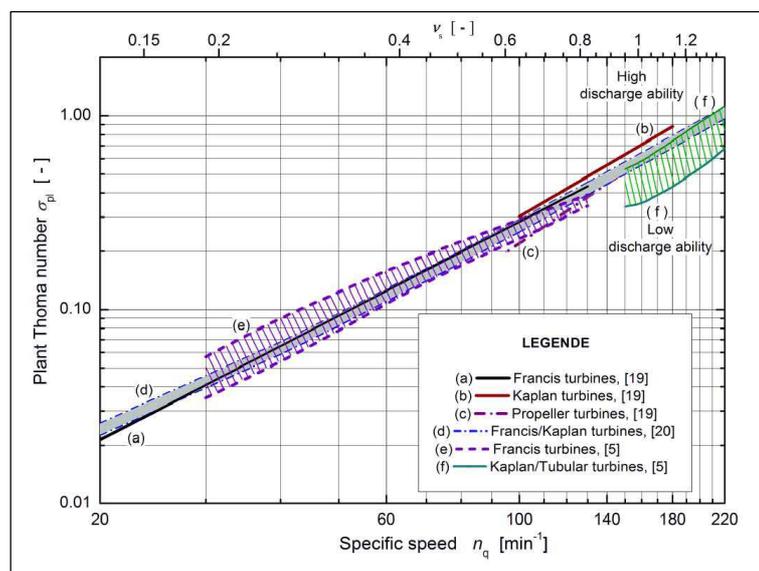


Abbildung 2.8: Thoma Beiwert²³

2.2 Produkt- bzw. Prozessanalyse

In diesem Kapitel werden die verwendeten Techniken zur Festlegung der Vorgehensweise der Untersuchungen und in weiterer Folge Möglichkeiten zur Prozess- und Produktanalyse beschrieben.

2.2.1 Grundbegriffe

Prozess

Nach EN ISO 9000:2005 ist ein Prozess „ein Satz von in Wechselbeziehungen oder Wechselwirkungen stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umgewandelt“.

Ein Prozess ist ein „sich über eine gewisse Zeit erstreckender Vorgang, bei dem etwas [allmählich] entsteht, sich herausbildet.“²⁴

²³ Höfler/Širok/Bergant (2011), S. 207.

²⁴ Duden.com (01.09.2012).

Kostentreiber

In der Literatur liegen prinzipiell zwei unterschiedliche Definitionen von Kostentreibern vor:

„So ist in der angloamerikanischen Literatur die Meinung sehr verbreitet, dass die Kostentreiber die Ursache für die Entstehung der Kosten darstellen.“²⁵ Demnach handelt es sich um Größen die für die Entstehung der Kosten verantwortlich sind. Gesucht werden dabei Einflussfaktoren welche die Kosten „treiben“ bzw. „auslösen“.²⁶

In deutschsprachige Literatur sind Kostentreiber meist im Zusammenhang mit der Prozesskostenrechnung zu finden. So werden in der Prozesskostenrechnung die kostenstellenübergreifende Kosteneinflussfaktoren, auf Ebene der Hauptprozesse, als Cost Driver (Kostentreiber) bezeichnet. Dieser Faktor ist sowohl eine Messgröße für die Kostenverursachung als auch für den Leistungsoutput.²⁷ „Ein Beispiel für einen Hauptprozess wäre die ‚Abwicklung Wareneingang‘ und der dazugehörige Cost Driver die ‚Anzahl der Eingangspositionen‘.“²⁸ Nach dieser Definition stellen Kostentreiber Einflussgrößen für den indirekten Bereich dar.

In dieser Diplomarbeit werden die Kostentreiber wie in der angloamerikanischen Literatur interpretiert. Dabei sind Kostentreiber in erster Linie Ursachen der Kostenerhöhung und gleichzeitig Messgrößen für zukünftige Kalkulationen.²⁹

Kernkosten

Herstellkosten für den idealisierten Prozess.³⁰

Kernzeiten

Arbeitszeiten für den idealisierten Prozess.³¹

2.2.2 Problemlösungszyklus

Der Problemlösungszyklus in Abbildung 2.9 zeigt die prinzipiellen Schritte zur Findung eines „Vorgehensplans“.

„Schwerpunkte:

- Zielsuche bzw. Zielkonkretisierung: Wo stehen wir? Was wollen/brauchen wir?
- Lösungssuche: Welche Möglichkeiten gibt es?
- Auswahl: Welche ist die Beste/Zweckmäßigste?³²

²⁵ Grünig (2010), S.57.

²⁶ Vgl. ebenda.

²⁷ Vgl. Bauer (2008), Kap. 5-S.7.

²⁸ ebenda, S. 8.

²⁹ Vgl. Jaberger (2007), Kap. 8-S. 3f.

³⁰ Vgl. ebenda.

³¹ Vgl. ebenda.

³² Haberfellner (2002), Kap. 3-S. 22.

B: wichtig, dringlich, mittlerer Wert

C: weniger wichtig, weniger dringlich, niedriger Wert

Die weit verbreitete 80-20-Regel (Paretoprinzip) stammt von diesem Analyseverfahren. Dabei verursachen 20 Prozent des Mengenanteiles 80 Prozent des Werteanteiles, d.h. diese Menge wird als A-Menge (Teile, Probleme etc.) bezeichnet.³⁷

Nachfolgend ist eine mögliche Unterteilung angeführt³⁸:

Kategorie A = 60 bis 80 Prozent des Werteanteiles

Kategorie B = 15 bis 25 Prozent des Wertanteiles

Kategorie C = 5 bis 15 Prozent des Wertanteiles

2.2.4 Kostentreiberanalyse

Ziel einer Kostentreiberanalyse ist es eine Verschwendungssuche durchzuführen (vgl. Definition). Der Kunde ist nämlich nur bereit, für die eigentliche Wertschöpfung zu zahlen.³⁹ Nach Kostka werden sieben Verschwendungsarten definiert:

- Überproduktion
- Wartezeit
- Überflüssiger Transport
- Ungünstiger Herstellungsprozess
- Überhöhte Lagerhaltung
- Unnötige Bewegung und
- Herstellung fehlerhafter Teile

Nachfolgend sind Ergebnisse einer solchen Verschwendungssuche angeführt.⁴⁰

- Kürzere Durchlaufzeit
- Verbesserung der Produkte
- Höhere Produktqualität
- Niedrigere Produktkosten
- Denken in Prozessen
- Prozessbeherrschung
- Höhere Mitarbeitermotivation

Abbildung 2.10 zeigt eine Kostentreiberanalyse des Unternehmens A und gleichzeitig ein Benchmarking mit dem Unternehmen B:

³⁷ Vgl. Ultsch (12.01.2001).

³⁸ Vgl. www.uni-magdeburg.de (12.01.2012).

³⁹ Vgl. Kostka (2007), S. 63.

⁴⁰ Vgl. ebenda, S. 65.

- In einem ersten Schritt erfolgt die Festlegung der Herstellkosten für einen idealisierten Prozess. Diese ermittelten Kernkosten werden den IST-Kosten gegenübergestellt. Eine verursachergerechte Zuordnung der ermittelten Kostendifferenz zeigt das Ausmaß unterschiedlicher Kostentreiber auf.
- Anschließend wird das Ausmaß dieser Kostentreiber in Unternehmen B analysiert.
- In einer Ursachenanalyse werden die Gründe der Kostenerhöhungen im Vergleich zum Mitbewerber ermittelt und Optimierungsstrategien entwickelt.

In dem Beispiel aus Abbildung 2.10 ist erkennbar, dass beim Unternehmen B um 44 Prozent geringere Kosten für denselben Prozess anfallen. Das „Simultaneous Engineering“ verursacht beispielsweise bei Unternehmen B um 12,5 Prozent weniger Kosten.

Der Vergleich mit Unternehmen B kann auch entfallen. Stattdessen können Prozessvarianten miteinander verglichen werden.⁴¹

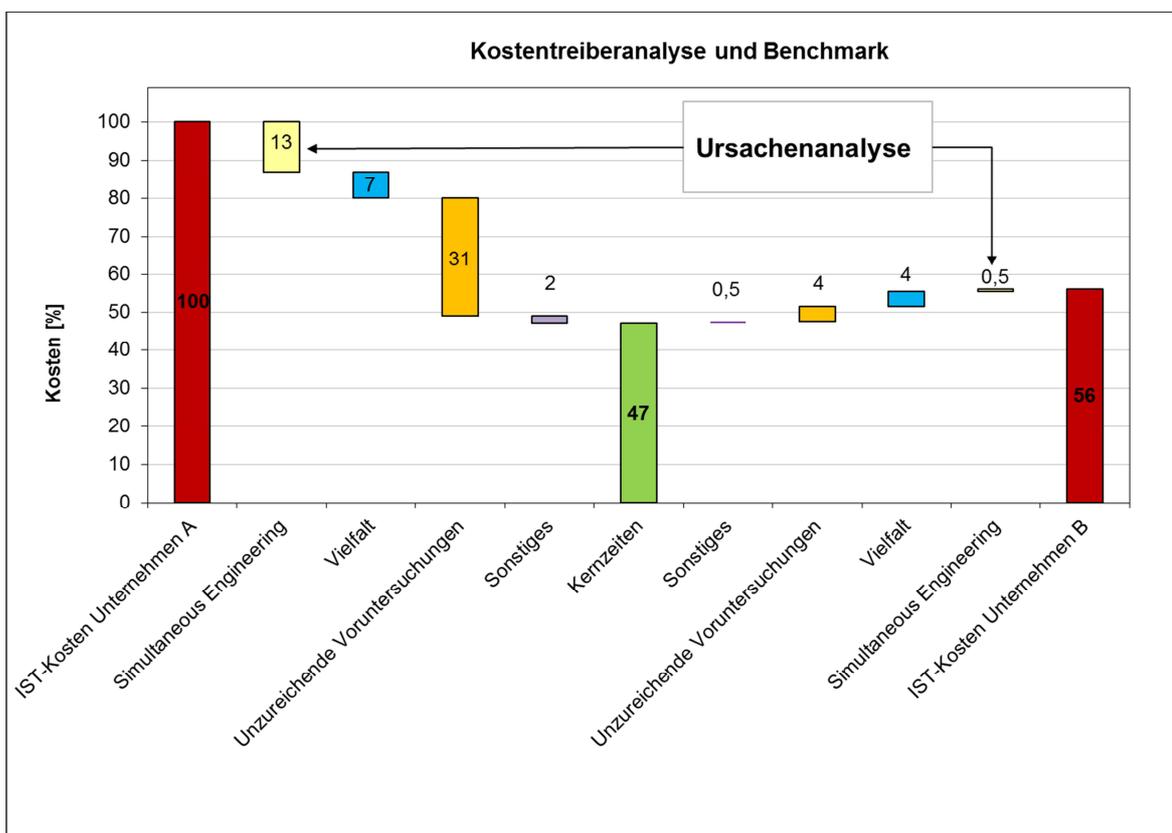


Abbildung 2.10: Kostentreiberanalyse und Benchmark⁴²

Um diese Untersuchung durchführen zu können, bedarf es einer Analyse der Kostenstrukturen und einer anschließenden Gegenüberstellung vergleichbarer Kostenblöcke. Dadurch können Differenzen zugeordnet und Schlüsse gezogen werden. Fehlende Informationen, bezüglich der Ursachen der Kostendifferenz, sind durch

⁴¹ Vgl. Jaberg (2007), Kap. 8-S. 3.

⁴² ebenda.

Interviews bzw. Gespräche mit zuständigen (Abteilungsleitern, Produktlinienleitern etc.) und involvierten Personen (ausführende Arbeiter) zu identifizieren und zuzuordnen.

2.2.5 Zeittreiberanalyse

Die Zeittreiberanalyse erfolgt analog zur Kostentreiberanalyse, allerdings werden Durchlaufzeiten verglichen. Einerseits wird dadurch das Ausmaß der Verschwendungen auch zeitlich erfasst und andererseits ist dies erforderlich, da sich die Kosten der identifizierten Ursachen auch aus unterschiedlichen Stundensätzen verschiedener Bearbeitungsschritte (Techniker, Projektleiter, Handwerker) zusammensetzen können.

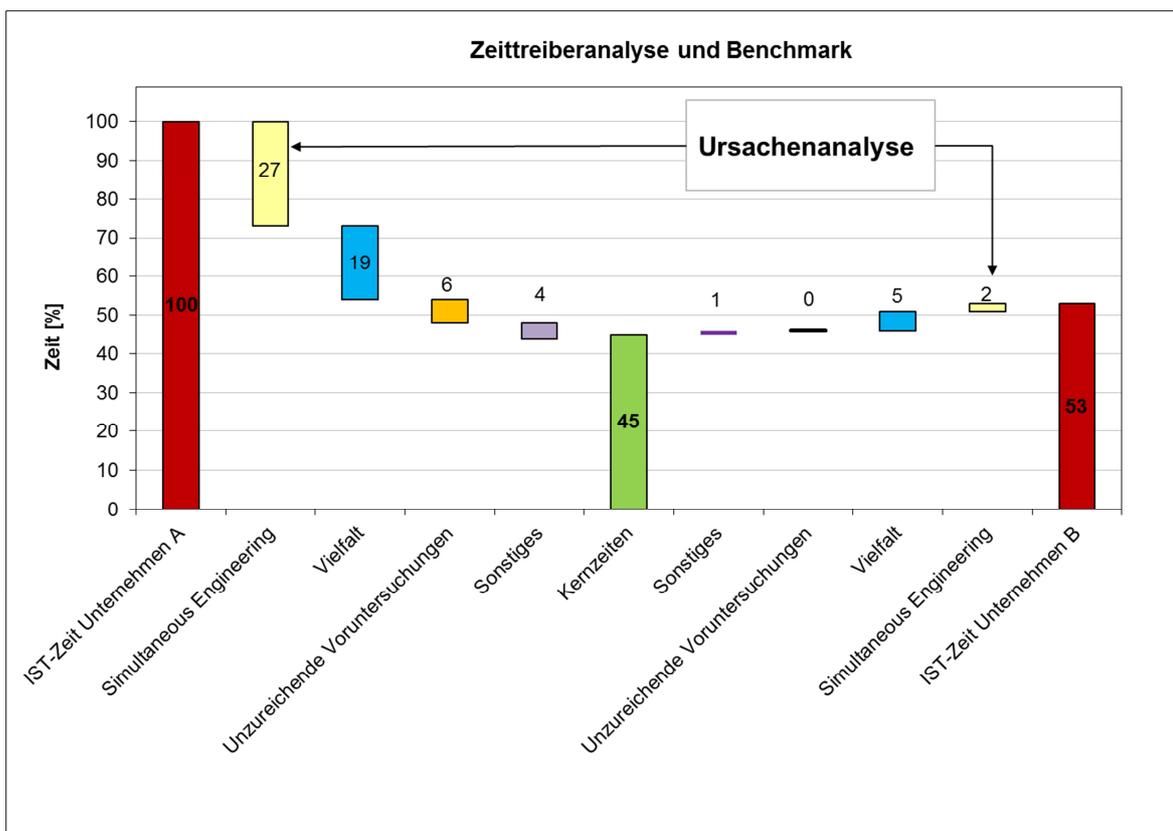


Abbildung 2.11: Zeittreiberanalyse und Benchmark⁴³

Analog zur Kostentreiberanalyse werden Arbeitszeiten gegenübergestellt und Ursachen identifiziert.

Am Ende der Kostentreiber- und Zeittreiberanalyse erfolgt die Ausarbeitung eines Maßnahmenkataloges. Dabei sollen alle identifizierten Ursachen mittels zugeordneter Empfehlungen behoben bzw. reduziert werden können.⁴⁴

⁴³ Vgl. Jaberg (2007), Kap. 8-S. 2.

⁴⁴ Vgl. ebenda.

2.2.6 Ishikawa-Diagramm

Diese Analysemethode zeigt Ursachen und deren Wirkungen in einer anschaulichen Darstellungsform. Aus diesem Grund wird dieses Diagramm oftmals auch als Ursachen-Wirkungs-Diagramm bezeichnet. Es können sowohl positive, als auch negative Einflussfaktoren eingetragen werden.⁴⁵ Wie nachfolgende Abbildung verdeutlicht, können Kategorien, Haupt- und Nebenursachen eingetragen werden.

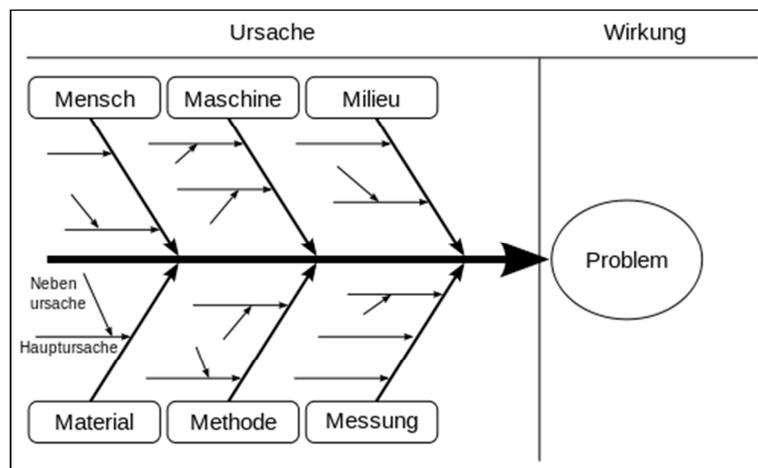


Abbildung 2.12: Ishikawa Diagramm⁴⁶

„Die 5-M-Methode ist eine Variante des Ishikawa-Diagramms zur Problemlösung mittels Ursachenerforschung. Das Ishikawa-Diagramm wird dabei vorstrukturiert mit den fünf Ursachenkategorien: ‘Man-Power’, ‘Method’, ‘Milieu’, ‘Matter’ und ‘Means’ (Mensch, Methode, Umfeld/Milieu, Material, Maschine/Mittel/Werkzeug). In der verkürzten Form wird ‘Umfeld/Milieu’ weggelassen, in ausführlicheren Formen werden weitere Ursachenkategorien wie ‘Messung’ oder ‘Management’ hinzugefügt. 5M Methode.“⁴⁷

2.2.7 Prozessmapping

Im Kontinuierlichen Verbesserungsprozess und Prozesskostenrechnung dient das Prozessmapping zur Darstellung von Prozessen und soll einerseits Transparenz schaffen und andererseits eine Identifikation der Mitarbeiter mit diesen Prozessen bewirken.

Es werden drei Kernprozesse einer Unternehmung unterschieden:⁴⁸

- Auftragsabwicklungsprozess
- Produktentstehungsprozess
- Strategieprozess

⁴⁵ Vgl. Wohinz (2010), Kap. 8-S. 25.

⁴⁶ Wikipedia.org (13.01.2012).

⁴⁷ Angermeier (13.01.2012).

⁴⁸ Kostka (2007), S. 86ff.

„Mapping bedeutet, etwas bis ins Detail strukturiert darzustellen. In einem Prozessmapping wird visuell zugeordnet, WER, WIE, WAS, WOMIT, WIE LANGE macht.“⁴⁹

Die LBC Consulting gliedert das methodische Prozessmapping in folgende zwölf Punkte:

Vorbereitung

1. Prozess auswählen
2. Prozess definieren
3. Vorhandene Daten über den Prozess zusammentragen
4. Ziele festlegen

IST-Prozess

5. IST-Prozess visualisieren
6. Durchlauf- und Bearbeitungszeiten ermitteln bzw. abschätzen
7. Problemschwerpunkte ermitteln Verbesserungen
8. Verbesserungspotenziale ermitteln
9. Verbesserungsideen sammeln
10. SOLL-Prozess visualisieren

Umsetzung

11. Maßnahmenplan erstellen und abarbeiten
12. Lösungsüberprüfung

Dabei ist bei der gewählten Darstellungsform der Erzeugnisgliederung der Konflikt zwischen „Überblick/Visualisierung“ und Zugriff auf „Merkmale/Bewertungen“ zu beachten.⁵⁰

2.2.8 Interviewtechniken

Da die Kostentreiber- und Zeittreiberanalyse unter anderem von Interviews abhängig ist, wurde die Einarbeitung in spezielle Interviewtechniken zwar überdacht, aber aufgrund der umfangreichen Aufgabenstellung auf ein Minimum beschränkt. Im Wesentlichen habe ich auf meine gesammelten Erfahrungen während zahlreicher Praktika in der Fertigung und Projektierung zurückgegriffen und durch Fragestellungen aus dem Skriptum „Value Management (2012)“ ergänzt. Nachfolgend sind prinzipielle Fragestellungen bzw. Vorgehensweisen zu den zwei Bereichen „Dienstleistungen“ und „Produktiver Bereich“ angeführt.

Dienstleistungen:

In Anlehnung an das Skriptum „Value Management“ werden unter dem Bereich Dienstleistungen all jene Tätigkeiten verstanden, die sich hauptsächlich durch Bürotätigkeiten kennzeichnen. Nachfolgende Interviewfragen zeigen beispielhaft das

⁴⁹ www.lbcconsulting.de (19.09.2012).

⁵⁰ Vgl. Franke (2002), S.65.

Grundmuster der Interviews im Bereich Konstruktion, Einbauplanung und Programmierung.

Interviewfragen⁵¹

- 1) Was sind vorhandene Vorschriften, Aufbau- und Ablaufpläne?
- 2) Nennen Sie die Abfolge des Arbeitsablaufes (Input, Output, Frequenz)?
- 3) Woher stammen die Daten der Auslegung (intern oder Heidenheim)?
- 4) Wie ist der Ablauf der Auslegung und Konstruktion (Skalieren, abhängige Zeichnungen, Parametrierung etc.)?
- 5) Nenne mind. 3 bis max. 10 Störquellen in der Konstruktion (exkl. EBP, ABW): Interne, Externe, durch festgelegtes Verfahren begründeter Art, Ausmaß der Störung, Häufigkeit der Störung, eventuelle Abhilfen
- 6) Bewertung der vier Kernprojekte:
 - Welche Gruppen gehören zur Einbauplanung und welche zur Konstruktion (Strukturbaum)?
 - Reihenfolge der Konstruktion und daraus gewonnene Kenntnisse?
 - Anzahl der Stunden für Auslegung bzw. Konstruktion?
 - Wie viele Versionen gibt es (Änderungen, Zeitaufwand)?
 - Was sind aus Ihrer Sicht die Ursachen für Unterschiede?
 - Warum wurde der Fehler nicht entdeckt?
 - Was sind die minimalen Zeiten die bei idealem Ablauf benötigt werden?
- 7) Ordnen Sie die Anzahl der Stunden mittels Strukturbaum zu.
- 8) Welche Tätigkeiten sind durchzuführen?
- 9) Gibt es Probleme bei der Kommunikation (intern, Abteilungsübergreifend)?
- 10) Entspricht die Betriebsmittelausstattung der vorhandenen Arbeitsaufgabe?
- 11) Sind Kenntnisse der Parametrierung vorhanden?
- 12) Können Sie sich eine bessere Arbeitssituation für die bestehende Arbeitsaufgabe vorstellen? Wie? Was?
- 13) Kann ein Standard-Arbeitsablauf gefunden werden, der zusätzliche Vorteile bringt?
- 14) Welche Komponenten müssen auf alle Fälle gezeichnet werden, welche sind „Nice to have“-Funktionen?
- 15) Wer bestimmt beispielsweise Dichtungstyp etc.?
- 16) Ist eine Beschau felung am Laufradboden denkbar?
- 17) Ist eine klare Linie bei der Projektabwicklung erkennbar?

Produzierender Bereich

Im produzierenden Bereich wurde ein bestimmtes Muster eingehalten. Dadurch konnte eine kritische Auseinandersetzung mit den definierten Problemfeldern (Abbildung 3.2) vorgenommen werden. Punkt 2.1), nachfolgender Vorgehensweise, war ursprünglich nicht vorgesehen, da es sich ausschließlich um eine Gegenüberstellung der vier Kernprojekte bzw. hinzugezogener Projekte (Kapitel 3.2) handeln sollte. Nicht vorhandene Daten

⁵¹ Vgl. Ramsauer (2012), Seite 87f.

(Montage) oder nicht eruierbare Ursachen (Werksmontage) veranlassten mich, diesen Schritt für einen Plausibilitätsvergleich durchzuführen.

Vorgehensweise

- 1) In ersten Gesprächen wurde der prinzipielle Ablauf jedes Kostenblocks ermittelt und anschließend visualisiert.
- 2) Anschließend wurden die befragten Personen zu Problemen in der Abwicklung der vier Kernprojekte bzw. hinzugezogener Projekte befragt und vorhandene Nacharbeitsprotokolle analysiert. Dabei sollten die Kosten bzw. die Dauer der Störungen abgeschätzt werden. Die Angaben erfolgten in Stunden, Prozent oder „Mann-Tagen“ u. Ä., abhängig von den Gegebenheiten.
 - 2.1) Aufgrund der Strukturdiagramme, Flussdiagramme und Ablaufpläne sollten befragte Personen Schätzungen zu einem optimalen Ablauf angeben. Diese Zeit soll unter normalen Bedingungen wiederholbar sein und keine außergewöhnliche Zeit, die beispielsweise unter extremem Lieferdruck etc. möglich ist, darstellen.
- 3) Es erfolgte die Auswertung der Ursachen und eine Kosten- bzw. Zeitzuordnung. Diese Werte wurden von vorhandenen Projekten abgezogen und die Kernkosten ermittelt.
- 4) Durch die Gegenüberstellung der Schätzungen aus Punkt 2.1 und der Auswertungen aus Punkt 3 wurde die Plausibilität dieser Schätzungen überprüft.
- 5) Falls die Schätzungen stark divergierten, wurden erneut Gespräche durchgeführt und versucht die Unterschiede zu begründen bzw. mit fehlenden Informationen zu ergänzen.
- 6) Zum Schluss wurden die Ergebnisse den befragten Personen vorgelegt, um mögliche Fehlinterpretationen zu verhindern.

2.3 Baureihenentwicklung

„Ein wesentliches Mittel zur Rationalisierung im Konstruktions- und Fertigungsbereich ist die Entwicklung von Baureihen.“⁵²

In diesem Kapitel werden die Grundlagen einer Baureihenentwicklung behandelt und mögliche Kostenabschätzungen erörtert.

Nach Pahl/Beitz ergeben sich folgende Vor- und Nachteile einer Baureihe.

Vorteile Hersteller:

- „Die konstruktive Arbeit wird für viele Anwendungsfälle nur einmal unter Ordnungsprinzipien geleistet.
- Die Fertigung wiederholt sich und wird dadurch wirtschaftlicher.
- Es ist eher eine hohe Qualität erreichbar.“

Nachteile Hersteller/Kunden:

- Eingeschränkte Größenwahl und dadurch nicht immer optimale Betriebseigenschaften.

⁵² Pahl (2007), S.629.

2.3.1 Grundbegriffe

Baureihe

„Unter einer Baureihe versteht man ein technisches Gebilde (Maschinen, Baugruppen oder Einzelteile), die dieselbe Funktion mit der gleichen Lösung, in mehreren Größenstufungen und in einem weiten Anwendungsbereich erfüllen.“

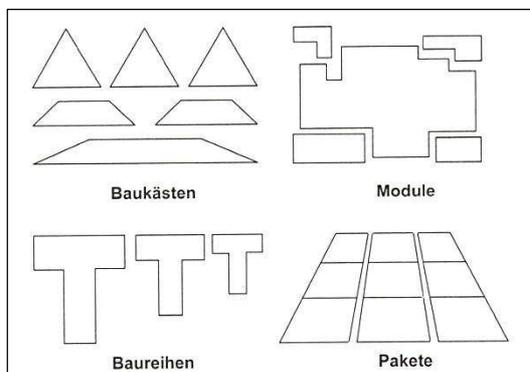


Abbildung 2.13: Produktstrukturierungsmöglichkeiten⁵³

Baukasten

„Unter einem Baukasten versteht man Maschinen, Baugruppen und Einzelteile die als Bausteine mit oft unterschiedlichen Lösungen durch Kombinationen entstehen und verschiedene Gesamtfunktionen erfüllen.“⁵⁴

2.3.2 Grundähnlichkeiten

„Von Ähnlichkeit wird gesprochen, wenn das Verhältnis mindestens einer physikalischen Größe beim Grundentwurf und bei den Folgeentwürfen konstant, d.h. invariabel, bleibt.“⁵⁵

Bei der geometrischen Ähnlichkeit („Storchschnabelkonstruktion“) bleibt beispielsweise das Verhältnis aller Längen zum Grundentwurf konstant. Der Stufensprung wird als Invariante bezeichnet und ist wie folgt definiert:⁵⁶

$$\varphi_L = \frac{L_1}{L_0} = \frac{\text{Abmessung des 1. Glieds in der Baureihe (Folgeentwurf)}}{\text{Abmessung des Grundentwurfs}}$$

Analoge Gesetzmäßigkeiten gelten für die zeitliche-, Kraft-, elektrische-, thermische und photometrische Ähnlichkeit.

Weitere wichtige Ähnlichkeiten sind die kinematische-, statische- (bezogen auf Kraft), dynamische- (bezogen auf Trägheitskraft, Trägheit/Reibungskraft in Flüssigkeiten und

⁵³ Schuh (2005), S.127.

⁵⁴ Grote (2011), F28.

⁵⁵ Pahl (2007), S. 630.

⁵⁶ Vgl. ebenda, S. 630.

Gasen) und thermische Ähnlichkeit (Wärmemenge). Bei hydraulischen Maschinen sind zudem die Kavitationskennzahl und die Druckziffer zu berücksichtigen.⁵⁷

2.3.3 Geometrisch ähnliche Baureihen

Baureihen die nach den Gesetzmäßigkeiten aus Abbildung 2.14 entwickelt werden und diese einhalten, nennt man geometrisch ähnliche Baureihen. Aufgrund eines konstanten Stufensprungs φ_L (Gerade im doppellogarithmischen Diagramm) und durch Berücksichtigung der Exponenten (Steigung der Geraden: 3:1, 2:1 etc.) der physikalischen Gesetzmäßigkeiten (Gewicht φ_L^3 , Kräfte und Leistung φ_L^2 etc.) kann ein Datenblatt mit wichtigen Informationen für Einkauf, Fertigung, Verkauf u.a., zur Verfügung gestellt werden, ohne dass eine Zeichnung in der Konstruktion erstellt werden muss. Zu berücksichtigen sind, dass Toleranzen und Passungen nicht ähnlich gestuft sind ($\varphi_{T/P} = \varphi_L^{1/3}$), Wandstärken nicht immer nach diesen Gesetzen ausführbar sind, Normen eingehalten werden müssen und stärkerer Abweichungen von der geometrischen Ähnlichkeit, aufgrund von anderen Anforderungen, auftreten können. Ist letzteres der Fall spricht man von einer halbähnlichen Baureihe.⁵⁸

Mit $Ca = \frac{\rho v^2}{E} = \text{const.}$ und bei gleichem Werkstoff, d. h. $\rho = E = \text{const.}$, wird $v = \text{const.}$	
Es ändern sich dann unter geometrischer Ähnlichkeit mit dem Stufensprung der Länge φ_L :	
Drehzahlen n, ω	φ_L^{-1}
Biege- und torsionskritische Drehzahlen n_{kr}, ω_{kr}	
Dehnungen ε , Spannungen σ , Flächenpressung p infolge Trägheits- und elast. Kräfte, Geschwindigkeit v	φ_L^0
Federsteifigkeiten c , elastische Verformungen Δl	φ_L^1
Infolge Schwerkraft: Dehnungen ε , Spannungen σ , Flächenpressungen p	
Kräfte F	φ_L^2
Leistung P	
Gewichte G , Drehmomente T , Torsionssteifigkeit c_t , Widerstandsmomente W, W_t	φ_L^3
Flächenträgheitsmoment I, I_t	φ_L^4
Massenträgheitsmomente θ	φ_L^5
Beachte: Werkstoffausnutzung und Istsicherheit sind nur dann konstant, wenn der Größeneinfluss auf die Werkstoffgrenzwert vernachlässigbar ist.	

Abbildung 2.14: Ähnlichkeitsbeziehungen⁵⁹

2.3.4 Halbähnliche Baureihen

Aufgrund von übergeordneter Ähnlichkeitsgesetzen (Schwerkraft, thermischer Einfluss etc.), Aufgabenstellungen (Zusammenhang Mensch und Maschine) und Forderungen wirtschaftlicherer Fertigung (Stufung der Komponenten), kann es zu Abweichungen von

⁵⁷ Vgl. Pahl (2007), S. 631f.

⁵⁸ Vgl. ebenda, S. 633ff.

⁵⁹ ebenda, S. 631.

dezimalgeometrischen Reihen kommen. Eine solche Baureihe wird als halbähnliche Baureihe bezeichnet.⁶⁰

2.3.5 Normzahlenreihen nach DIN 323

Eine Möglichkeit Größensprünge bei Baureihen zu wählen, ist die Stufung nach DIN 323. Es obliegt dem Entwickler der Baureihe, ob er die Stufensprünge nach Gefühl oder nach dieser Normreihe vornimmt.

R5	R10	R20	R40	R5	R10	R20	R40
1,00	1,00	1,00	1,00		3,15	3,15	3,15
			1,06				3,35
		1,12	1,12			3,55	3,55
			1,18				3,75
	1,25	1,25	1,25	4,00	4,00	4,00	4,00
			1,32				4,25
		1,40	1,40			4,50	4,50
			1,50				4,75
1,60	1,60	1,60	1,60		5,00	5,00	5,00
			1,70				5,30
		1,80	1,80			5,60	5,60
	2,00	2,00	2,00	6,30	6,30	6,30	6,30
			2,12				6,70
		2,24	2,24			7,10	7,10
			2,36				7,50
2,50	2,50	2,50	2,50		8,00	8,00	8,00
			2,65				8,50
		2,80	2,80			9,00	9,00
			3,00				9,50

Abbildung 2.15: Normzahlenreihe nach DIN 323 - Auszug⁶¹

Die Stufensprünge φ aus Abbildung 2.15 ergeben sich aus $\varphi = \sqrt[n]{10}$. Dabei ist n die Stufenzahl. Für 20 Stufen ist beispielsweise die Zahl 20 einzusetzen und diese Reihe wird als R20 bezeichnet. Bei einem Versuch eine Vervielfachung dieser Sprünge ($\varphi_n = \varphi_{n-1} * \sqrt[n]{10}$) vorzunehmen, wird man feststellen, dass es sich um gerundete Werte handelt. Notwendige Abweichung von der Normreihen sollte nicht zu willkürlich festgelegten Größen führen, sondern mittels geometrischen Mittelwerten ($\varphi_{1-2} = \sqrt{\varphi_1 * \varphi_2}$) realisiert werden.⁶²

Nachfolgendes Beispiel aus Pahl/Beitz zeigt eindrucksvoll, wie eine gefühlsmäßige Größenfestlegung, von Abdichtungsdurchmessern bei Ölabstreifringen, annähernd eine Geometrische Stufung andeutet (volle Linie). Zudem ist die willkürliche Festlegung der Durchmesser, mit nur geringen Unterschieden, ersichtlich. Eine Größenstufung nach der dezimalgeometrischen Normreihe R20 (gestrichelte Linie) zeigt hingegen, dass eine

⁶⁰ Pahl (2007), S. 645ff.

⁶¹ ebenda, S. 634.

⁶² Vgl. ebenda, S. 640.

deutliche geringere Variantenzahl, bei einer Konstruktion nach Normreihe, möglich gewesen wäre.

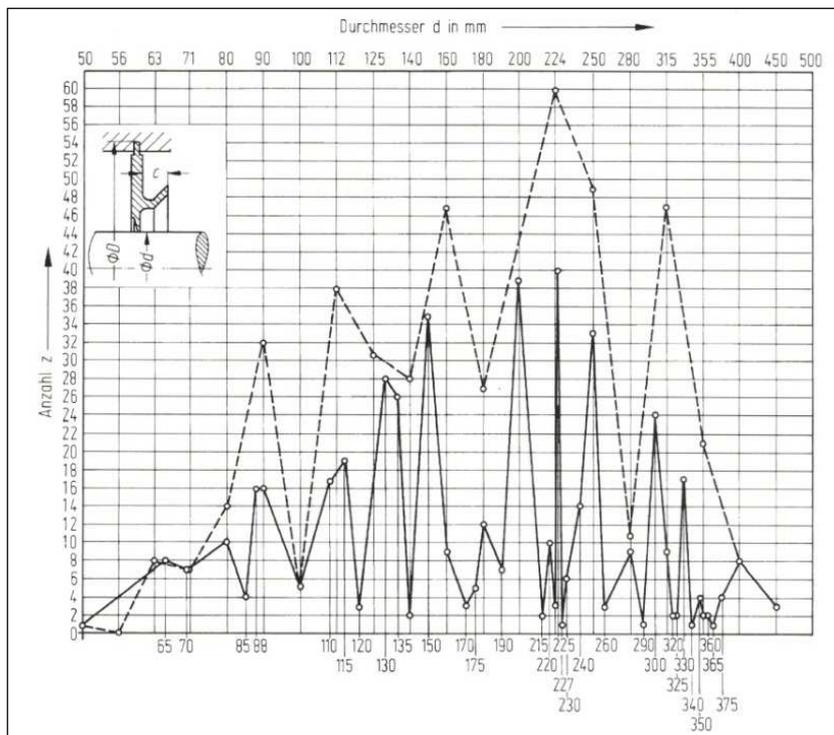


Abbildung 2.16: Anwendungsbeispiel Normreihe⁶³

2.3.6 Vorgehensweise der Baureihenentwicklung

Die Entwicklungsschritte einer Baureihe werden nach Pahl/Beitz geschildert:

- Erstellen eines Grundentwurfes. Entweder von einem bestehenden Produkt oder von einem Grundentwurf, der sich im Zuge einer beabsichtigten Baureihe ergibt.
- Bestimmen der physikalischen Abhängigkeiten (Exponenten⁶⁴) nach Ähnlichkeitsgesetzen bei geometrisch ähnlichen Baureihen. Bei halbähnlichen Baureihen mit Hilfe von Exponenten-Gleichungen. Erstellen eines Datenblattes.
- Festlegen der Größenstufungen und des Anwendungsbereiches. Vergleich der theoretischen Werte mit den realen Bedingungen (Normen, techn. Bedingungen). Falls notwendig erfolgt eine Anpassung der Werte.
- Maßstäbliche Entwürfe dienen der Überprüfung der Baureihe.
- Alle Datenblätter und Unterlagen werden verbessert und vervollständigt, falls diese weiterverwendet werden.

⁶³ Pahl/Beitz (2007), S. 635.

⁶⁴ Vgl. ebenda, S. 633.

2.3.7 Grundstrukturen Baureihen

Nachfolgende Abbildung zeigt das Auswahlkennfeld einer Spiralgehäusepumpen-Baureihe der Firma KSB. Die Konstruktion von Radialpumpen ist vergleichbar zu Francis Turbinen. Einerseits wird daraus ersichtlich, dass sich Baureihen in der Pumpenindustrie längst etabliert haben und andererseits kann daraus geschlossen werden, dass auch die dazugehörigen Komponenten mittels Größenstufungen festgelegte Sprünge erfahren.

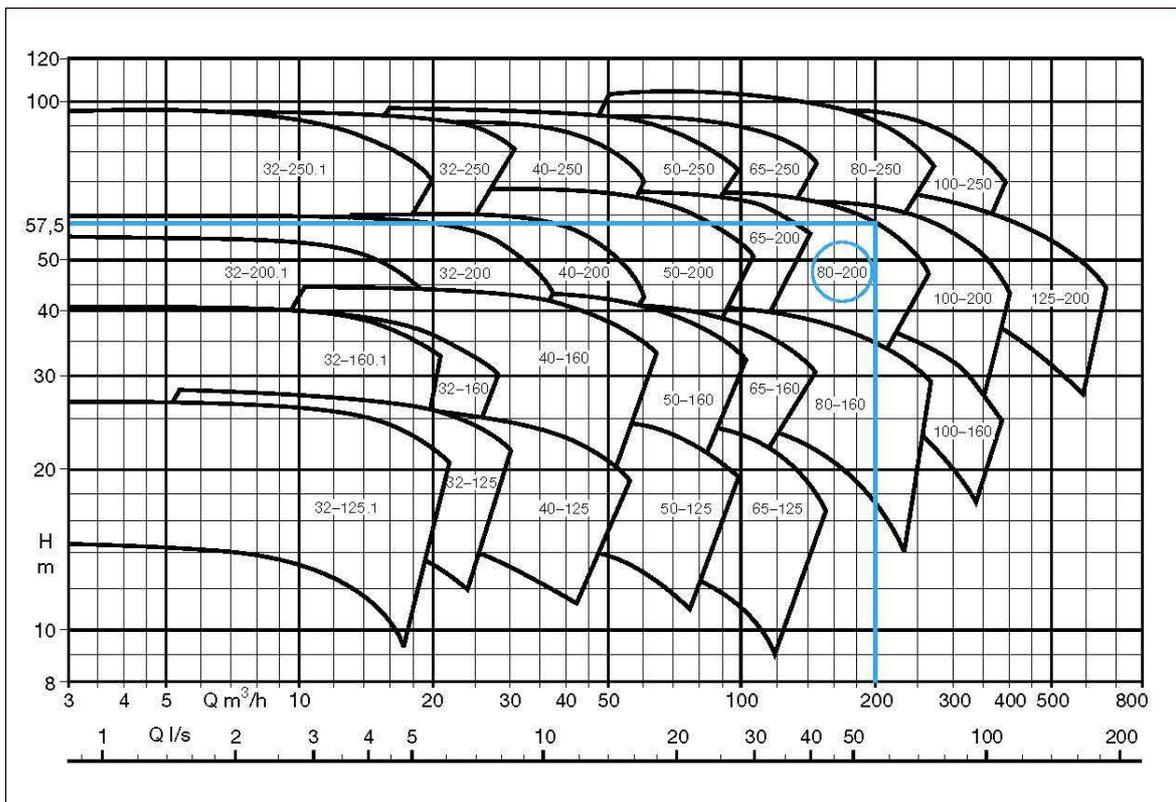


Abbildung 2.17: Auswahlkennfeld einer Spiralgehäusepumpen-Baureihe⁶⁵

⁶⁵ KSB (2005), S. 27.

3 Analyse der Kostenstruktur

In diesem Kapitel wird zuerst die Kostenstruktur des Referenzkraftwerks Nasswald aufgearbeitet. Diese Daten waren nach sieben Tagen die Gesprächsgrundlage⁶⁶ für erste Einschätzungen und mögliche Optimierungspotentiale. Anschließend erfolgen eine Gegenüberstellung ausgewählter Projekte, ein Kostenvergleich der Laufräder und eine Aufarbeitung der Kostenstruktur des Leitapparates. Aufgrund der Bewertung dieser Auswertungen wird das Konzept für die weitere Vorgehensweise der Diplomarbeit beschrieben.

3.1 Referenzkraftwerk Nasswald

Zu Beginn der Arbeit wurde von der Firma Kössler eine Kostenstruktur der Referenzkraftwerk Nasswald (RKW Nasswald) zur Verfügung gestellt. Diese Kostenstruktur wurde als interner Benchmark für *ECO Line* Francis Anlagen definiert und diente als Beurteilungsgrundlage der Kostenreduzierungsmaßnahmen, seitens der Firma Kössler (vgl. Kapitel 1.1). Da bei diesem Projekt, wie auch bei allen bisher ausgeführten Voith Anlagen⁶⁷ im Leitungsbereich bis 1500 kW, nicht alle Kostenblöcke angefallen sind, wurden diese durch fiktive Kosten ergänzt. Um eine allgemein gültige Kostenstruktur zu erhalten, wurden Kostenüberschreitungen aufgrund außergewöhnlicher bzw. einmaliger Ereignisse berichtigt. Somit ergibt sich die Kostenstruktur in Abbildung 3.1, die einerseits alle Kosten beinhaltet und andererseits einen möglichst fehlerfreien, aber realisierbaren Fertigungsablauf als Grundlage hat. Die Prozentsätze der Fertigungs- und Materialkosten beziehen sich auf die Herstellkosten des RKW Nasswald.

⁶⁶ Ing. Josef Lampl, MBA, Ing. Robert Doppler, Dipl. Ing. Erwin Franz, Georg Sailer.

⁶⁷ Seit 2008 werden bei Francis Anlagen Voith Geometrien verwendet.

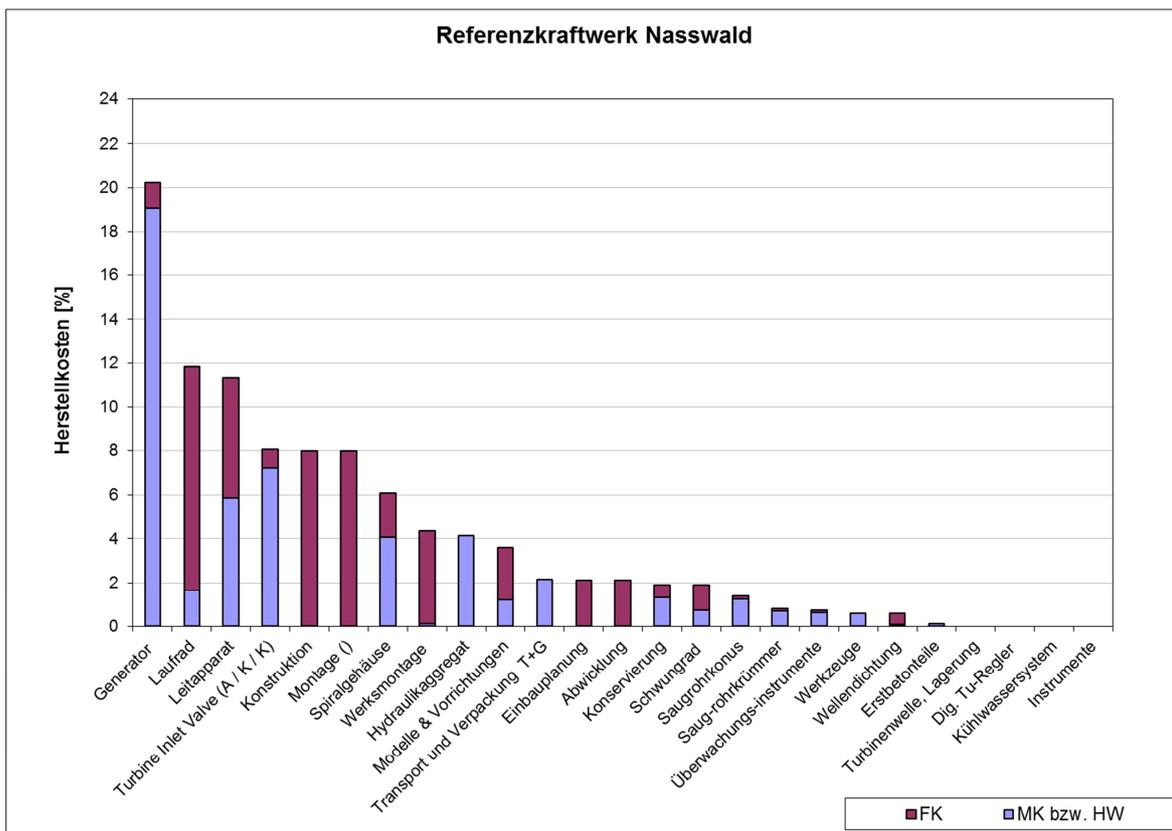


Abbildung 3.1: Kostenstruktur Referenzkraftwerk Nasswald

Auf der Ordinate sind die Herstellkosten ersichtlich. Dabei sind in Rot die Fertigungskosten und in Blau die Materialkosten (MK) bzw. Zukaufteile (HW) dargestellt. Es sind bei allen Kosten die Gemeinkosten inkludiert. Die Kostenblöcke der Abszisse wurden der Abrechnungsaufschlüsselung entnommen und die Materialkosten, Fertigungskosten und Handelswaren wurden wie in der Abrechnung von Kössler behandelt. Die Darstellung in Material und Fertigungskosten hat den Zweck, den Einflussbereich der Verbesserungsmaßnahmen abschätzen zu können.

Komponenten mit hohem Materialkostenanteil und Komponenten mit hohem Handelswarenanteil (HW) werden mit hoher Wahrscheinlichkeit schwieriger zu beeinflussen sein, als Kostenblöcke mit hohem Fertigungsanteil. Die Kostenblöcke Laufrad, Leitapparat, Konstruktion, Montage, Werksmontage, Einbauplanung und Abwicklung weisen hohe Fertigungskostenanteile auf, d.h. es handelt sich um Bereiche die ausschließlich durch interne Prozesse beeinflusst werden und daher unter Umständen leichter beeinflussbar sind.

Um die wesentlichen Kostenblöcke identifizieren zu können, wurde eine ABC-Analyse durchgeführt.

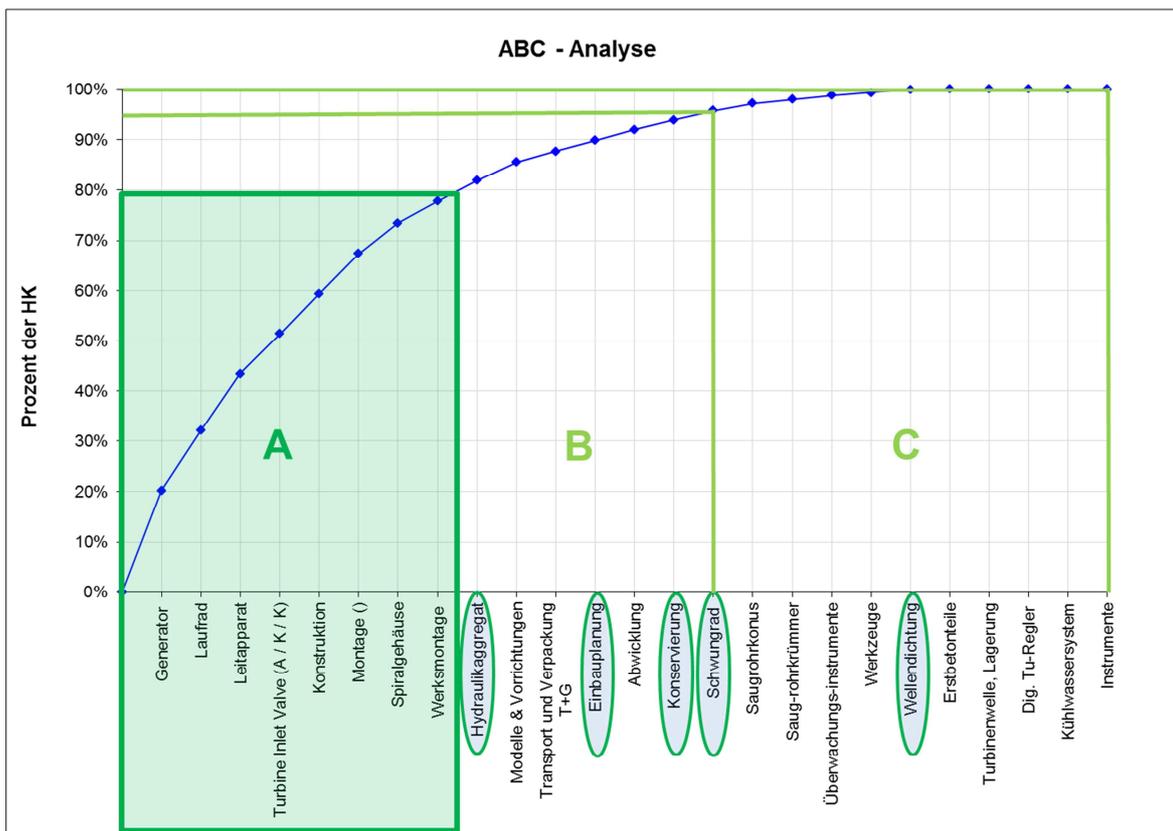


Abbildung 3.2: ABC-Analyse Referenzkraftwerk Nasswald

Der Untersuchungsbereich wird aufgrund dieser ABC-Analyse eingeschränkt. Dabei ist das wesentliche Handlungsfeld der Diplomarbeit der Bereich der A-Komponenten. Wie aus Abbildung 3.2 ersichtlich ist, sind die Blöcke Hydraulikaggregat, Einbauplanung, Konservierung, Schwungrad und Wellendichtung ebenfalls markiert. Da der Kostenblock Turbine Inlet Valve (TIV) ein reines Zukaufteil ist, und die Untersuchungen der Firma Kössler bereits eine Lösung mit Kostenvorteilen ergeben haben, werden diese Kosten, auf Wunsch der Firma Kössler, nicht analysiert. Stattdessen sollen das Hydraulikaggregat und die Konservierung auf Alternativen untersucht werden. Zudem soll speziell die Konstruktion auf Optimierungspotentiale, wie einer möglichen Parametrierung und die Auswirkung des eingeführten Baukastensystems, untersucht werden. Bei der Einbauplanung, dem Schwungrad und der Wellendichtung, sind meinerseits mögliche Potentiale gesichtet worden und wurden deshalb ebenfalls markiert. Bei letzteren zwei kann bereits vorweg gesagt werden, dass aufgrund der geringen Kostenanteile dieser Komponenten und der durchgeführten Baureihenentwicklung in Kapitel 5 keine Untersuchungen mehr vorgenommen wurden.

Zusammengefasst bedeutete dies, dass die Kostenblöcke

- Generator,
- Laufrad,
- Leitapparat,

- Konstruktion,
- Montage,
- Spiralgehäuse,
- Werksmontage,
- Hydraulikaggregat,
- Einbauplanung und
- Konservierung

Gegenstände der Untersuchungen sind.

Mit zirka 20 Prozent der Herstellkosten, ist der Generator der größte Kostenblock. Generatoren sind aufgrund der Philosophie von Kössler, kundenspezifische Anlagen zu planen, immer Sonderanfertigungen. Diese Kosten werden daher nur schwer zu beeinflussen bzw. nur durch eine generelle Definition der Generatorkomponenten (wie in den Voruntersuchungen der Firma Kössler), durch alternative Generatorkonzepte oder durch die Erhöhung der Stückzahl, infolge einer Baureihenentwicklung, in den Griff zu bekommen sein. Mit den Blöcken Laufrad, Konstruktion, Montage, Werksmontage und Einbauplanung befinden sich fünf von sechs Komponenten mit ausschließlich Fertigungskosten im Untersuchungsbereich. Zudem ist der Leitapparat, mit den meisten Komponenten der Anlage und einem hohen Anteil an Eigenfertigung, ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen. Bei den Komponenten Spiralgehäuse, Hydraulikaggregat und Konservierung sind, wie beim Generator, keine großen Kostensenkungen zu erwarten. Das Spiralgehäuse wird konstruiert und anschließend an einen Lohnfertiger vergeben. Anschließend erfolgen noch letzte Bearbeitungen im Haus und es erfolgt die Konservierung. Beim Hydraulikaggregat ruhen die Erwartungen auf einem alternativen Antrieb mit Elektrozyylinder oder Ähnlichem. Dabei müssen die wesentlichen Anforderungen, wie regulierbare Schließzeit (Druckstoß) und die Notschlusstauglichkeit (Störungen wie Stromausfall etc.), erfüllt werden. Bei den Kosten der Konservierung sind die Kosten für Beschichtung des Turbinen- und Leitraddeckels nicht inkludiert. Diese sind auf den Kostenblock Leitapparat verbucht. Die Einsparungen der Variante 2 im Vergleich zu Variante 1 (vgl. Kapitel 1.1) wurden allerdings in diesem Bereich erzielt.

Das Kraftwerk Nasswald liefert eine Turbinenleistung von 392 kW mit einem Laufradeintrittsdurchmesser D_{1a} von 520 Millimetern. Somit befindet sich dieses Projekt im unteren Bereich des definierten Leistungsbereichs und im Mittelfeld des definierten Durchmesserbereichs (siehe Kapitel 1.2).

Da sich nicht alle in Betracht kommenden Maßnahmen über den gesamten Leistungs- bzw. Durchmesserbereich für technisch und ökonomisch sinnvoll erweisen müssen, ist es für mich entscheidend, das Kostenverhalten der Francis Anlagen für diese vordefinierten Bereiche zu kennen. Daher wird im folgenden Kapitel eine Auswahl von Projekten vorgenommen und in den Folgekapiteln die Kostenstruktur aufgearbeitet.

3.2 Auswahl vergleichbarer Anlagen

Durch den Wechsel der Geometrien im Jahr 2008, der Einführung neuer Fertigungsverfahren und der dadurch relativ schwer einschätzbaren Kosten, habe ich mich dazu entschlossen, ausschließlich abgerechnete Projekte zu vergleichen. Dadurch erwarte ich mir ein reales Bild des Kostenverhaltens. Daher wurde aus allen bisher abgewickelten Projekten, im *ECO Line* Bereich, nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Abrechnung vorhanden
- Höchste Leistung
- Mittlere Leistung
- Niedrigste Leistung
- Größter Durchmesser
- Mittlerer Durchmesser
- Kleinster Durchmesser

Kennwort [-]	Laufradfertigung [-]	Jahr [-]	Land [-]	Anzahl [#]	Type [-]	D_{1a} [mm]	n_{qopt} [min ⁻¹]	H [m]	Q [m ³]	n_{Turb} [min ⁻¹]	P_{Turb} [kW]
Capra 5 Unit 2	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	540	38	68	900	1.000	549
Capra 5 Unit 1	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	560	53	66	1.800	1.000	1.081
Capra 4 Unit 2	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	470	32	110	737	1.500	714
Capra 4 Unit 1	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	690	32	108	1.473	1.000	1.410
Oberlaussa II	Fräsen - ein Rohling	2011	Österreich	1	FSH	380	64	55	1.000	1.500	493
Rukarara	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Ruanda	2	FSVc	670	64	44	2.800	750	1.109
Blaichach	Gepresst	2010	Deutschland	1	FSVc	610	32	102	1.000	1.000	912
Pilgersteg T2	Fräsen - zwei Rohlinge	2010	Schweiz	1	FSHc	400	32	42	300	1.000	112
Pilgersteg T1	Gepresst, Ronde	2010	Schweiz	1	FSHc	540	49	41	1.200	750	451
Wanghof	Gepresst, Ronde	2010	Österreich	1	FSHc	510	64	27	1.100	750	272
Cinar 1	Gepresst	2010	Türkei	1	FSHc	610	53	65	2.250	1.000	1.326
Breinig	Fräsen - zwei Rohlinge	2010	Deutschland	1	FSHc	400	38	71	500	1.500	321
Shanyin	Gepresst	2009	Ungarn	2	FSHc	900	80	25	4.706	425	905
Nasswald	Gepresst	2008	Austria	1	FSHc	520	49	45	1.140	750	392

Tabelle 3.1: Projekte im Zeitraum 2008 bis 2012

Bei den Projekten Capra, Blaichach und Rukarara sind ausschließlich Kalkulationen vorhanden, da sich diese Projekte in der Fertigung befinden. Zudem handelt es sich bei diesen Projekten um vertikale Ausführungen. Beim Projekt Shanyin handelt es sich um eine Sonderanlage in einem Kühlprozess eines thermischen Kraftwerks und eignet sich daher nicht für einen Vergleich. Das Projekt Oberlaussa 2 beinhaltet nur ein Ersatzlaufrad.

Somit stehen die Projekte Nasswald (mittlerer Durchmesser), Breinig, Wanghof (niedrigste Leistung) und Cinar 1 (höchste Leistung) für einen Vergleich zur Verfügung und sind die Kernprojekte dieser Diplomarbeit.

Die Projekte Shanyin (größter Durchmesser) und Oberlaussa 2 (kleinster Durchmesser, mittlere Leistung), eignen sich zwar nicht für einen Projektvergleich, können aber sehr wohl für einen Vergleich der Laufradfertigung (Kapitel 4.1) herangezogen werden. Somit

sind alle Auswahlkriterien erfüllt und ein direkter Vergleich der Projekte kann erfolgen. Eine Berücksichtigung der Länder wird in diesem Kapitel nicht vorgenommen, da laut Angaben des Verkaufs nur geringe Abweichungen, die auch durch unterschiedliche Kundenspezifikationen entstehen können, zu erwarten sind.

3.3 KW Nasswald

In Abbildung 3.3 kann man erkennen, dass das KW Nasswald eine hohe Übereinstimmung zum RKW Nasswald aufweist. Allerdings werden einige Kostenabweichungen zu den fiktiven Kosten erkennbar.

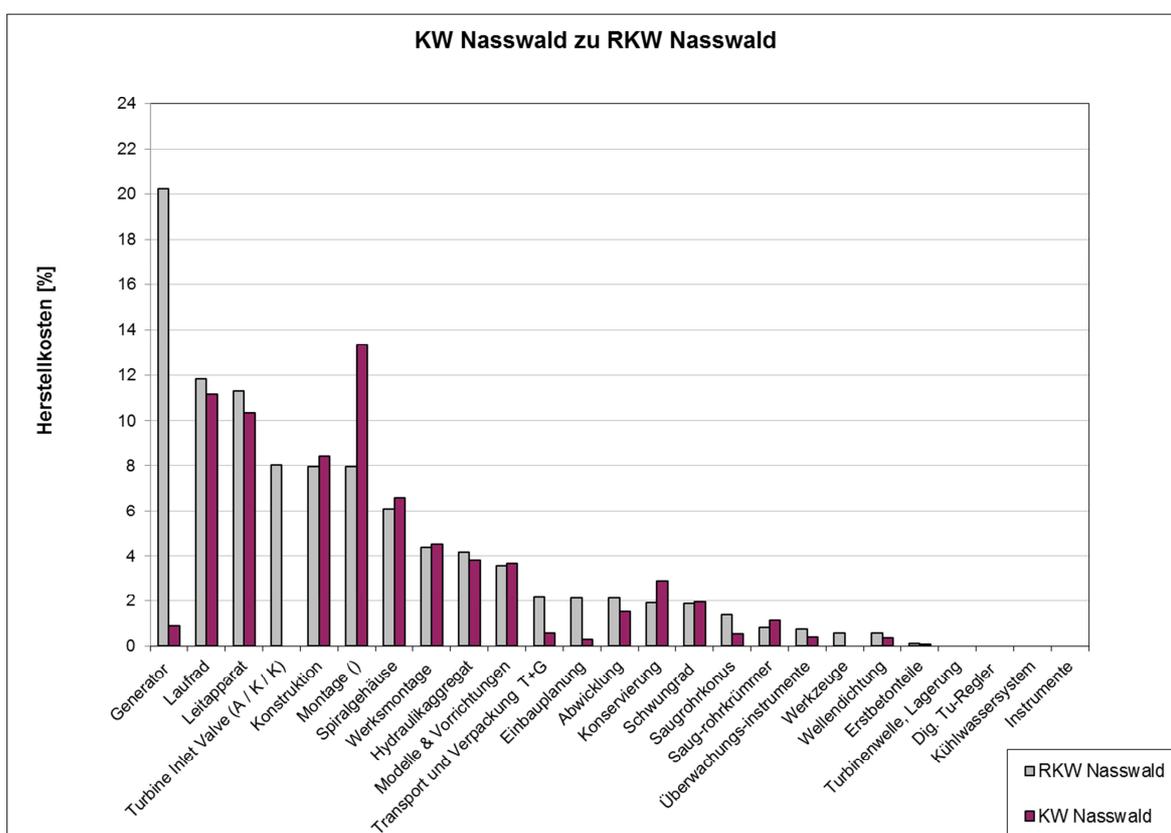


Abbildung 3.3: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Nasswald

Interessanterweise fallen bei der Montage um zirka 60 Prozent höhere Kosten an, als dies aus dem RKW Nasswald zu erwarten war. Der Block Transport und Verpackung und die Einbauplanung sind laut dieser Gegenüberstellung mit weit geringerem Budget erreichbar. Die Konservierungskosten des RKW fallen wohl zu optimistisch aus. Bei den Kosten des Kostenblocks Generator handelt es sich um die Kosten des Generatorgrundrahmens. Dieser wird bei dem Generatorlieferant dieses Projekts nicht mitgeliefert, muss daher konstruiert und gefertigt werden, d.h. es werden zwei Kostenblöcke belastet. Auf diese Erkenntnis wird in Kapitel 4.2 noch näher eingegangen.

3.4 KW Breinig

Beim KW Breinig sind keine Kosten in den Blöcken Generator, Hydraulikaggregat, Transport und Verpackung, Schwungrad und Saugrohrkrümmer angefallen. Aus der Gegenüberstellung in Abbildung 3.4 werden die Kostenverhältnisse, im Vergleich zu RKW Nasswald ersichtlich.

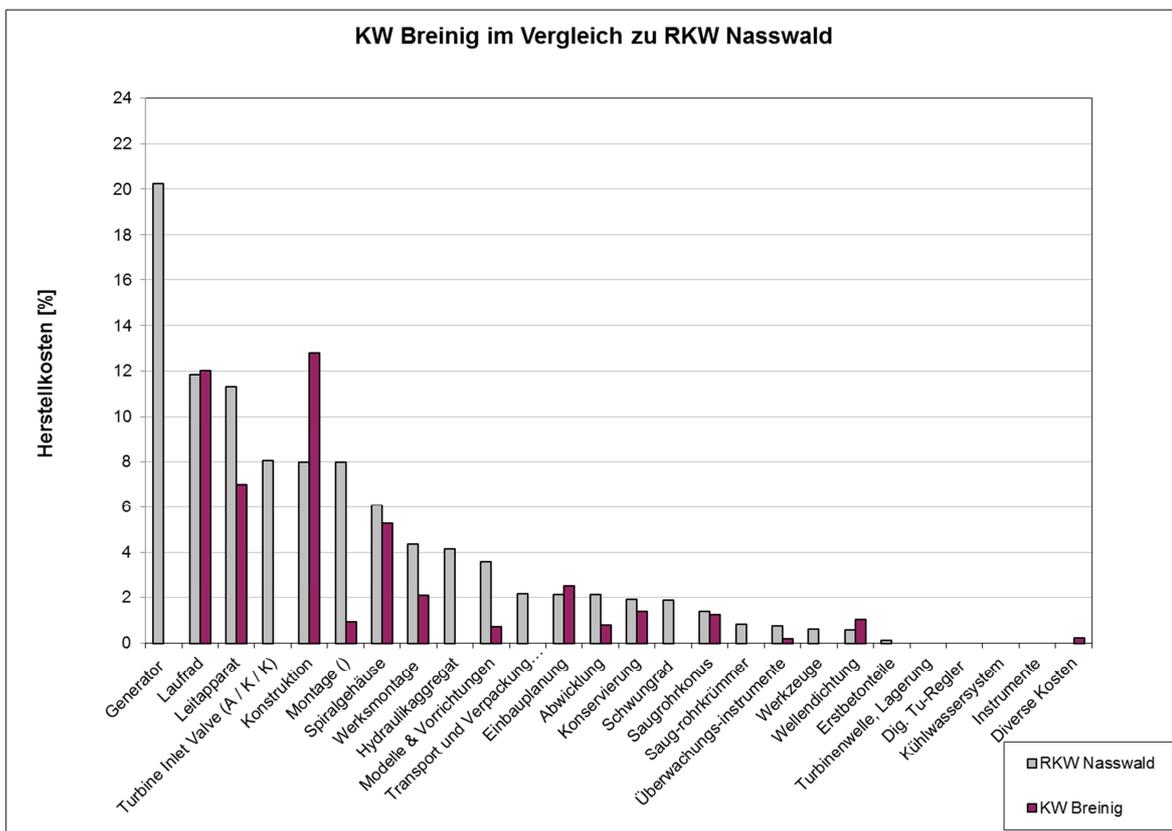


Abbildung 3.4: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Breinig

Die Konstruktionskosten liegen mit einer Erhöhung von zirka 60 Prozent weit über den Kosten des RKW und KW Nasswald. Die Montagekosten sind um fast 90 Prozent geringer ausgefallen, als dies im RKW Nasswald dargestellt ist. Wie aus Kapitel 4.3 ersichtlich ist, lässt sich dieses Phänomen sehr einfach erklären. Dies war aber bis zur Vorstellung der Zwischenergebnisse nicht bekannt und wird aus diesem Grund auch als Ausreißer dokumentiert. Interessanterweise war es möglich, die Werksmontage und Abwicklung in fast der halben Zeit abzuwickeln. KW Breinig baut mit einem Eintrittsdurchmesser von 400 Millimeter um 120 Millimeter kleiner als KW Nasswald. Diese Gegebenheit scheint sich beträchtlich auf die Kosten Leitapparat auszuwirken. Mit knapp 40 Prozent geringeren Kosten, im Vergleich zu RKW Nasswald, ist ein deutlicher Kostensprung zu erwarten.

3.5 KW Wanghof

KW Wanghof überrascht durch seine erhöhten Kosten in fast allen Bereichen. Schließlich ist diese Größe mit KW Nasswald vergleichbar.

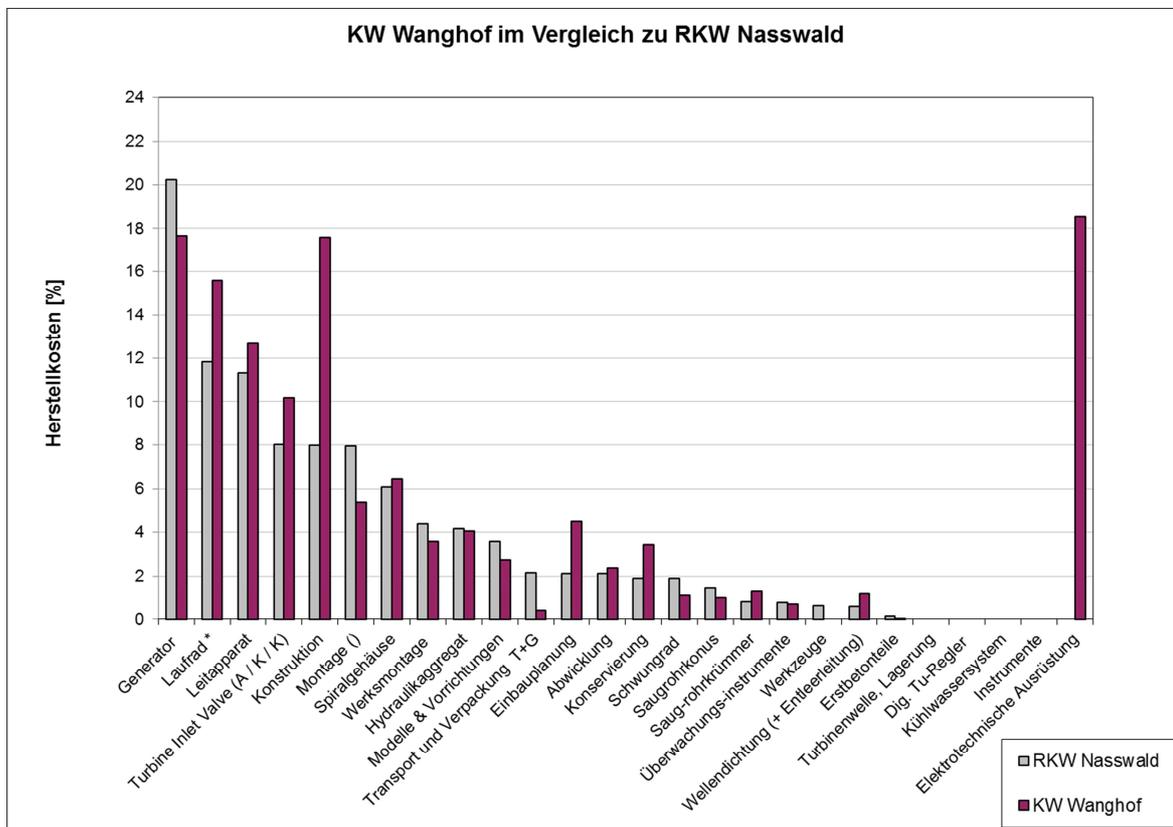


Abbildung 3.5: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Wanghof

Das Zeichen „*“ beim Kostenblock Laufrad deutet auf berichtigte Zusatzkosten hin. Es handelt sich dabei um Kosten für eine Nacharbeit, die aufgrund der neuen Geometrie entstanden sind und daher lt. Geschäftsführung nicht berücksichtigt werden sollen. Auf diese Gegebenheit wird in der Kostentreiberanalyse der Laufräder noch gesondert eingegangen. In diesem Kapitel sind diese Kosten berichtigt, d.h. die Nacharbeit ist nicht inkludiert. Der Leitapparat übersteigt die Referenzkosten um zirka 10 Prozent, obwohl keine Unterschiede im Lagerungskonzept o. Ä. bestehen. Mit einer Steigerung der Konstruktionszeit um zirka 120 Prozent und der Steigerung der Planungszeit in der Einbauplanung von 110 Prozent sind zwei Ausreißer besonders markant. Zudem zeigt auch die Konservierung einen deutlichen Anstieg gegenüber dem Referenzwert. Bei der Wellendichtung ist in diesem Projekt eine Entleerungsleitung (DN 100 / PN 6) inkludiert. Die Montage ist hingegen um 30 Prozent und die Werksmontage um zirka 20 Prozent geringer als beim RFW Nasswald. Auf eine Berücksichtigung der Elektromechanischen Ausrüstung wird verzichtet, da diese in der Regel nicht zum Lieferumfang dazugehört.

3.6 KW Cinar 1

Wie bereits bei KW Wanghof sind hier klare Preissteigerungen gegenüber den Projekten Nasswald und Breinig erkennbar. Als einziges der vier Projekte weist KW Cinar 1 Kosten beim Kostenblock Digitaler Turbinenregler und Kühlwassersystem auf. Letzteres lässt auf ein anderes Kühlprinzip des Generators schließen.

Dies wurde bei den Optimierungsmöglichkeiten von Variante 1 (vgl. Kapitel 1.1) berücksichtigt und eine klare Definition vorgegeben, die ausschließlich luftgekühlte Generatoren für *ECO Line* Anlagen vorsieht. Beim Digitalen Turbinen Regler gilt dieselbe Herangehensweise wie bei der Elektromechanischen Ausrüstung des KW Wanghof.

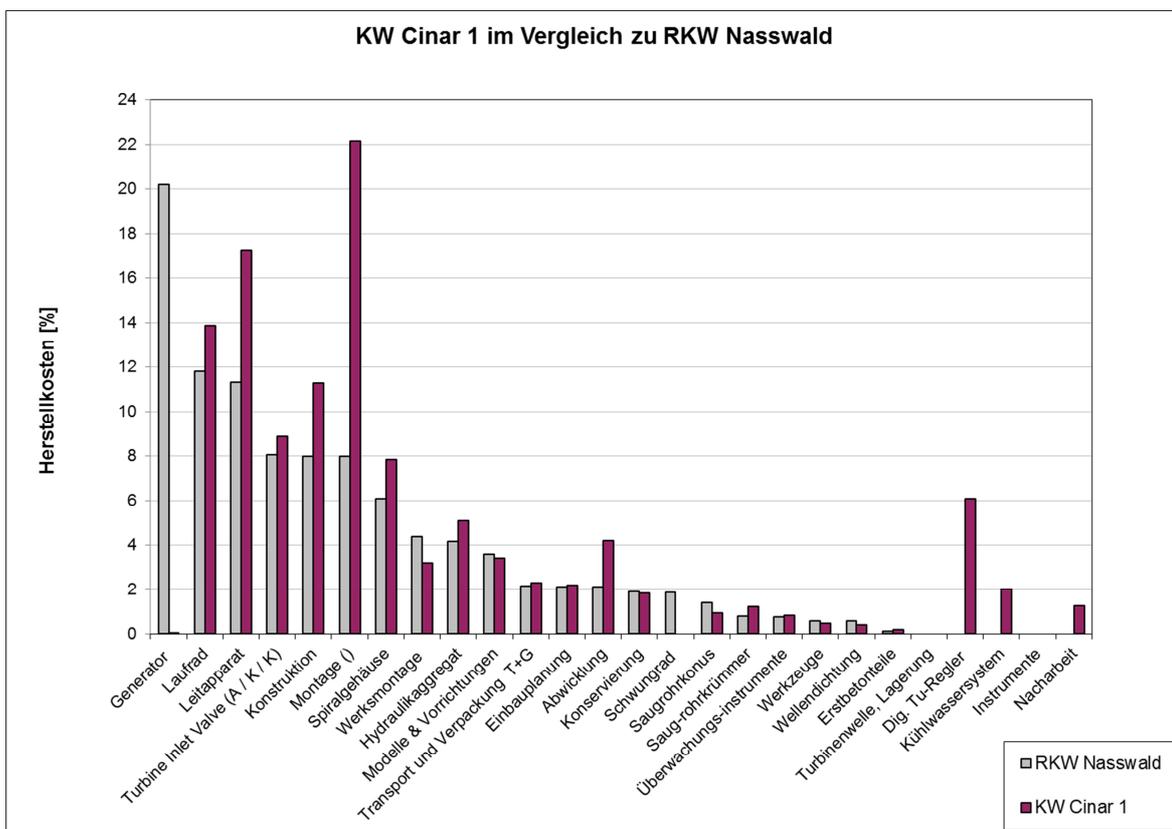


Abbildung 3.6: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Cinar 1

Auf den ersten Blick schließt man bei den Abweichungen von Cinar 1 auf die hohe Turbinenleistung. Bei einer genaueren Betrachtung muss man aber feststellen, dass die Laufräder der Projekte Nasswald, Wanghof und Cinar 1 vergleichbare Größen aufweisen und daher auch keine wesentlich höheren Kosten für diesen Bereich aufscheinen sollten. Bei allen anderen Komponenten die durch den größeren Laufraddurchmesser von 90 Millimeter ebenfalls größer bauen (Spirale, Turbinendeckel u. Ä.), sind leichte Kostenzuwächse legitim. Die Kosten der Konstruktion, der Montage und der Abwicklung sind prinzipiell größenunabhängig. Geringe Abweichungen durch das Kühlwassersystem sind in der Montage zu erwarten, aber die hohe Abweichung aus Abbildung 3.6 sind dadurch, wie die Untersuchungen aus Kapitel 4.3 zeigen, sicher nicht zu erklären. Dass das Kühlwassersystem auch die Konstruktion betrifft, war zu diesem Zeitpunkt nicht zu

erwarten, da ich davon ausgegangen bin, dass diese Komponente im Lieferumfang des Generatorherstellers inkludiert ist. In der Kostentreiberanalyse Konstruktion wird darauf noch näher eingegangen.

3.7 Laufräder

Bei den nachfolgenden Kosten der Laufräder Breinig und Oberlaussa 2 handelte es sich zum Zeitpunkt der Untersuchung um Vorabzüge der Abrechnungen. Fehlende Zeiten und Kosten wurden durch Mitarbeiter der Firma Kössler geschätzt und ergänzt. Um die Nachvollziehbarkeit der Interpretation und Überlegungen aus diesem Kapitel zu gewährleisten, werden diese Werte erst in Kapitel 4 gegen tatsächlich angefallene Kosten ersetzt.

Die Einführung neuer Herstellmethoden in der Laufradfertigung (vgl. Kapitel 4.1.2) bringt ein wesentliches Problem mit sich. Die ökonomischen Fertigungsgrenzen sind im Gegensatz zu den technischen Fertigungsgrenzen nicht bekannt und daher ist es das Ziel, mögliche Grenzen für den wirtschaftlichen Einsatz dieser Fertigungsmethoden zu entwickeln.⁶⁸ Aus diesem Grund und um einen direkten Vergleich einer wesentlichen Komponente, dem Laufrad, zu ermöglichen, wird in Abbildung 3.7 ein Vergleich der vier Kernprojekte, des Laufrades Oberlaussa 2 und dessen fiktiven Laufrädern Oberlaussa II A und Oberlaussa II B durchgeführt. Auf der Ordinate ist der prozentuelle Anteil an den Herstellkosten der Laufräder, bezogen auf das Projekt Oberlaussa 2, dargestellt. Oberlaussa 2 wurde erstmals aus einem Rohling und Breinig erstmals aus zwei Rohlingen gefräst. Daher müssen sie als Prototyp für diese Herstellverfahren gesehen werden. Das Ausmaß und die Folgen dieser Tatsache wurden allerdings erst in Kapitel 4.1 erfasst.

⁶⁸ Vgl. „Kick Off Meeting“, am 09. Jänner 2012.

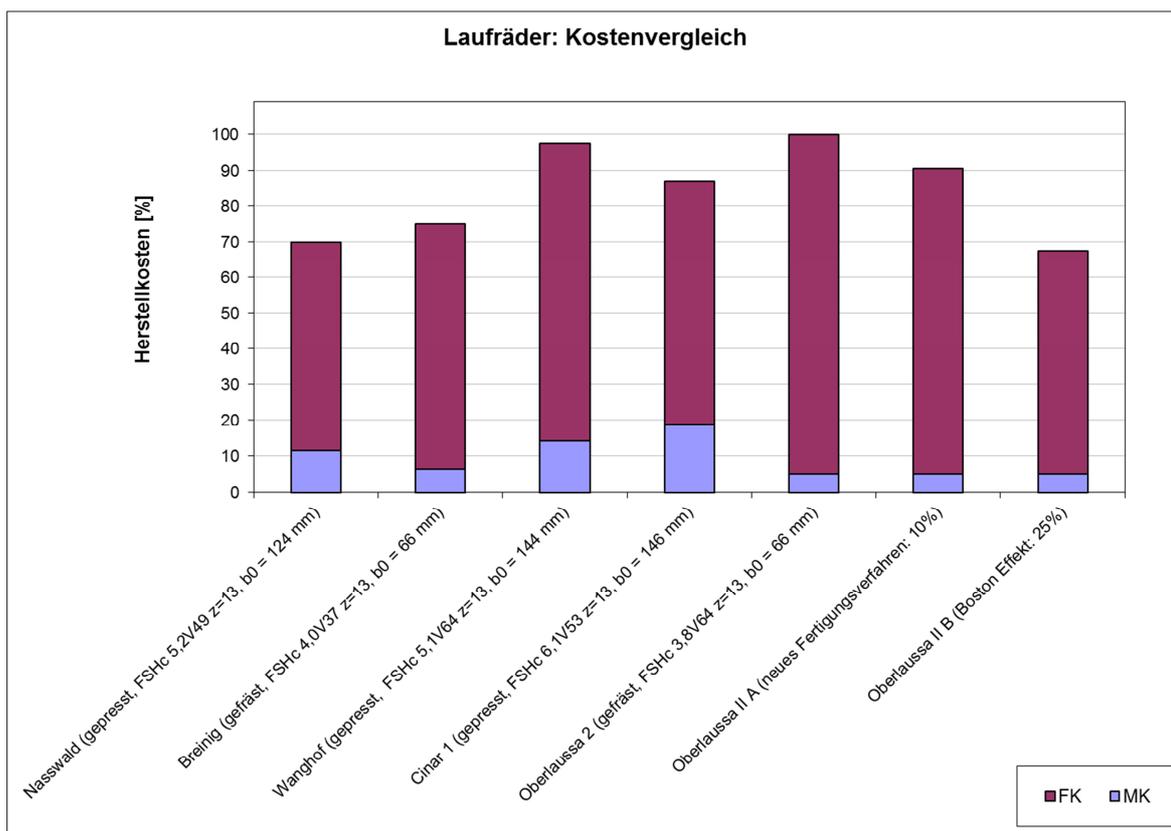


Abbildung 3.7: Kostenvergleich Laufräder

Die Kosten des Laufrades Nasswald sind am geringsten. Die Projekte Oberlaussa II A und B sind der Versuch ein mögliches Potential für dieses Fertigungsverfahren abzuschätzen, da mit zirka 30 Prozent erhöhten Kosten gegenüber dem Lauftrad Nasswald, eine erhebliche Kostensteigerung erkennbar ist. Oberlaussa II A⁶⁹ soll die Kostenreduktion bei der Produktion eines zweiten Laufrades dieses Herstellverfahrens darstellen. Der zweite Kostensprung bei Oberlaussa II B berücksichtigt den Boston Effekt⁷⁰ (Lerneffekt) in der Produktion. Da mit dem Lauftrad Nasswald ebenfalls erstmals ein Voith Lauftrad nach herkömmlichem Herstellverfahren gefertigt wurde und somit als Prototyp dieses Verfahrens gesehen werden kann, stellt sich die Frage, ob ein Lerneffekt wie bei Oberlaussa II B nicht auch hier zu berücksichtigen und somit die Wirtschaftlichkeit der neuen Herstellmethoden zu hinterfragen ist.

Die Gegenüberstellung der Material und Fertigungskosten, wie bereits bei allen anderen Darstellungen inklusive Gemeinkosten, bringt eine Überraschung mit sich. Die Materialkosten der neuen Verfahren sind, obwohl diese aus dem Vollen gefräst werden, geringer als die Kosten der herkömmlichen Verfahren. Natürlich ist aufgrund der geringeren Durchmesser auch weniger Material notwendig, allerdings nicht in einem solch hohen Ausmaß, wie aus den Materialkosten zu schließen wäre.

⁶⁹ Abschätzung eines Mitarbeiters durch Kenntnis des Lerneffekts bei der Herstellung von gefrästen Pelton - Laufräder.

⁷⁰ Vgl. Habermüller (2010), Kap. 2 - S.82f.

Die Fertigungskosten der Laufrades Wanghof sind im Vergleich zu Laufrad Nasswald um zirka 30 Prozent erhöht und dies trotz Berichtigung der Herstellkosten um die Kosten der Nacharbeit. Hier muss allerdings erwähnt werden, dass ebenfalls eine neue Fertigungsmethode angewandt wurde. Diese hohe Abweichung kann allerdings nach ersten Schätzungen nicht damit begründet werden.

Bei Cinar 1 sind ebenfalls um zirka 15 Prozent höhere Fertigungskosten angefallen. Das heißt, nicht nur bei den neuen Verfahren sind große Kostenunterschiede erkennbar, sondern auch bei dem Verfahren mit den größten Erfahrungen sind deutlich höhere Kosten möglich. Die Ursachen sind allerdings zu diesem Zeitpunkt noch unbekannt (vgl. Kapitel 4.1).

In der nachfolgenden Grafik erkennt man aber bereits erste Vor- und Nachteile der neuen Verfahren. Zuerst erfolgt eine grundsätzliche Erörterung der Stundenaufschlüsselung: Technikerstunden beinhalten Stunden für die Programmierung der CAM-Programme am PC oder entstehen durch den Einsatz des Projektleiters o. Ä. bei besonderen Zwischenfällen (Fehler in der Fertigung etc.). Bei den Projekten aus Abbildung 3.8, ist letzteres Szenario nicht eingetreten. Zudem muss eventuell eine andere Betrachtung der Technikerstunden in Erwägung gezogen werden (siehe Kapitel 4.1). Schleifstunden fallen beispielsweise unter „Normalarbeitszeit“. „Maschinenstunden Klein“ beinhalten u.a. Schweißstunden. Der Maschinenpark der Firma Kössler wird auf „Maschinenstunden Klein und Groß“, nach interner Zuordnung, verrechnet. Auf eine detailliertere Aufschlüsselung wird aufgrund der Verschwiegenheitspflicht nicht näher eingegangen. Das Kostenverhalten der einzelnen Verrechnungspositionen wird in nachfolgenden Zusammenhängen erläutert:

$$\frac{M_{gro\beta}}{M_{klein}} \approx 1,55; \quad \frac{M_{gro\beta}}{T} \approx 1,4; \quad \frac{M_{klein}}{N_a} \approx 1,35 \quad (3.1)$$

Die Durchlaufzeit ist bei Breinig und Oberlaussa 2 im Vergleich zu Nasswald, um zirka 5 Prozent reduziert. Allerdings fällt auch auf, dass bei Breinig keine Technikerstunden angefallen bzw. keine Stunden verbucht sind. Somit ist eine Erhöhung der Kosten zu erwarten. Die Aussagen diesbezüglich variieren sehr stark. Eine Erhöhung der Stunden um mindestens 20 Prozent ist zu erwarten.⁷¹ Zudem ist eine Erhöhung der „Maschinenstd. Groß“ um zirka 120 Prozent (Breinig) und zirka 240 Prozent (Oberlaussa 2), im Vergleich zu Nasswald, ersichtlich. Bei Oberlaussa 2 sind die „Maschinenstd. Klein“ vernachlässigbar, da keine Schweißarbeiten anfallen. Bei Breinig sind diese Stunden trotz der subjektiv empfundenen Reduktion des Schweißaufwandes nahezu ident. Bei den neuen Verfahren kann zudem eine Reduktion der Normalarbeitszeit um 60 Prozent festgestellt werden. Die erhöhten Fertigungskosten sind damit auf die kostenintensiven Stunden der „Maschinenstd. Groß“ (vgl. Formel (3.1)) zurückzuführen.

⁷¹ Nach Stundenangaben der CAM-Programmierer.

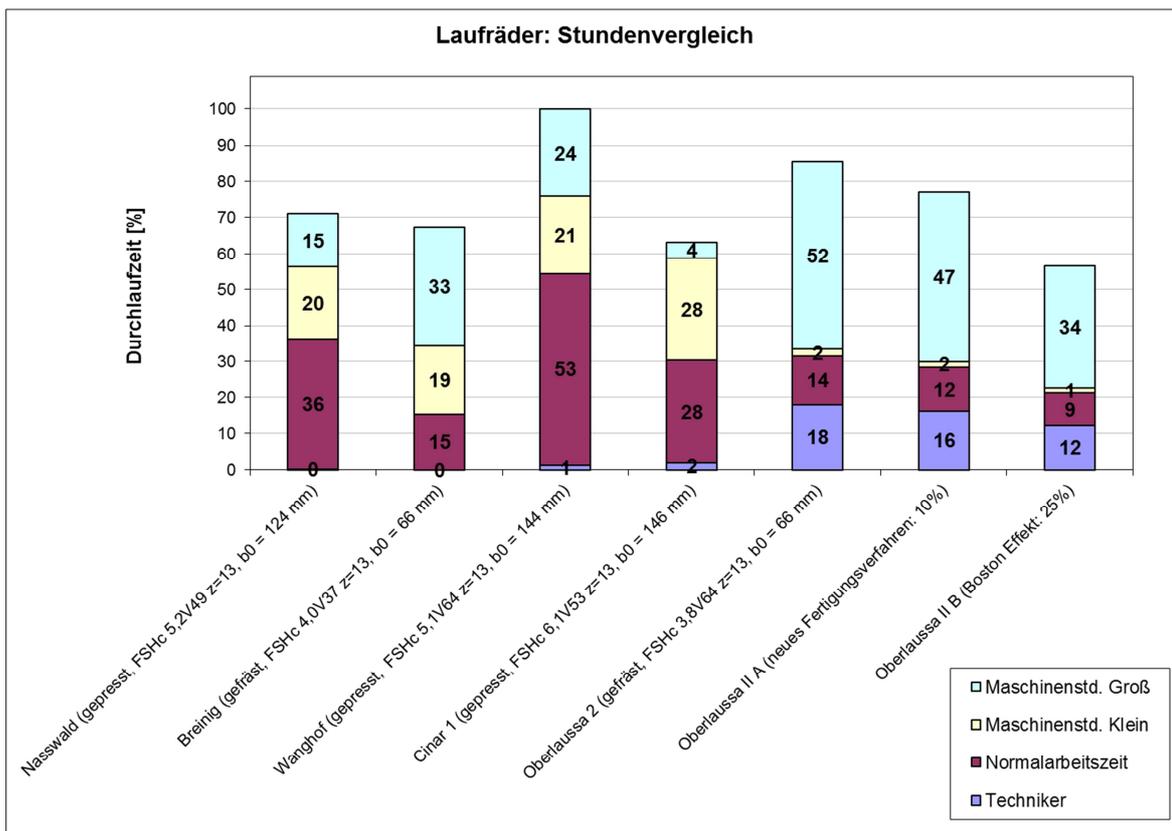


Abbildung 3.8: Durchlaufzeitenvergleich Laufräder

3.8 Leitapparat

In Abbildung 3.9 erfolgt eine Darstellung der Kostenstruktur des Kostenblocks Leitapparat. Dadurch wird der Kostenblock mit den meisten Bauteile aufgeschlüsselt und ein Einblick in die Kostenverteilung gewährt.

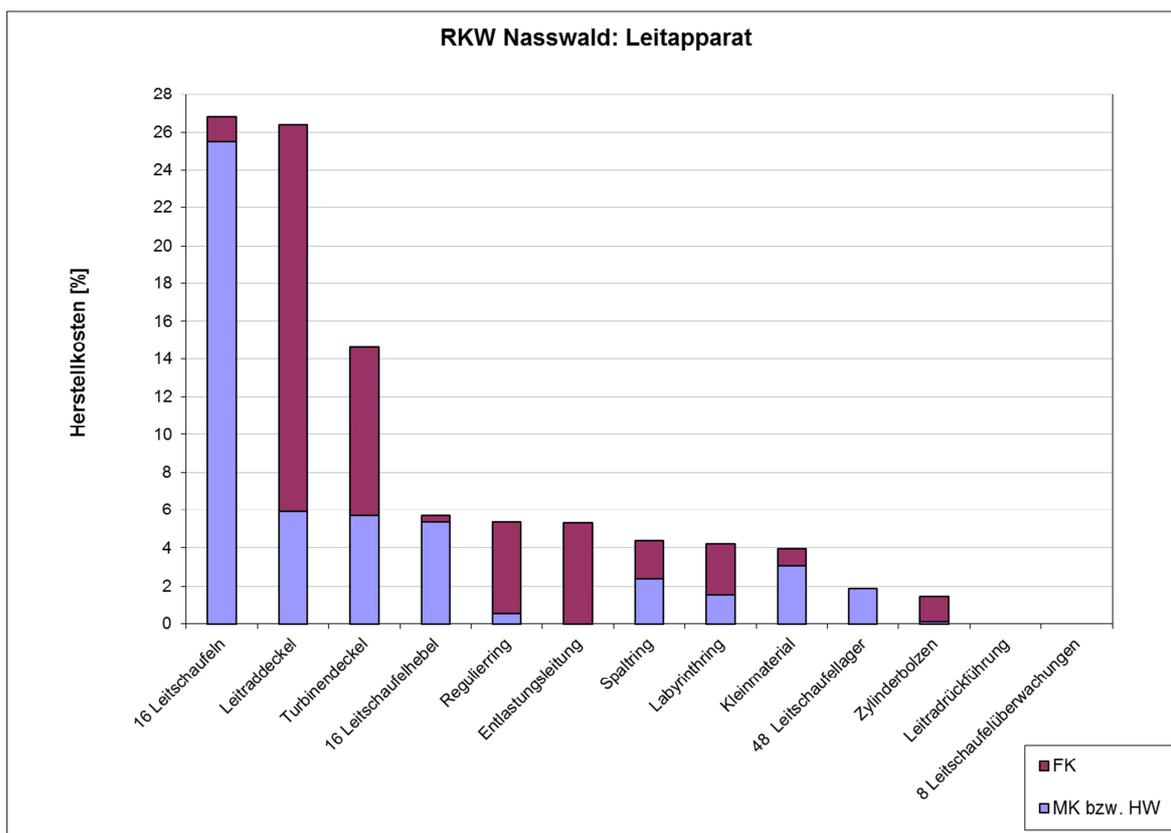


Abbildung 3.9: Kostenstruktur RWK Nasswald: Leitapparat

Als kostenintensivste Komponenten sind die Leitschaufeln, der Leitraddeckel und der Turbinendeckel erkennbar, welche wenig Spielraum für Verbesserungen erwarten lassen. Leitschaufeln dieser Größe werden zukünftig nicht mehr bei Kössler gefertigt.

Das Prinzip auf dem die Leitschauflhebel basieren ist meiner Meinung nach ein Einfaches und sehr Effektives. Im Vergleich zu Konkurrenzprodukten hat es wesentlich geringere Anzahl an Bauteilen zur Folge und wird zudem an Lohnfertiger vergeben. Beim Bauteil Regulierterring wurde bereits eine Verbesserung für zukünftige Anlagen durchgeführt (zweiteiliger Regulierterring), die zu wesentlich geringeren Materialkosten führen sollte und auch die Voraussetzung für den möglichen Einsatz einer alternativen Antriebstechnologie darstellt (siehe Kapitel 4.5). Die Entlastungsleitung kann bei den meisten hydraulischen Geometrien durch eine Ausgleichsbohrung ersetzt werden. Dadurch sind weitere Kosteneinsparungen zu erwarten.

Mittels durchgeführter ABC-Analyse wird, wie bereits bei der gesamten Kostenstruktur des RWK Nasswald, der Fokus der Untersuchungen auf Komponenten gelegt, die im Bereich der A-Teile liegen und 80 Prozent der Kosten verursachen.

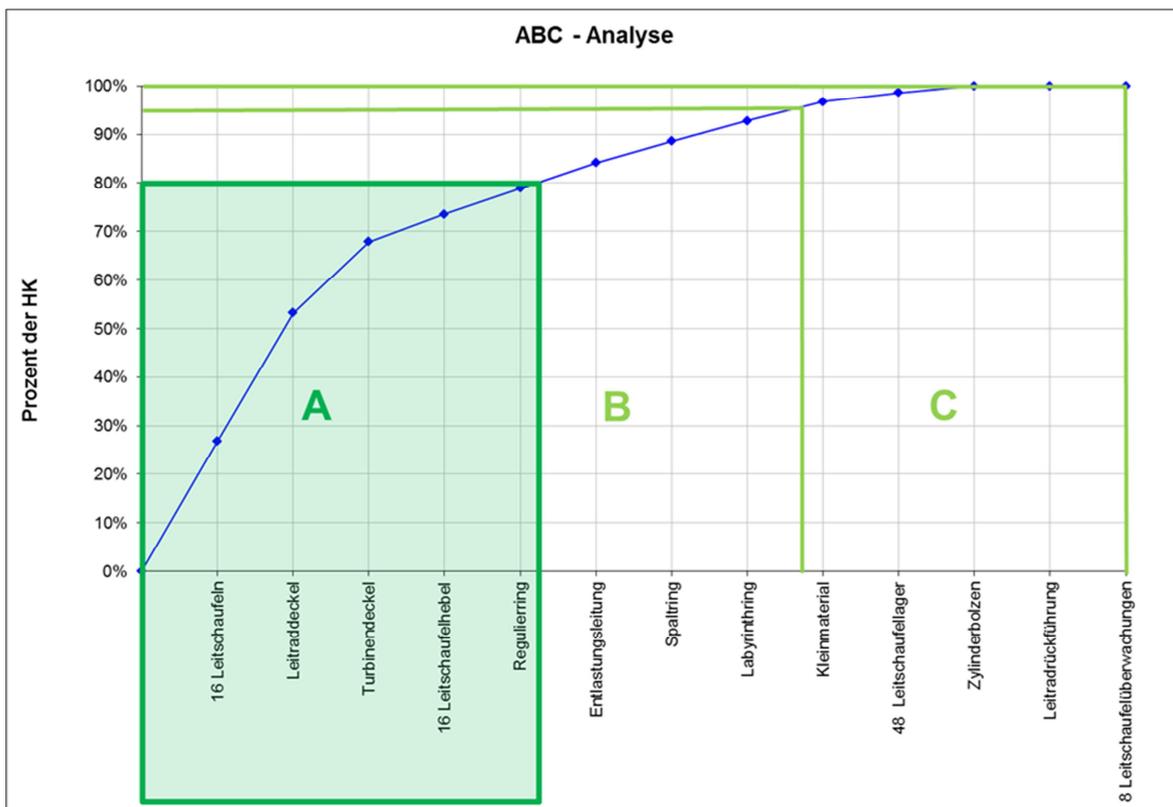


Abbildung 3.10: ABC-Analyse RKW Nasswald: Leitapparat

Unabhängig von oben gezeigter Darstellung wurden im ersten Gespräch, in der Firma Kössler, bereits ein Vorschlag für eine mögliche Verbesserung bei der Ausführung der Leitschaukeln seitens der Geschäftsführung angesprochen. Auf diese Verbesserungsmöglichkeit wird in Kapitel 4.8 näher eingegangen.

3.9 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In Abbildung 3.11 werden zusammenfassend die Kosten der Kernprojekte gegenübergestellt. Die Prozentsätze beziehen sich auf die Herstellkosten des RKW Nasswald; d.h. alle grauen Balken ergeben summiert 100 Prozent. Die hohe Varianz der Kosten war unerwartet. Es war zwar bekannt, dass die Kosten variieren und die Kalkulation neuer Projekte immer mit einem hohen Aufwand durch Hinterfragen der Kosten bei betroffenen Kostenstellen, Fingerspitzengefühl und Erfahrung verbunden sind, doch in welchem Ausmaß diese Kosten divergieren, wurde erst durch die Aufarbeitung und Gegenüberstellung der vier Projekte ersichtlich. Die Kostenschwankungen wurden mit dem Umstieg auf neue hydraulischen Geometrien und der Einführung neuer Herstellmethoden begründet. Allerdings zeigt die Gegenüberstellung, dass auch gleiche Herstellmethoden mit vergleichbaren Geometrien sehr unterschiedliche Kosten aufweisen (vgl. Kapitel 3.7 und 4.1). Vor allem die Kostenblöcke Laufrad, Konstruktion, Montage, Werksmontage, Einbauplanung und Abwicklung, also Kosten die durch die Firma Kössler entscheidend beeinflusst werden, divergieren stark.

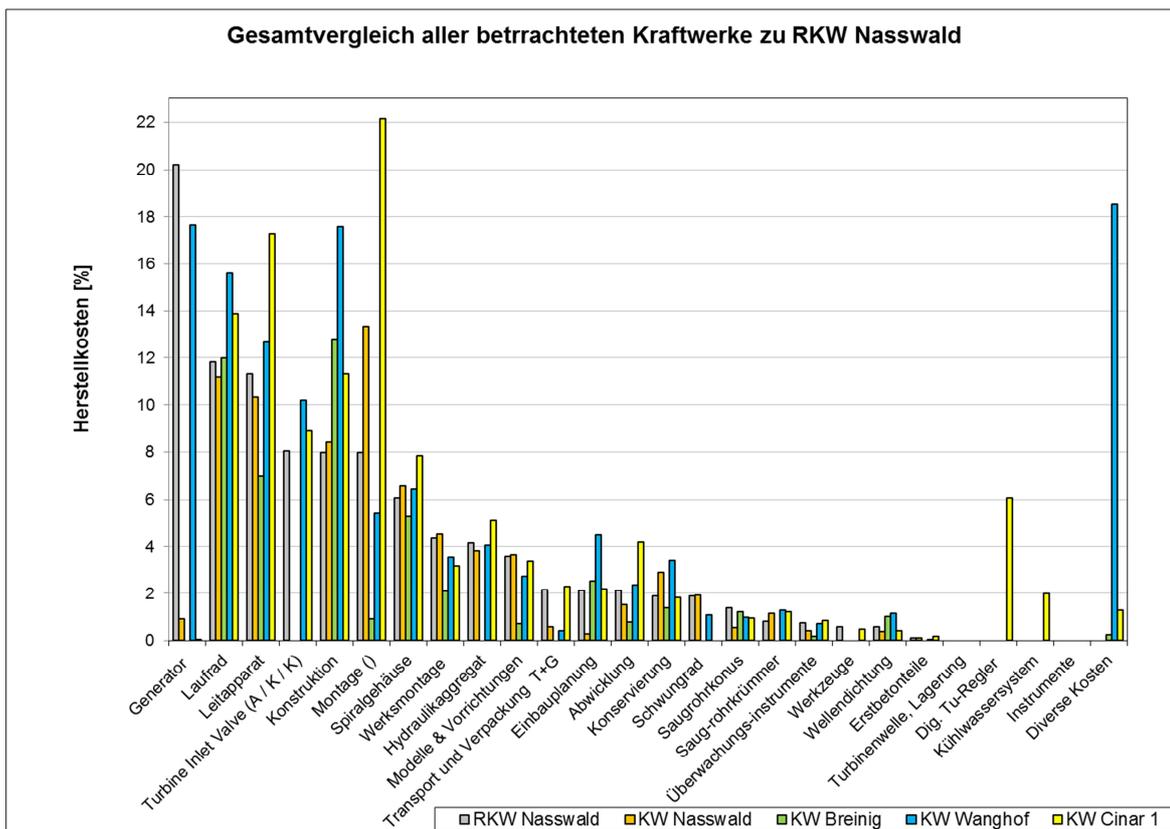


Abbildung 3.11: Gegenüberstellung der fünf Kostenstrukturen

Wie die Untersuchungen der Firma Kössler zeigen, ist das Optimierungspotential von *ECO Line* Anlagen, bei gleichbleibend hoher Qualität, bereits sehr ausgereizt (Einsparungspotential von 2,81 bzw. 3,50 Prozent); einerseits durch die geringe Anzahl an veränderbaren Bauteilen (vgl. Kapitel 2.1.3, 3.1 und 3.8) und andererseits durch bereits im Vorfeld definierte Standardkomponenten (vgl. Kapitel 1.1 und 4.3.7). Aufgrund dieser Situation und der Tatsache, dass das Kostenverhalten in einem hohen Maß unkalkulierbar ist, einigten sich O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Jaberg, Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni und ich darauf, Kostenreduktionen in der Findung der Kostentreiber und deren Verhinderung zu suchen. Zudem deuteten bereits diese ersten Untersuchungen auf eine hohe Variantenvielfalt in der Lauftradfertigung hin, weshalb Möglichkeiten einer Variantenreduktion zu untersuchen sind.

Bei einem Zusammentreffen in St. Georgen einigten wir uns mit der Geschäftsführung der Kössler GmbH & Co KG darauf, dass der vorgeschlagene Weg der Kostentreiberanalyse über den definierten Untersuchungsbereich aus Kapitel 3.1 wünschenswert ist. In einem Maßnahmenkatalog sind die Empfehlungen zur Verhinderung der Kosten- und Zeittreiber zusammenzufassen. Weiters soll eine Grenzkurvenermittlung für die Auswahl der Fertigungsverfahren angestrebt werden. Die Möglichkeit der Reduktion der spezifischen Drehzahlen soll untersucht und in weiterer Folge die Möglichkeit die Festlegung der Lauftrad- und Spiralgrößen analysiert werden. Zudem ist die Bewertung eines Fundamentrahmens für eine Montage im Werk durchzuführen. Alternative Antriebe zur Verstellung des Regulierings sollen gegenübergestellt werden.

4 Identifikation der Kostentreiber

In diesem Kapitel wird der interne Benchmark ausgewählter Kostenblöcke (Kapitel 3.1) bestimmt und anschließend den Kosten- und Durchlaufzeitüberschreitungen gegenübergestellt. Dabei werden Ursachen der Überschreitungen identifiziert und ein Maßnahmenkatalog (Anhang) erstellt. Im Kapitel Laufrad (4.1.13) wird zusätzlich eine Grenzkurve ermittelt und ein Vergleich der Fertigungsprozesse durchgeführt. Weiters erfolgt eine Kostenabschätzung eines Fundamentrahmens (Montage), eine Gegenüberstellung verschiedener Ausführungen von Hydraulikleitungen und die Darstellung der Ergebnisse der Recherche zu Hydraulikaggregat-Alternativen.

4.1 Laufrad

Die Laufradfertigung wird durch Flussdiagramme transparent dargestellt und anschließend werden alle Fertigungsvarianten miteinander verglichen. Die Kostentreiberanalyse zeigt Ursachen für Kostenschwankungen und der Vergleich der ermittelten Kernkosten liefert erste Entscheidungskriterien für mögliche Verfahrensvarianten. In der Grenzkurvendarstellung erfolgt anschließend eine Berücksichtigung der Geometrie und dient als zweite Entscheidungshilfe zur Verfahrensfestlegung. Schließlich werden alle möglichen Ursachen der Kostenerhöhung in einem Ursachen-Wirkungs-Diagramm dargestellt.

4.1.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Um eine ökonomische Grenzkurve der neuen Herstellverfahren ermitteln zu können, wurde der Untersuchungsbereich auf alle Laufräder seit 2008, also seit der Übernahme von Kössler durch Voith, ausgeweitet. Für die Bewertung von *ECO Line* Laufrädern bzw. deren Kostentreiberanalyse wurde der Untersuchungsbereich auf bestimmte Laufräder fixiert. Es wurden Gespräche mit Ing. Fritz Neuhauser und Franz Moser nach Kapitel 2.2.8 (produzierender Bereich) durchgeführt, wobei für Punkt 2.1 der Vorgehensweise auch Josef Fuchs und Herbert Wallo für Schleif- und Schweißarbeiten, vor allem für *ECO Line* Laufräder, miteinbezogen wurden.

4.1.2 Abfolge der Arbeitsabläufe

Die unterschiedliche Kostenzuordnung der Laufräder war das Hauptproblem dieser Untersuchungen. In Kapitel 3.7 wurden die Kosten mit ungenügender Kostengenauigkeit, bezogen auf die notwendigen Komponenten, gegenübergestellt. So wurden beispielsweise alle Programmierstunden der neuen Verfahren, bei der Aufschlüsselung der Fertigungskosten, eingerechnet und die Kosten der Gesenke und Modelle, bei der herkömmlichen Fertigung, nicht berücksichtigt. Aufgrund dieser Tatsache und der Problematik, dass die Laufradfertigung durch eine hohe Anzahl an unterschiedlichen

Fertigungsvarianten gekennzeichnet ist, wird versucht mit nachfolgenden Flussdiagrammen Transparenz zu schaffen. Es soll visualisiert werden, welche Komponenten und damit verbundene Fertigungsschritte für den jeweiligen Fertigungsprozess notwendig sind. Abbildung 4.2 verdeutlicht den Verwaltungsaufwand bei der herkömmlichen Fertigung. Es müssen sechs Komponenten berücksichtigt und aufeinander abgestimmt werden. Dies betrifft die Kalkulation, Konstruktion, den Einkauf, die Arbeitsvorbereitung und die Fertigung gleichermaßen. Je höher die Anzahl der abzustimmenden Komponenten, desto höher ist auch die Fehleranfälligkeit in der Prozessabstimmung und der Logistik der Beschaffung. Die Anzahl der handelnden Personen bzw. die Anzahl der inkludierten Maschinen („Maschinenwechsel“) wirken sich direkt auf die Durchlaufzeiten und somit verbundenen Kosten (vgl. Kapitel 4.7) aus. Die neuen Verfahren hingegen besitzen vier (drei plus die Logistik zur Vermessung mittels digitaler Messeinrichtung) bzw. drei Komponenten, die miteinander abgestimmt werden müssen.

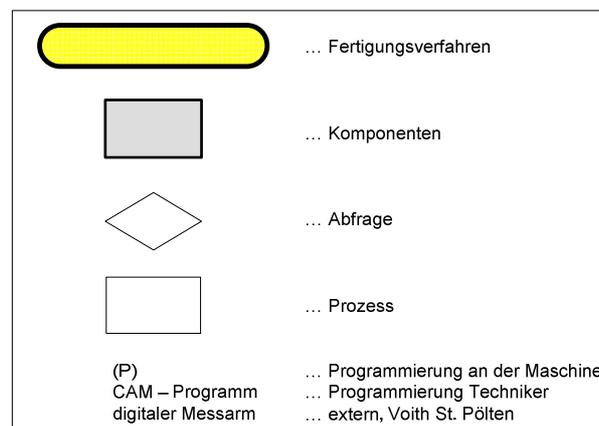


Abbildung 4.1: Legende der Flussdiagramme

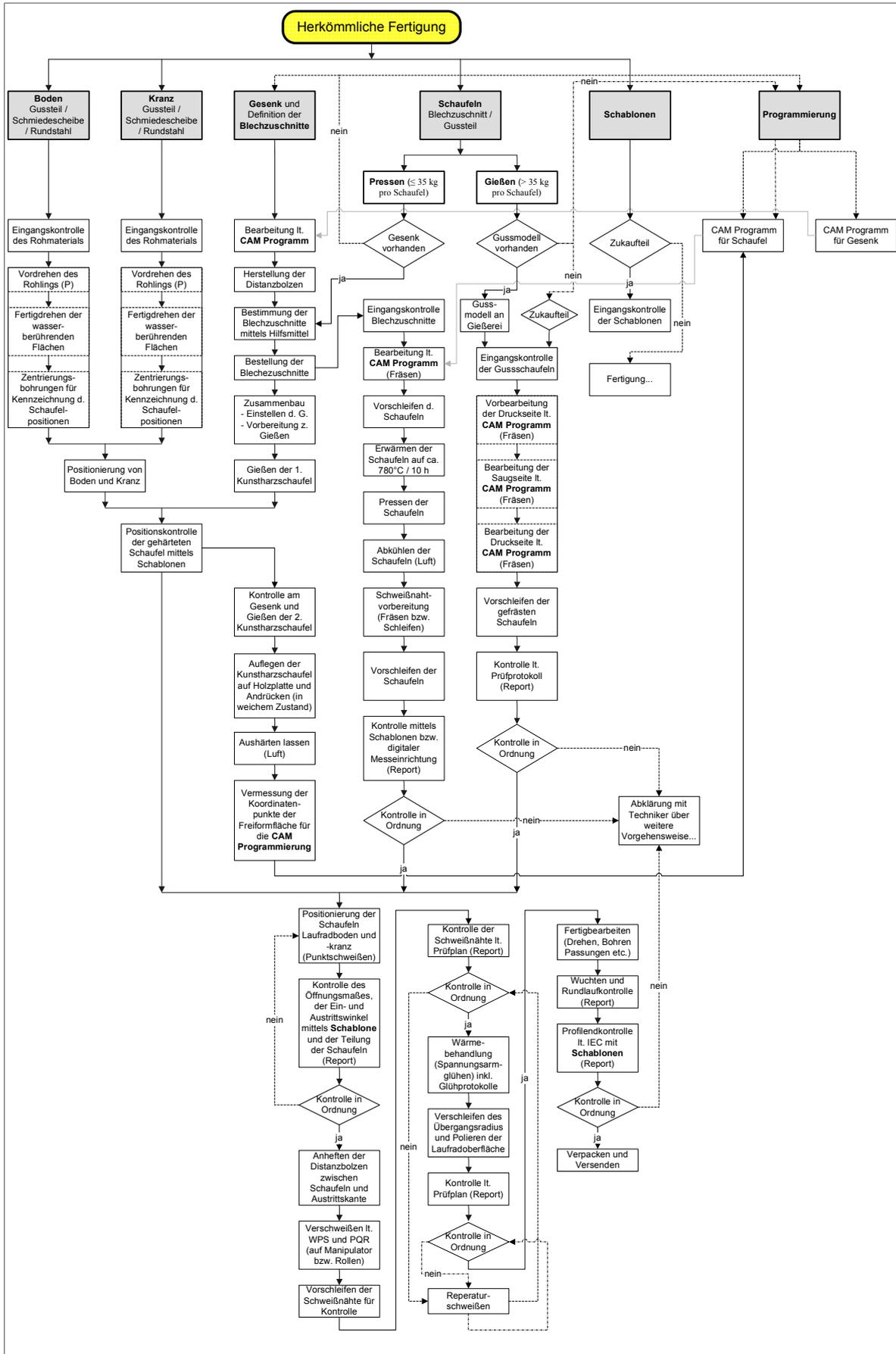


Abbildung 4.2: Herkömmliche Fertigung

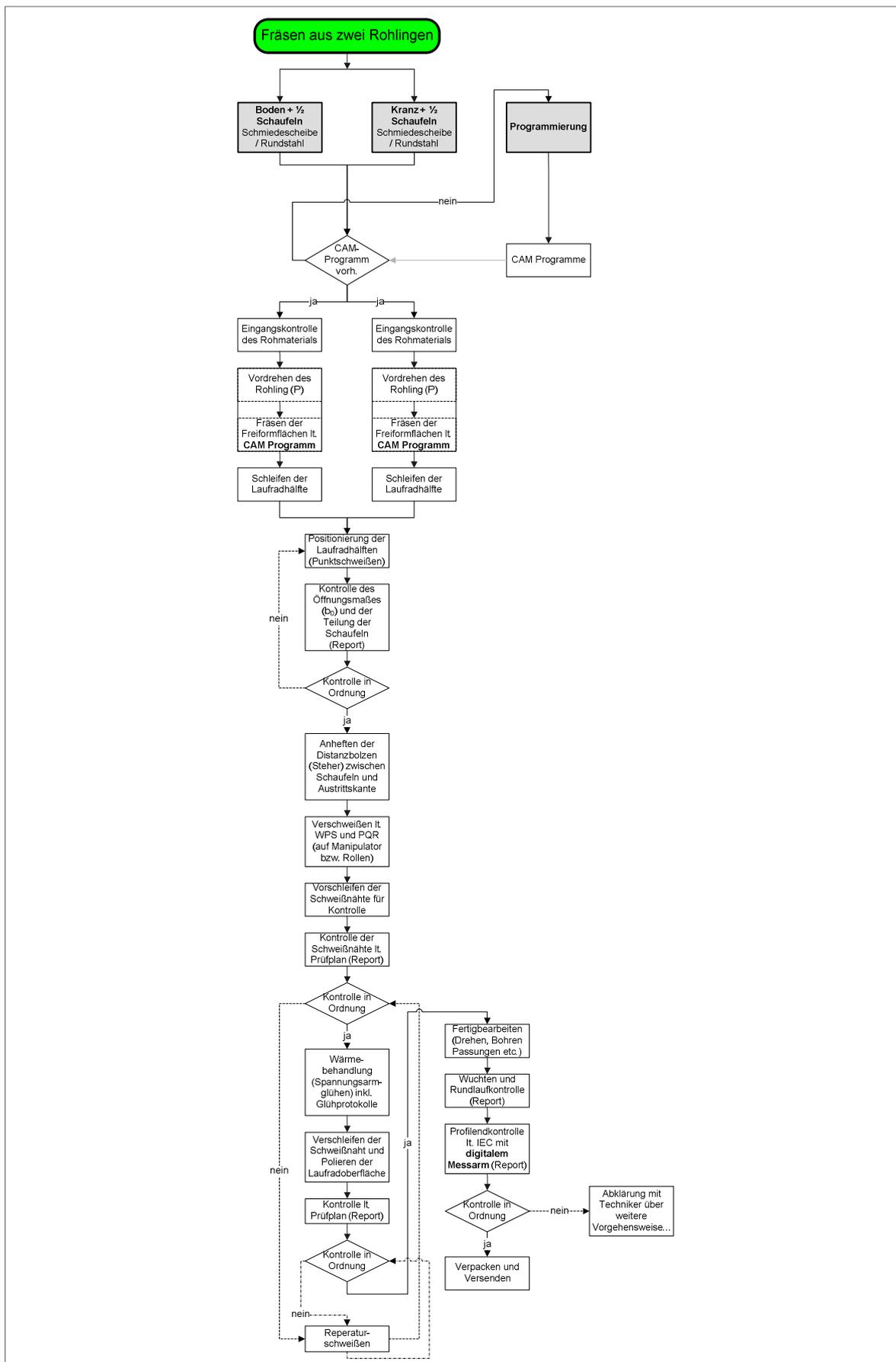


Abbildung 4.3: Fräsen aus zwei Rohlingen

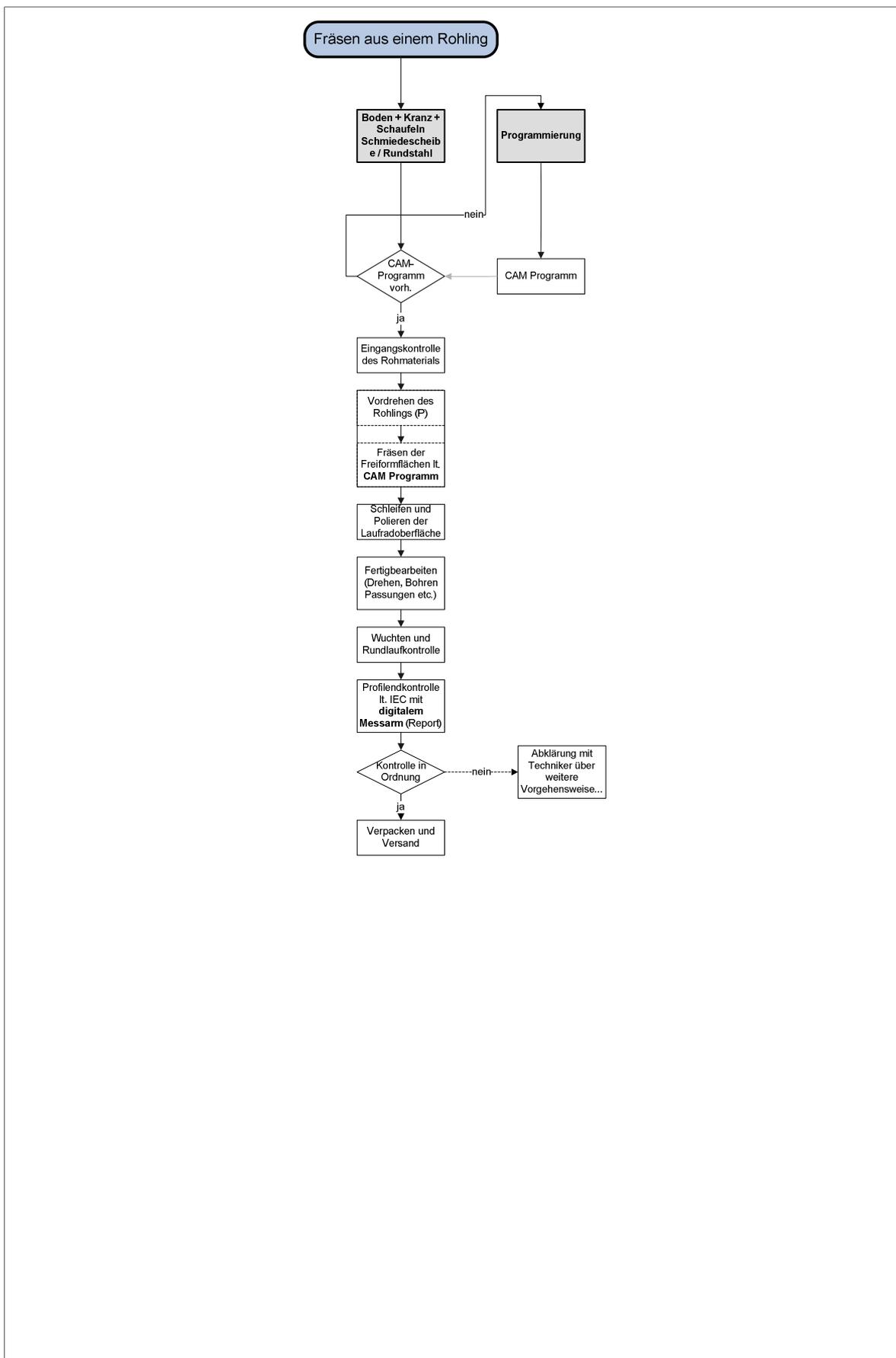


Abbildung 4.4: Fräsen aus einem Rohling

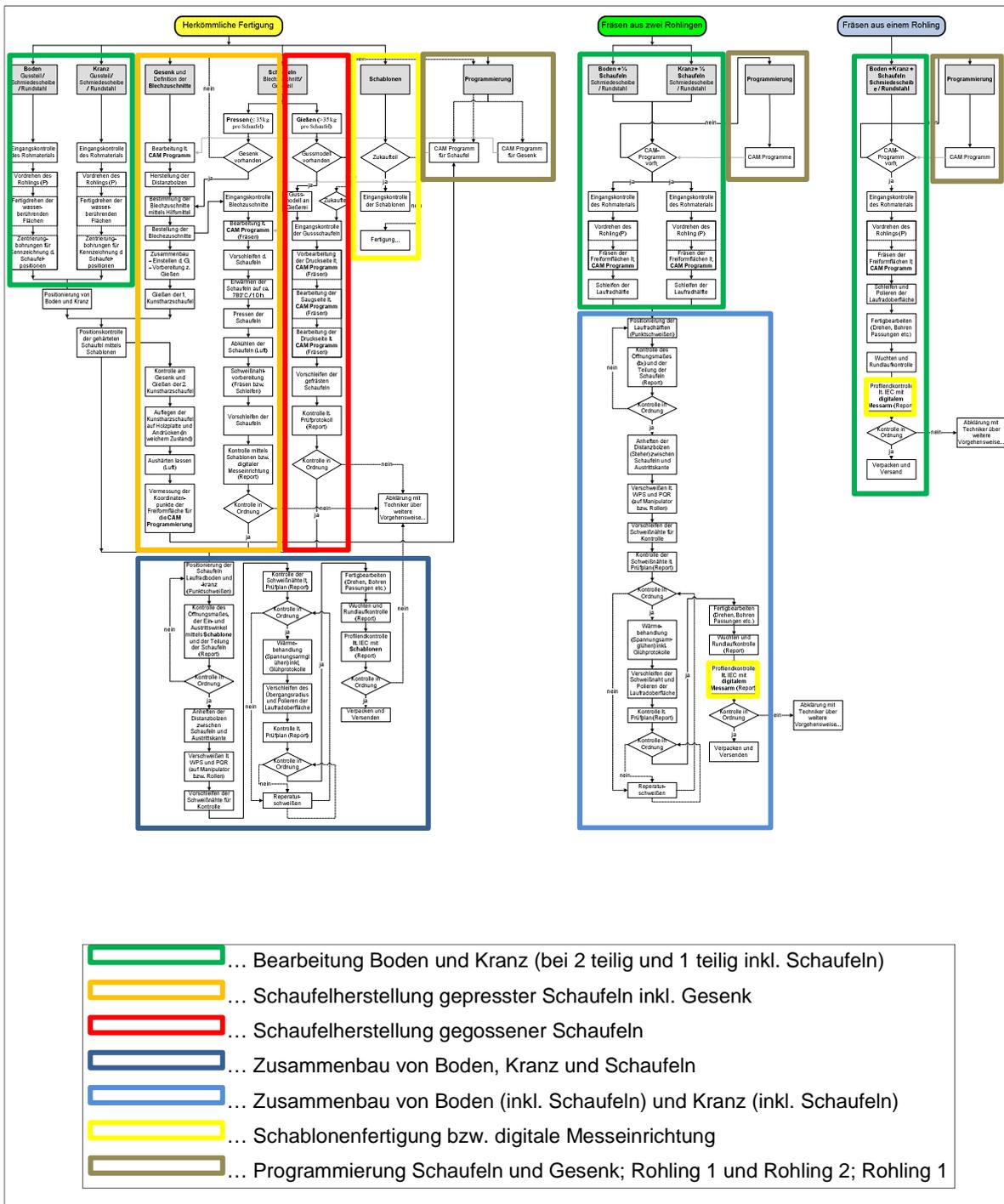


Abbildung 4.5: Fertigungsprozesse Gegenüberstellung

Für die Schaufelherstellung gepresster Schaufeln muss ein Gesenk gefertigt und dessen Programmierung durchgeführt werden. Zudem sind Kunstharzschaufeln zur Erstellung des CAM-Programms und Bestimmung der Blechzuschnitte der Schaufeln notwendig. Ing. Fritz Neuhauser hat eine Methode entwickelt, die eine Bestimmung der Blechzuschnitte ohne Kunstharzschaufel ermöglicht, aber für die Vermessung der Koordinatenpunkte bleibt diese Schaufel unverzichtbar. Hieraus wird ersichtlich, dass die Programmierung und somit kostenintensive Arbeitszeit nicht nur bei den neuen Verfahren notwendig ist. Zudem fallen die Bearbeitung des Gesenks und dessen Lagerkosten bei den neuen Verfahren nicht an.

Die herkömmliche Fertigung mit gegossenem Boden oder Kranz benötigt im Gegensatz zu den neuen Fertigungsverfahren ein Modell. Dies ist somit ebenfalls den Programmierkosten der neuen Verfahren gegenüberzustellen. Hier muss allerdings beachtet werden, dass auch eine Ronde für Boden und Kranz verwendet werden kann und dadurch keine Modellkosten bei der herkömmlichen Fertigung anfallen und günstige Materialkosten zu erwarten sind. Allerdings steigt dadurch der Fertigungsaufwand.

Beide neuen Verfahren ermöglichen eine sehr genaue Fertigung. Aus diesem Grund kann auf Schablonen verzichtet werden und es ist nur noch eine Vermessung mittels digitaler Messeinrichtung notwendig. Dies spart Ressourcen in der Konstruktion und in der Beschaffungslogistik. Durch einen ständigen Transfer zwischen Voith St. Pölten und Voith St. Georgen, ist die Organisation der Vermessung in St. Pölten nicht erwähnenswert. Die Kosten der Schablonen (Zukauf, Konstruktion) und der Vermessung sind nahezu ident.

Diese Gegebenheiten wurden in der Analyse der Kostenstruktur (vgl. Kapitel 3) aufgrund des fehlenden Einblicks in die Fertigung, aber auch wegen des geringen Untersuchungszeitraums nicht berücksichtigt und werden in der Kostengegenüberstellung aus Kapitel 4.1.4 miteinbezogen.

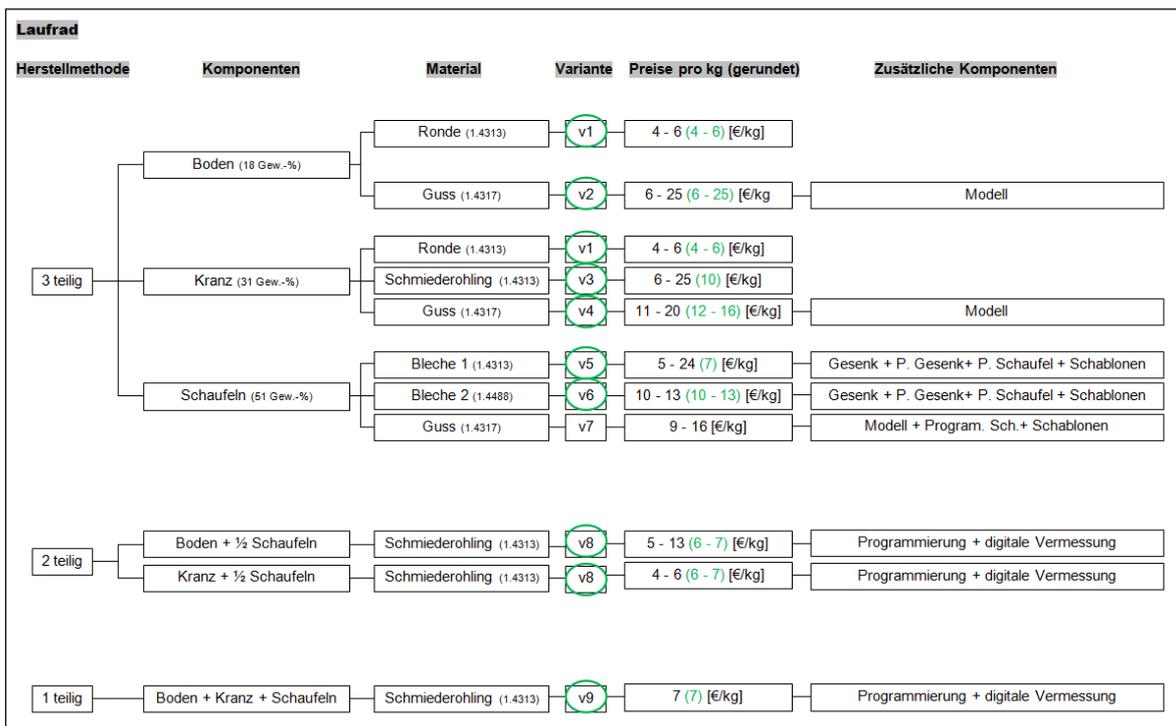


Abbildung 4.6: Laufradvarianten im Überblick

Insgesamt ergeben sich daraus neun verschiedene Varianten, wie ein Laufrad im Hause Kössler gefertigt werden kann. Variante 7 stellt wegen der Voraussetzung (> 35 kg pro Schaufel) keine Variante für ECO Line Anlagen dar. Somit stehen acht Varianten für eine Laufradfertigung zur Verfügung.

4.1.3 Auswahl möglicher *ECO Line* Laufräder

Kennwort [-]	Laufradfertigung [-]	Jahr [-]	Land [-]	Anzahl [#]	Type [-]	D_{1a} [mm]	n_{qopt} [min ⁻¹]	H [m]	Q [m ³]	n_{Turb} [min ⁻¹]	P_{Turb} [kW]
Capra 5 Unit 2	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	540	38	68	900	1.000	549
Capra 5 Unit 1	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	560	53	66	1.800	1.000	1.081
Capra 4 Unit 2	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	470	32	110	737	1.500	714
Capra 4 Unit 1	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Rumänien	1	FSHc	690	32	108	1.473	1.000	1.410
Oberlaussa II	Fräsen - ein Rohling	2011	Österreich	1	FSH	380	64	55	1.000	1.500	493
Rukarara	Fräsen - zwei Rohlinge	2011	Ruanda	2	FSVc	670	64	44	2.800	750	1.109
Blaichach	Gepresst	2010	Deutschland	1	FSVc	610	32	102	1.000	1.000	912
Pilgersteg T2	Fräsen - zwei Rohlinge	2010	Schweiz	1	FSHc	400	32	42	300	1.000	112
Pilgersteg T1	Gepresst, Ronde	2010	Schweiz	1	FSHc	540	49	41	1.200	750	451
Wanghof	Gepresst, Ronde	2010	Österreich	1	FSHc	510	64	27	1.100	750	272
Cinar 1	Gepresst	2010	Türkei	1	FSHc	610	53	65	2.250	1.000	1.326
Breinig	Fräsen - zwei Rohlinge	2010	Deutschland	1	FSHc	400	38	71	500	1.500	321
Shanyin	Gepresst	2009	Ungarn	2	FSHc	900	80	25	4.706	425	905
Nasswald	Gepresst	2008	Austria	1	FSHc	520	49	45	1.140	750	392

Tabelle 4.1: Laufradauswahl

Wie bereits in Kapitel 3.2 angedeutet, wird der Kostenvergleich der Laufräder um die Projekte Oberlaussa 2 und Shanyin erweitert. Durch eine vorgezogene Abrechnung bzw. einer ergänzenden Abschätzung der Laufräder Pilgersteg T1 und T2 stehen zudem zwei weitere Laufräder für einen Fertigungsvergleich zur Verfügung. Die geschätzten Werte wurden in der Dokumentation der Arbeit (vgl. Zwischenpräsentationen) durch die real eingetretenen Kosten ersetzt. Zusätzlich wurden die Laufräder Illulisat (3 Stück) in die Betrachtungen miteinbezogen. Da ein solches Laufrad einen Durchmesser von 920 Millimeter aufweist und über dem Leistungsbereich von *ECO Line* Anlagen liegt, befindet es sich nicht im Auszug bisher in Auftrag genommener *ECO Line* Projekte (Tabelle 4.1). Aufgrund seiner Größe stellt Illulisat ein Vergleichslaufrad zu Shanyin dar und es können dadurch zumindest die Kosten einer hydraulischen Geometrie ($n_q = 37,795 \text{ min}^{-1}$), bei der Fertigung mit zwei Rohlingen, abgeschätzt werden (Kapitel 4.1.13).

Nachfolgend werden die wesentlichen Fertigungsmerkmale der betrachtenden Laufräder dargestellt. In Kombination mit der Übersicht auf Abbildung 4.6 werden die notwendigen Komponenten ersichtlich.

- Nasswald: Gepresste Schaufeln, Kranz und Boden gegossen, geringe Nacharbeit notwendig
- Pilgersteg T2: Aus zwei Rohlingen gefräst, Nacharbeit aufgrund der Zugänglichkeit notwendig
- Breinig: Aus zwei Rohlingen gefräst (erstes Laufrad)
- Wanghof: Gepresste Schaufeln, Kranz und Boden aus einer Ronde, Nacharbeit notwendig (Material und Fertigung)
- Cinar 1: Gepresste Schaufeln, Kranz aus Schmiedescheibe, Boden gegossen
- Oberlaussa 2: Aus Vollem gefräst (erstes Laufrad)
- Pilgersteg T1: Gepresste Schaufeln, Kranz und Boden aus einer Ronde
- Illulisat: Aus zwei Rohlingen gefräst

- Shanyin: Aus zwei Rohlingen gefräst, Nacharbeit aufgrund von Materialfehlern notwendig (Material und Fertigung)

4.1.4 Kostenvergleich ausgewählter Laufräder

Nachdem die Abläufe der einzelnen Verfahren erläutert wurden und somit alle notwendigen Komponenten und deren Kosten zugeordnet werden können, erfolgt eine neue Gegenüberstellung der Laufräder. Abbildung 4.7 zeigt die Vergleichslaufräder der Kostentreiberanalyse. Somit stehen fünf Laufräder des herkömmlichen Verfahrens, drei des Fräsverfahrens aus zwei Rohlingen und das Laufrad Oberlaussa 2, stellvertretend für das Fräsverfahren aus einem Rohling, für einen Kostenvergleich zur Verfügung.

Unten dargestellte Kosten beziehen sich auf die tatsächlich notwendigen Kosten und beinhalten, im Gegensatz zur „Analyse der Kostenstruktur“, keine fiktiven Kosten mehr. Im Vergleich zu den Kosten aus Kapitel 3.7 sind bei Breinig Programmierkosten enthalten. Ein Unterschied von drei Prozent zwischen den Programmierkosten des Laufrades Breinig und Pilgersteg T2 ist ersichtlich. Dieser Unterschied kann, da Pilgersteg T2 das zweite gefräste zweiteilige Laufrad nach Breinig ist, als Lerneffekt interpretiert werden. Bei der Ermittlung der Kostenstruktur aus Kapitel 3.7 stellten die Kosten des Laufrades Nasswald alle anderen Kosten in den Schatten. Bei einem Vergleich der Gesamtkosten hält sich diese Differenz in Grenzen und zeigt, dass nur ein Vergleich der Gesamtkosten, nach den Komponenten der Ablaufdiagramme, zielführend sein kann. Die Kosten der Nacharbeit beim Laufrad Wanghof und beim Laufrad Shanyin sind gesondert angeführt, da diese Nacharbeitskosten auch zusätzlich notwendig gewordenen Material beinhalten. Diese Kostenaufschlüsselung zeigt auch, dass die Definition der *ECO Line* Produktlinie nach Durchmesser nicht zielführend sein wird. Ein Laufrad mit einer hydraulischen Geometrie von $n_q = 80$ und einem Durchmesser von 900 Millimetern ist sicher kein Laufrad, das nebenbei produziert werden kann. Somit liegt der Fokus des Kostenvergleichs auf den Laufrädern der Größenordnung Nasswald. Die Kosten der Programmierung, der Gesenke und der Modelle sind in diesem Bereich vergleichbar. Die Kostenunterschiede zwischen Illulisaat und Shanyin sind nicht direkt als Argument für das angewandte Verfahren von Illulisaat zu interpretieren, da die spezifische Drehzahl deutliche Unterschiede aufweist. Und damit ist auch schon das Hauptproblem bei Vergleichen der Laufradfertigung angesprochen. Aufgrund der unterschiedlichen Geometrien (spezifische Drehzahlen) sind direkte Vergleiche äußerst schwierig vorzunehmen. Blau unterstrichen sind Laufräder die wegen der Größe und Geometrie direkt vergleichbar sind.

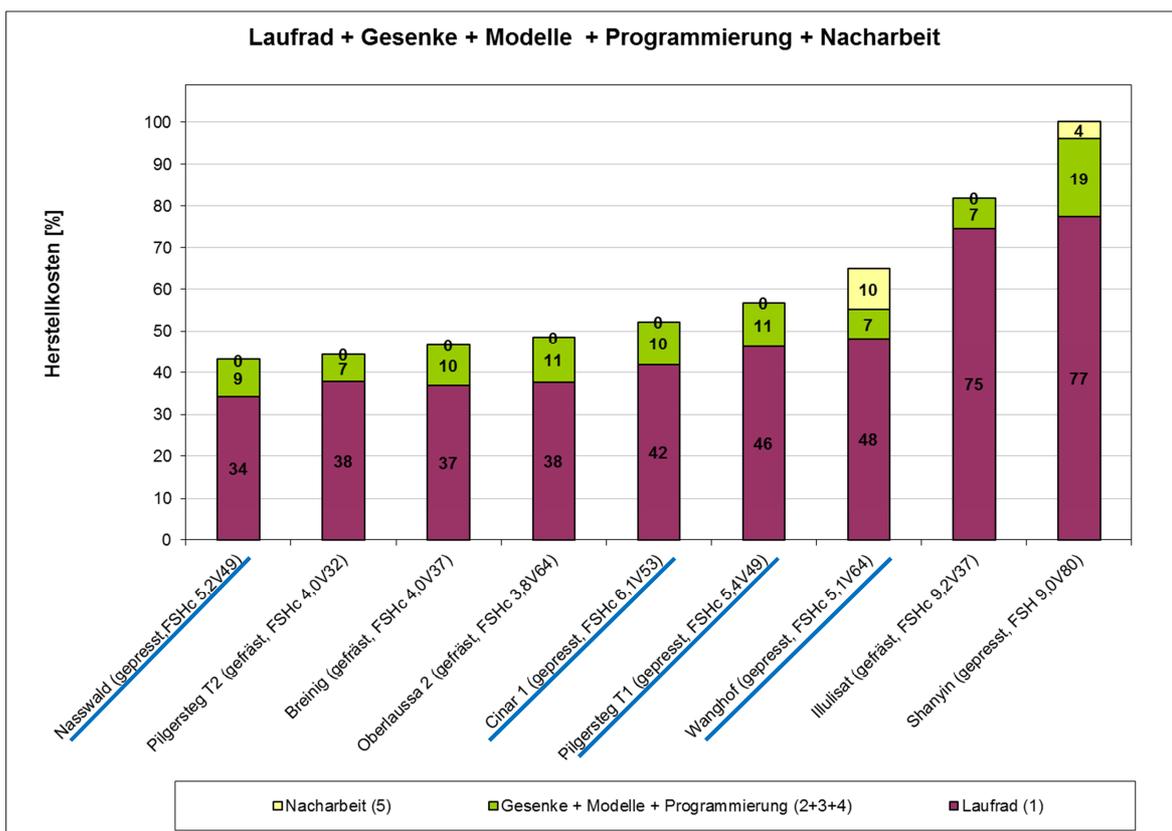


Abbildung 4.7: Kostenvergleich Laufräder

Nachfolgende Abbildung verdeutlicht, dass Technikerstunden nicht nur bei den neuen Verfahren notwendig sind und entkräftet das Argument der teuren Technikerstunden (vgl. Formel (3.1)) bei den neuen Herstellverfahren. Das Hauptproblem der neuen Verfahren bleibt allerdings der teure Stundensatz der „Maschinenstunden Groß“. Positiv zu vermerken sind die geringen Stunden der „Normalarbeitszeit“ und der „Maschinenstunden Klein“.

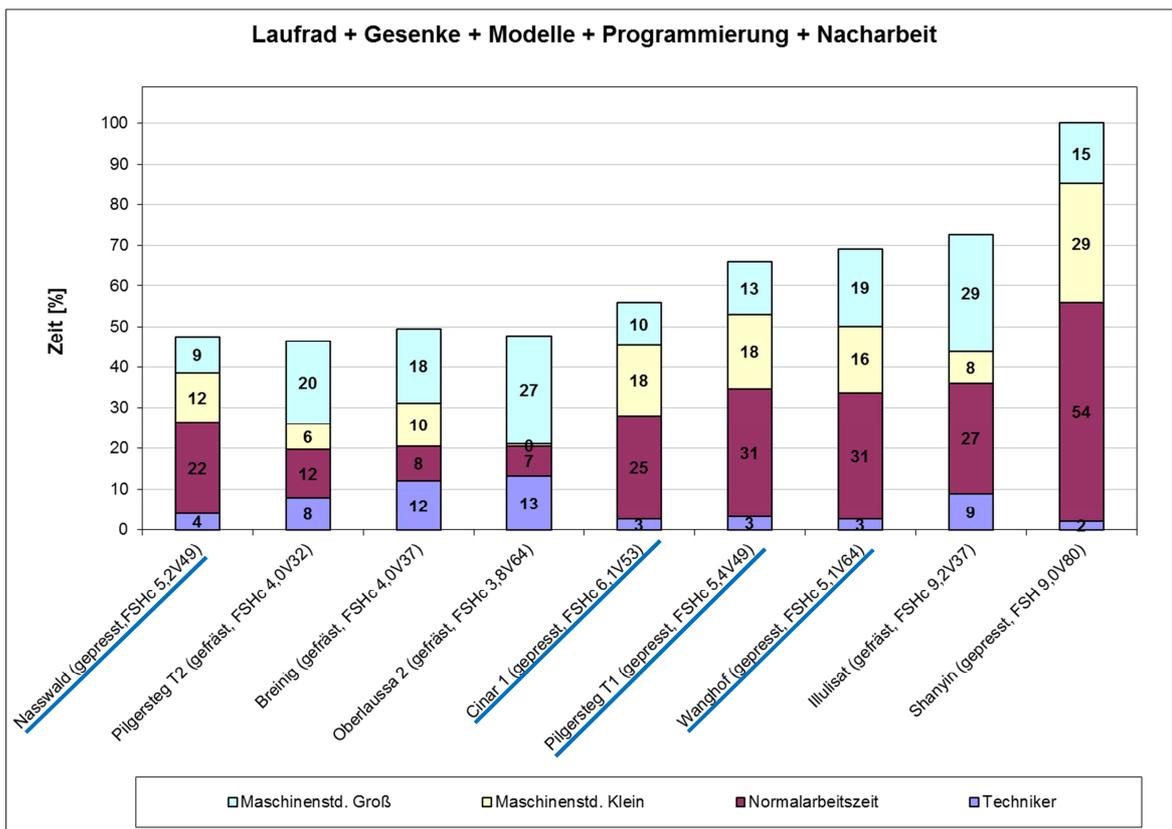


Abbildung 4.8: Stundenvergleich Laufräder

Aufgrund der Darstellung aus Abbildung 4.7 ist es naheliegend die Kosten der einzelnen Blöcke zu vergleichen. Einerseits sind die Herstellkosten in Material und Fertigungskosten aufgeschlüsselt und andererseits zeigt sie die Gegenüberstellung der Gesenke, Modelle und der Programmierung.

Aus Abbildung 4.9 wird ersichtlich, dass bei Cinar 1 die Materialkosten, im Vergleich zu den anderen Laufrädern, einen höheren Anteil der Herstellkosten verursacht haben. Aus diesem Grund erfolgte die Herstellung der Laufräder Pilgersteg T1 und Wanghof mittels Ronde. Dort entsprechen die Materialkosten den Preisen von Nasswald, allerdings sind dadurch auch deutliche Zuwächse der Fertigungskosten zu erkennen. Doch nicht allein die Bearbeitung der Ronde ist für diese Zuwächse verantwortlich. In Kapitel 4.1.7 und 4.1.8 werden weitere Ursachen aufgezeigt.

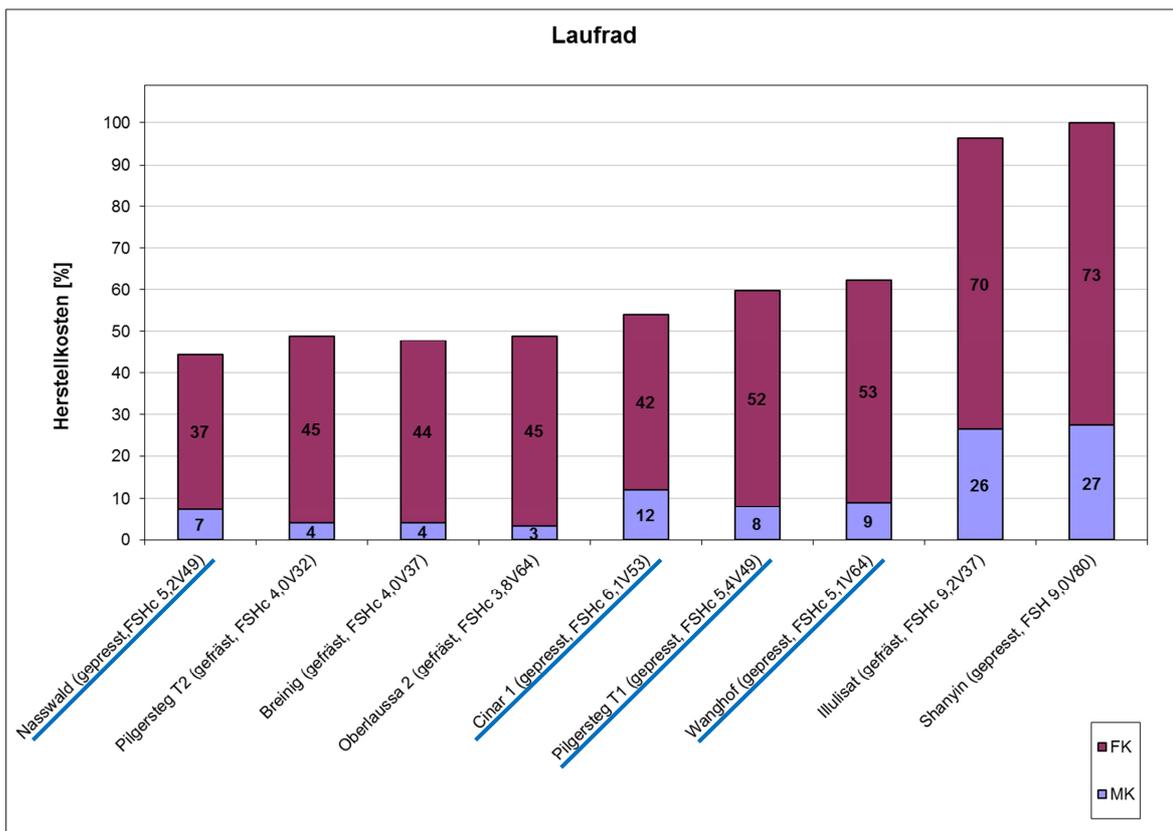


Abbildung 4.9: Kostenvergleich MK/FK Laufräder

Aus Abbildung 4.10 wird ersichtlich, dass bei KW Wanghof keine Materialkosten für das Gesenk aufscheinen und zeigt eine weitere Problematik des Kostenvergleichs. Es sind keine Materialkosten für das Gesenk auffindbar, obwohl die Schaufeln gepresst sind. Naturgemäß und durch nachfolgende Darstellung würde man den Schluss ziehen, die Materialkosten des Gesenks eines vergleichbaren Laufrades zu verwenden, allerdings sind diese bei Pilgersteg T1 um den fünffachen Wert höher, als bei KW Nasswald. Dies sind zirka 10 Prozent, bezogen auf die Herstellkosten von Shanyin. Dass bei Nasswald im Gegensatz zu Pilgersteg T1 Kosten für Modelle, den Laufradkranz und den Boden notwendig waren, ist aus dieser Darstellung nicht klar ersichtlich.

Allerdings zeigt diese Grafik auch deutliche Kosteneinsparungen, bei der Verwendung des Fräsverfahrens aus zwei Rohlingen, auf. Zumindst bei den Folgeprojekten von Breinig (Pilgersteg T2, Illulisat) ist diese Einsparung ersichtlich.

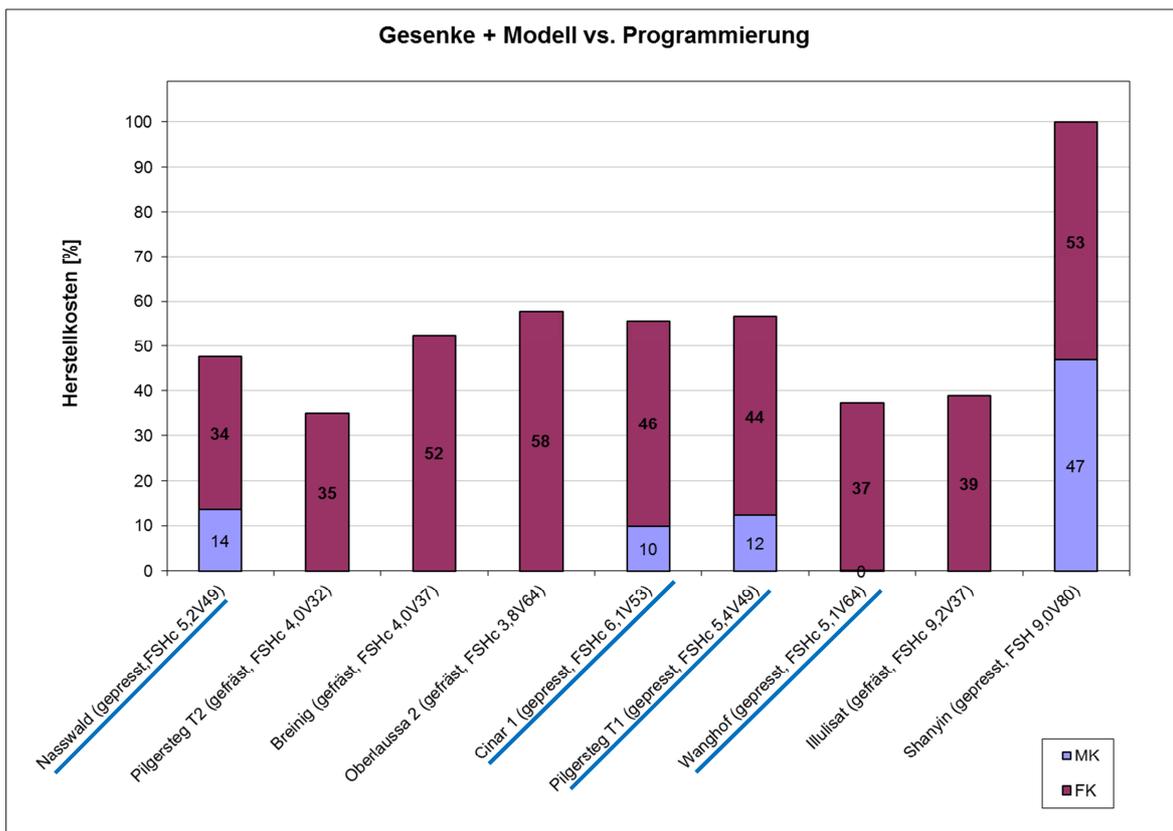


Abbildung 4.10: Kostenvergleich MK/FK Komponenten

Der nachfolgende Stundenvergleich gibt einen Überblick über die belasteten Kostenstellen der oben gezeigten Komponenten. Die prozentuelle Stundenaufteilung bezieht sich auf den höchsten Wert der Durchlaufzeiten, dem Projekt Oberlaussa 2. Da die Modelle zugekauft werden, ist keine Bearbeitungszeit notwendig und somit wirken sich die Modelle ausschließlich auf die Materialkosten (HW) aus. Der hohe Anteil der Technikerstunden bei der herkömmlichen Fertigung, setzt sich aus den Stunden der Schaufelprogrammierung und der Programmierung des CAM-Programmes des Gesenks zusammen.

Bei Oberlaussa 2 kann laut befragten Technikern von keinem Lerneffekt wie von Breinig auf Pilgersteg T2 ausgegangen werden und die angefallenen Stunden sind für zukünftige Kalkulationen heranzuziehen.

Zu Beginn der Untersuchungen wurde von verschiedenen Personen darauf hingewiesen, dass die CAM-Programme, wie die Zeichnungen der Konstruktion, skalierbar wären. Die Gespräche mit den Programmierern ergaben, dass dies nicht möglich ist und die Stunden von Pilgersteg T2 bzw. Illulisat für die Programmierung von gefrästen Laufräder aus zwei Rohlingen notwendig sind. Dabei ist die Stundenanzahl von Pilgersteg T2 für Aufträge mit einem Laufrad und Illulisat für Aufträge mit mehreren Laufrädern notwendig. Der Grund liegt in der Optimierung des CAM-Programmes durch den Techniker, die erst bei mehreren Laufrädern wesentliche Zeiteinsparungen in der Fertigung bewirken und dieser zusätzliche Aufwand nur bei einer höheren Stückzahl wirtschaftlich ist.

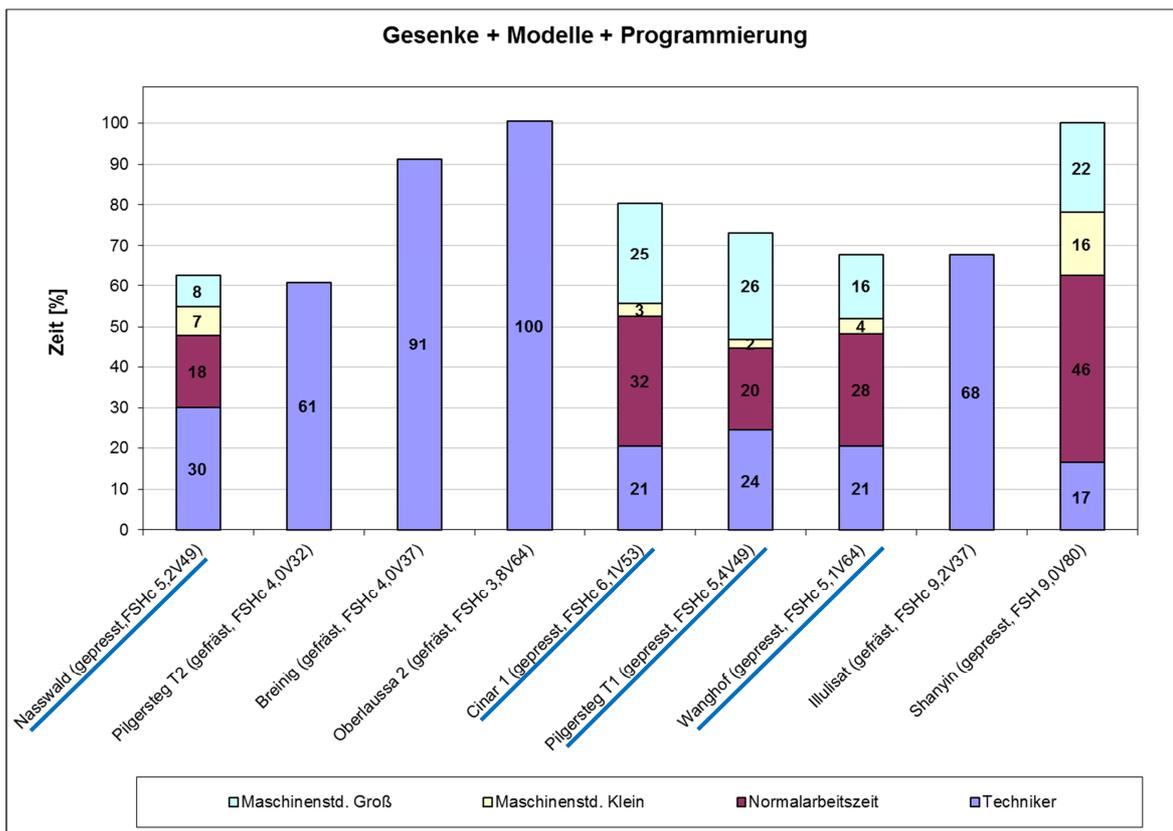


Abbildung 4.11: Stundenvergleich MK/FK Komponenten

In den Kostentreiberanalysen nachfolgender Kapitel werden die Laufräder Illulisa und Shanyin, aufgrund ihrer Größe und dem daraus folgenden Kostensprungs, nicht miteinbezogen. Alle prozentuellen Darstellungen beziehen sich auf die Fertigungskosten des KW Wanghof inklusive Fertigungskosten der Nacharbeit. Die Summierung aller Teile ergibt durch Rundungen nicht immer 100 Prozent. Wie aus Abbildung 4.9 ersichtlich ist, sind bei diesem Projekt, auch abzüglich der Kosten der Nacharbeit, die höchsten Fertigungskosten aufgetreten. Die Ergebnisse der Materialkostenanalyse werden auf Seite 65 dargestellt und bei der Grenzkurvenermittlung erörtert.

4.1.5 KW Nasswald

Die Fertigung verlief, bis auf einen kleinen Materialfehler und der daraus notwendigen Nacharbeit (wurde in Nacharbeitsprotokoll dokumentiert), ohne zusätzlichen Aufwand und ist daher als Referenzlaufrad heranzuziehen. Somit ergeben sich die Kernkosten für die Fertigung eines Laufrades nach herkömmlicher Fertigung. Allerdings ist zu beachten, dass nach KW Nasswald neue Schweißstandards eingeführt wurden.

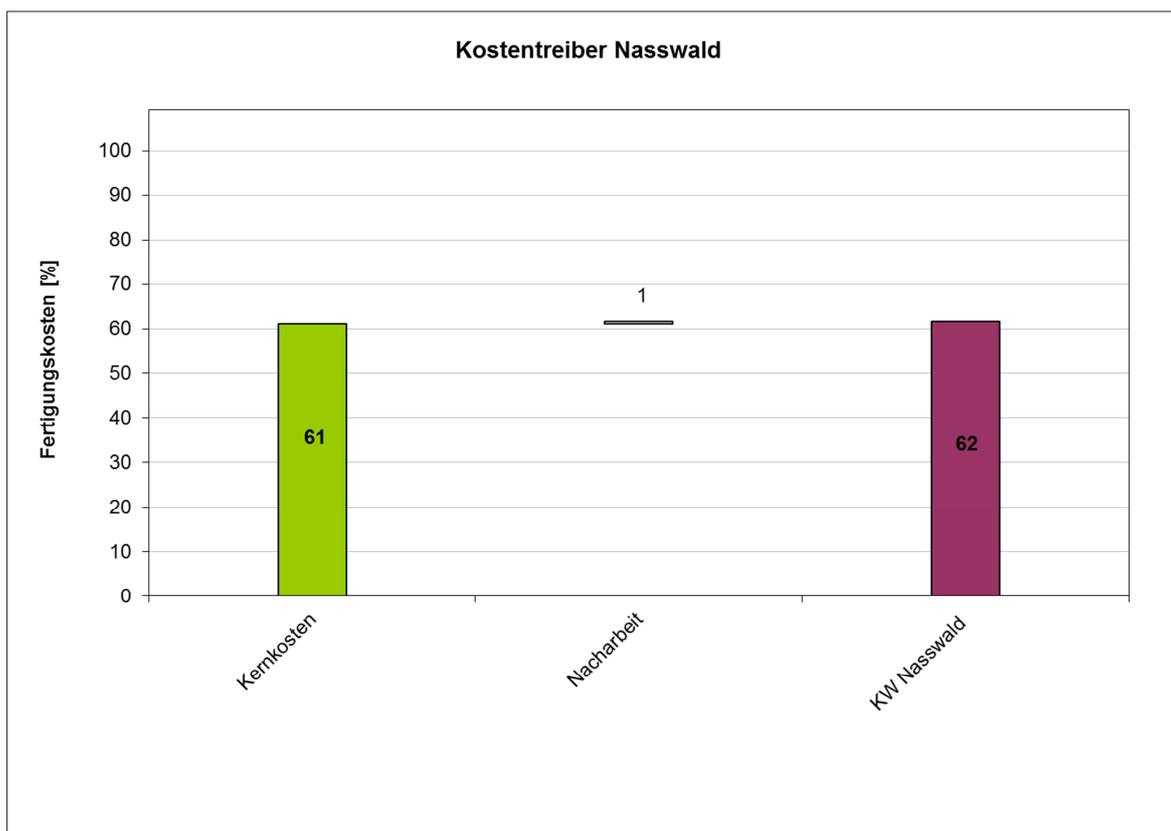


Abbildung 4.12: Kostentreiber Laufrad KW Nasswald

4.1.6 KW Cinar 1

Die Fertigung dieses Laufrades verlief ohne Zwischenfälle. Allerdings sind beträchtliche Kostenunterschiede zum Laufrad Nasswald aufgetreten. Wie die Gespräche ergaben, ist dies durch neu eingeführte Prüfverfahren zu erklären. Nach einem Vergleich der Prüfprotokolle mit Herrn Jellitsch, sah ich, dass alle Laufräder denselben Prüfungen unterzogen wurden. Daraufhin stellte sich heraus, dass es sich eigentlich um neue Schweißstandards⁷² handelt. Diese Schweißung benötigt größere Fasen der Laufradschaufel, die meist auf der Fräsmaschine gefertigt werden. Bei KW Nasswald wurden die Fasen durch Schleifer gefertigt (vgl. Stundensätze Formel (3.1)). Der Schweißaufwand steigt aufgrund der dickeren Schweißwurzel und die Schleifungen einzelner Lagen erhöhen die Schleifstunden. Diese Lagen werden geprüft und erhöhen den Prüfaufwand. Die Kosten der Schweißstandards hängen entscheidend von der Schaufelbreite und dem Durchmesser des Laufrades ab. Eine geometriebezogene Kostenabschätzung kann allerdings nicht vorgenommen werden, da einerseits keine Erfahrungen diesbezüglich vorhanden sind und andererseits viele unterschiedliche Faktoren (Erfahrung, Tagesverfassung, Zugänglichkeit etc.) auf die Kosten einwirken.

⁷² Nasswald: Schaufeln auf 2/3 der Schaufelbreite verschweißt (1/3 Schweißnaht, 1/3 Wandstärke, 1/3 Schweißnaht); Cinar 1: die volle Schaufelbreite geschweißt

Nach der Präsentation der Ergebnisse wurde festgestellt, dass diese Schweißstandards irrtümlich eingeführt wurden und eigentlich die Schweißstandards des KW Nasswald anzuwenden gewesen wären.

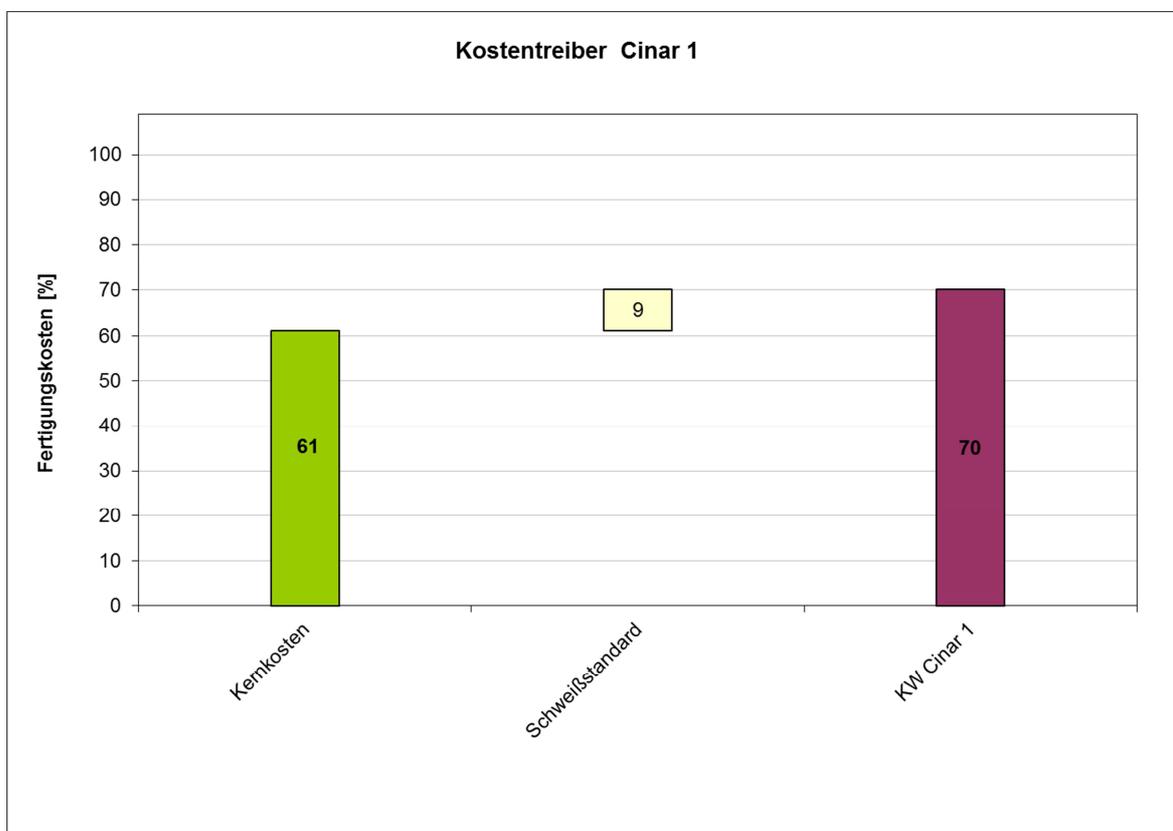


Abbildung 4.13: Kostentreiber Laufrad KW Cinar 1

4.1.7 KW Wanghof

Erstmalig wurde eine Ronde für Laufradboden und Kranz verwendet. Dadurch ergaben sich zusätzliche Arbeiten in der Fertigung, welche zehn Prozent der gesamten Fertigungskosten betragen. Da diese Art der Laufradherstellung erstmals durchgeführt wurde, sind Lerneffekte zu erwarten. Diese sind in der Ursachenanalyse des KW Pilgersteg T1 erkennbar.

In der Regel werden rechtsdrehende Laufräder gefertigt. Dieses Laufrad hat eine gegenläufige Drehrichtung (linksdrehend) zum Laufrad Nasswald (rechtsdrehend). Mitarbeiter der Fertigung stellen immer wieder Zeitunterschiede aufgrund dieser Eigenschaft fest und beziffern einen Zeitverlust beim Schweißen und Schleifen von zirka 20 Prozent. Es ist entscheidend, welche Hand als Führungs- bzw. Arbeitshand eingesetzt werden kann. Der Zeitverlust ist demnach von der Konstellation der Händigkeit des jeweiligen Mitarbeiters und der Drehrichtung des Laufrades abhängig. Um die exakten Werte dieses Phänomens zu erhalten, müssten personenbezogene Zeitaufzeichnungen ausgewertet werden. Dadurch kann es zu einer Bewertung der Arbeit einzelner Mitarbeiter kommen. In Absprache mit Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni wird diese Analyse nicht vorgenommen. Stattdessen werden den Fertigungskosten des

Laufrades Wanghof die Kosten der Zusatzarbeiten der Ronde (CNC-Drehen), die Kosten der irrtümlich eingeführten Schweißstandards (KW Cinar 1) und die Fertigungskosten der Nacharbeit abgezogen. Letztere sind durch gesonderte Zeitaufzeichnungen erfasst und sind durch Fertigungsfehler entstanden. Die Differenz zu den Kernkosten Cinar 1 wird der Drehrichtung des Laufrades zugeordnet. Somit ergibt sich eine achtprozentige Steigerung der Fertigungskosten.

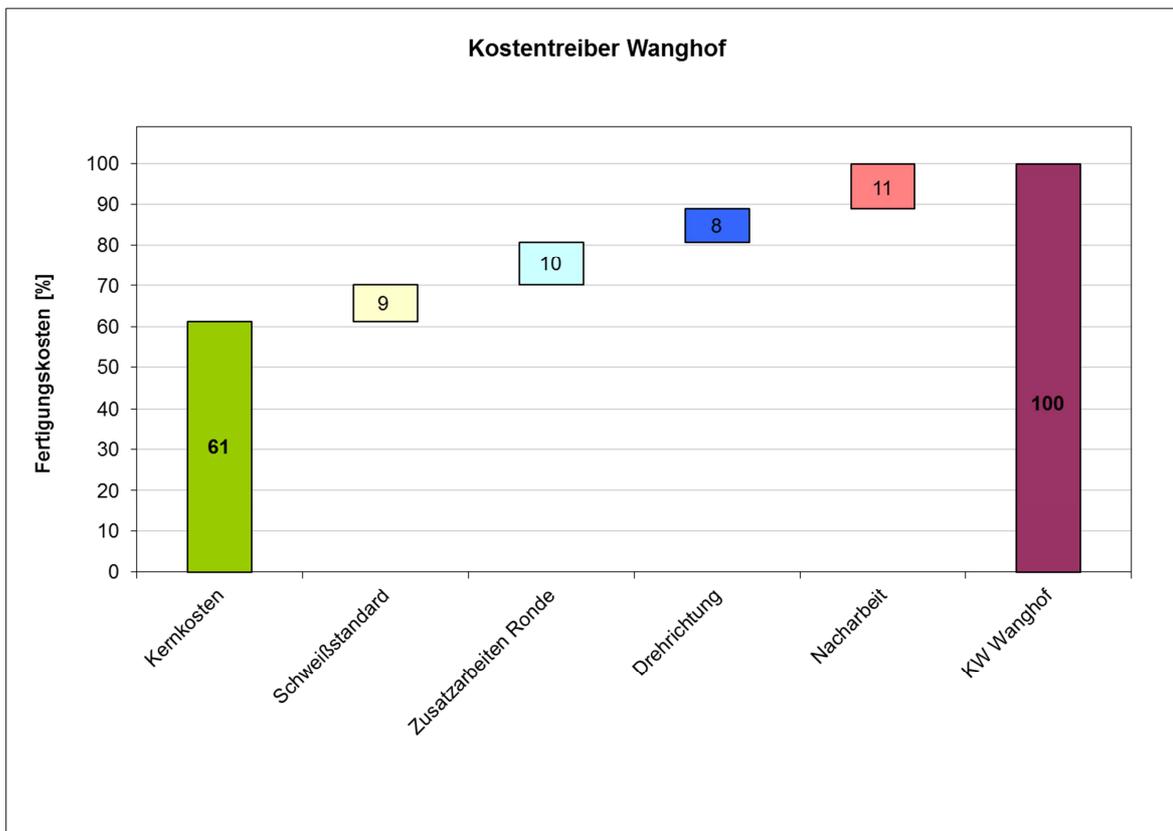


Abbildung 4.14: Kostentreiber Laufrad KW Wanghof

4.1.8 KW Pilgersteg T1

In nachfolgender Abbildung wird eine Problematik der seit 2008 eingeführten Geometrien (spezifischen Drehzahlen) offensichtlich. Aufgrund der Geometrie der Voith-Schaufeln (tropfenförmig) sind nicht mehr alle Schaufeln mittels Pressverfahren fertigbar und Erfahrungswerte beim Pressvorgang (Rückfederung etc.) der alten Geometrien nur noch bedingt anwendbar. Dies spiegelt sich in diesem Fall in den Stunden des Pressvorgangs wieder. Es wurden um 100 Prozent mehr Stunden zum Pressen benötigt, als dies bei KW Wanghof notwendig war. Die zusätzlichen Arbeiten durch den Einsatz einer Ronde konnten um 80 Prozent, gegenüber KW Wanghof, reduziert werden. Durch diese Kostenreduktion ist die Wirtschaftlichkeit dieses Herstellverfahrens, im Vergleich zu KW Wanghof, gewährleistet. Die Kostenerhöhung durch die irrtümlich eingeführten Schweißstandards wird von KW Cinar 1 übernommen. Aus den IST-Kosten KW Pilgersteg T1 abzüglich der eben angeführten Gründe, ergibt sich die Erhöhung der Fertigungskosten um elf Prozent. Diese werden der Drehrichtung zugeordnet.

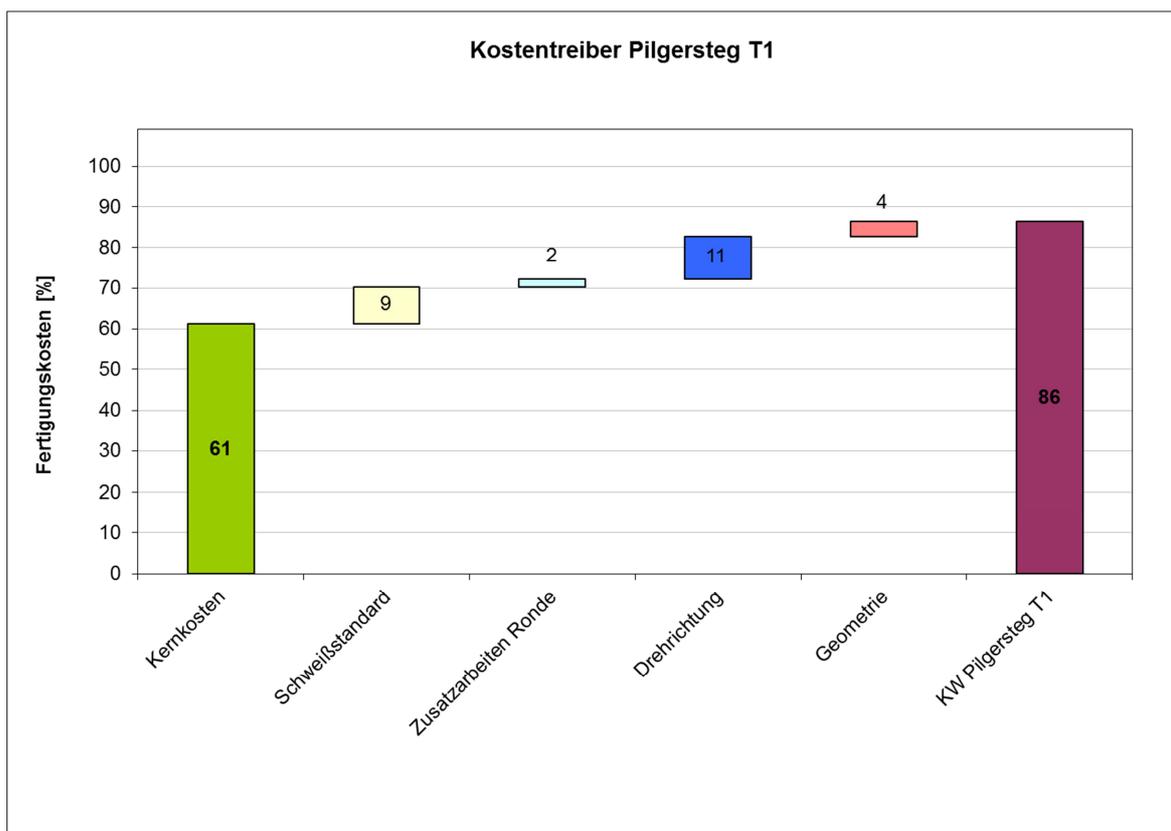


Abbildung 4.15: Kostentreiber Laufrad KW Pilgersteg T1

4.1.9 KW Breinig

Mit 73 Prozent von KW Wanghof sind die Kosten deutlich über den Kernkosten der herkömmlichen Fertigung. Es sind sonst keine Probleme in der Fertigung bekannt und nachdem es sich um die erstmalige Fertigung nach diesem Herstellverfahren handelt, sind Lerneffekte zu erwarten.

4.1.10 KW Pilgersteg T2

Bei diesem Laufrad wurden die Grenzen der Zugänglichkeit aufgezeigt. Aufgrund dessen entstanden Fertigungsfehler, die eine Nacharbeit erforderten. Diese wurde auf zirka eine Woche geschätzt. Betroffen waren die Schweißer, der Maschinenpark und die Schleifer. Diese Zeit wurde auf einzelne Kostenstellen aufgeteilt (75% Schweißen, 25% Schleifen, 1 Tag „Maschine Groß“). Es ergeben sich Kernkosten von 68 Prozent, bezogen auf die Fertigungskosten des Laufrades Wanghof.

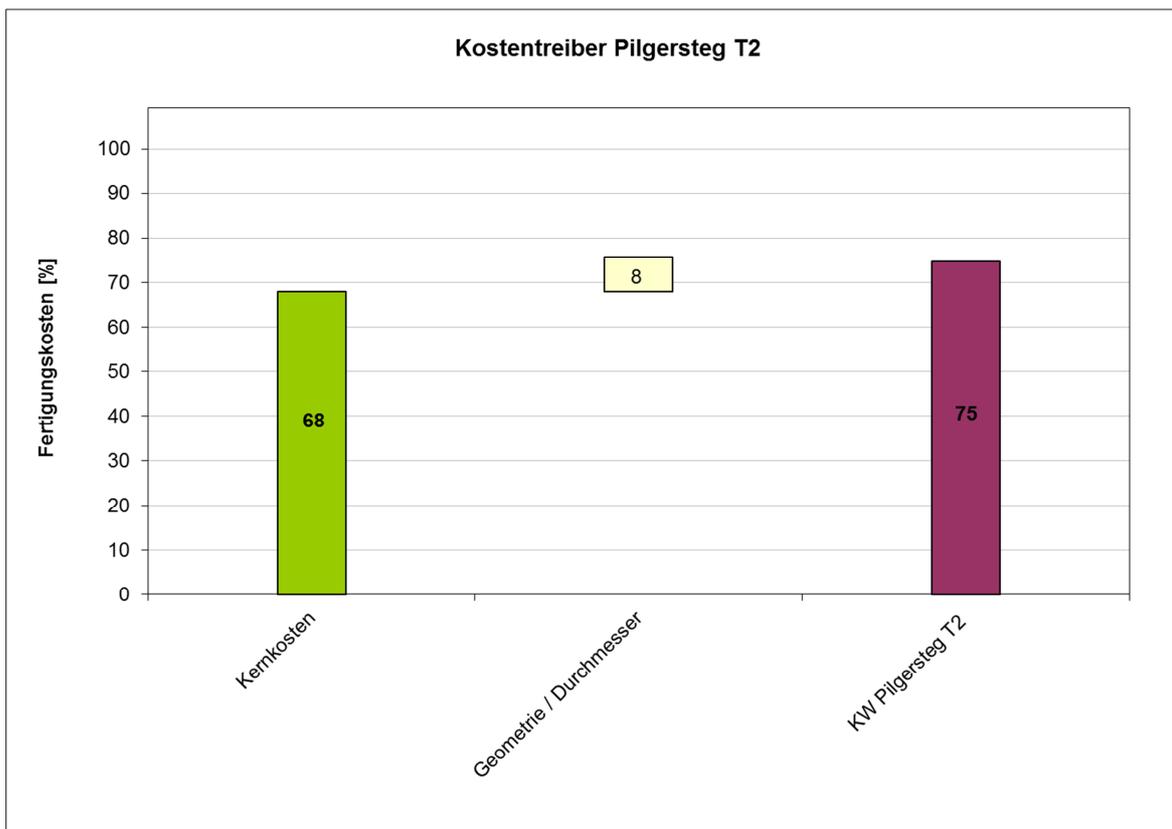


Abbildung 4.16: Kostentreiber Laufrad KW Pilgersteg T2

4.1.11 KW Oberlaussa 2

Da keine Probleme in der Fertigung aufgetreten sind, können die angefallenen Kosten als Kernkosten betrachtet werden. Mit 76 Prozent sind es die höchsten Fertigungskosten aller verglichenen Laufräder. Allerdings ist zu beachten, dass sich die Kosten wesentlich reduzieren können, wenn Baugrößen im Bereich Nasswald gefertigt werden. Durch kleinere Baugrößen können keine großen Werkzeuge (Schleifen, Schweißen) verwendet werden, die Zugänglichkeit ist stark eingeschränkt und dadurch wird eine rasche Bearbeitung wesentlich behindert. Wegen der erstmaliger Fertigung aus dem Vollen, sind Lerneffekte zu erwarten. Die Kostenreduktion (6 Prozent) von KW Pilgersteg T2 zu KW Breinig, wird auf Oberlaussa 2 übertragen und dadurch fiktive Kernkosten für dieses Verfahren generiert (vgl. Abbildung 4.17).

4.1.12 Vergleich der ermittelten Kernkosten

Im Vergleich zu Kapitel 3.7 wurde auf die Einrechnung des Boston Effektes verzichtet, da dieser, aufgrund der neuen hydraulischen Geometrien, auch der herkömmlichen Fertigung zugerechnet werden müsste. Stattdessen wurde ein „Best Case“ Szenario für das Fertigungsverfahren aus zwei Rohlingen (Größe Breinig) ermittelt. Die geringe Anzahl bisher gefertigter Laufräder, die ungenauen Kenntnisse der notwendigen Arbeitszeiten und die unzuverlässige Zeiterfassung (Schleifen, Schweißen) machten dies notwendig. Eine Analyse der Pelton-Laufräder, die bereits seit längerem aus dem Vollen gefräst

werden, sollte die Lerneffekte der Fräsverfahren zeigen und diese hätten auf die Francis-Laufräder angewendet werden sollen. Diese Untersuchungen lieferten keine zuverlässigen Aussagen und laut befragten Technikern ist mit keinen erheblichen Zeiteinsparungen (Sprünge wie bei Pelton-Laufrad-Fertigung) mehr zu rechnen, da die Erfahrungen (neue Werkzeuge, CAM-Programmoptimierung etc.) der Pelton-Laufradfertigung bereits in die Fräsverfahren der Francis-Laufräder eingeflossen sind. Somit wurde auf die Auswertung der Kernkosten zurückgegriffen und ein Lerneffekt von zehn Prozent der „Maschinenstunden Groß“ angenommen (bezogen auf Breinig). Die Schweiß- und Schleifstunden wurden aufgrund der Erfahrungen aus der Laufradfertigung der Projekte Breinig, Pilgersteg T2 und Illulisaat abgeschätzt. Diese beziehen sich auf Mitarbeiter, die bereits eine hohe Erfahrung in der Fertigung von Laufrädern besitzen und setzen eine ideale Drehrichtung, bezüglich der Händigkeit des Mitarbeiters, voraus. Für das Wuchten und die zerstörungsfreie Prüfung wurden übliche Werte aus der Zeiterfassung von Projekten ähnlicher Größen übernommen.

Diese Kosten wurden als „Best Case“ bezeichnet, da laut Angaben der befragten Mitarbeiter mit folgenden Kostenschwankungen bzw. Kostensprüngen zu rechnen ist:

• Schweißen:

plus 60 Prozent (Größe: Illulisaat)

plus 125 Prozent (Zugänglichkeit, Schweißerfahrung, Tagesverfassung)

• Schleifen:

plus 100 Prozent (Größe: Illulisaat)

plus 140 Prozent (Zugänglichkeit, Schleiferfahrung, Tagesverfassung)

• Schweißen/Schleifen:

Zeitaufwand Linksdrehend = $1,2 * \text{Zeitaufwand Rechtsdrehend}$

(bezogen auf ideale Konstellation Händigkeit: Rechtshänder - rechtsdrehend, Linkshänder - linksdrehend)

Selbstredend gelten diese möglichen Kostenschwankungen auch für das herkömmliche Verfahren und zeigen die Unkalkulierbarkeit von Handarbeit gegenüber maschineller Bearbeitung.

In Abbildung 4.17 erfolgt eine Gegenüberstellung der ermittelten Kernkosten der jeweiligen Verfahren und des „Best Case“ Szenarios. Die ermittelten Kernkosten der Fertigung sprechen für das herkömmliche Verfahren. Das „Best Case“ Szenario weist um neun Prozent geringere Kosten als die ermittelten Kernkosten des Laufrades Pilgersteg T2 auf. Dadurch ist ersichtlich, dass weitere Kriterien untersucht werden müssen.

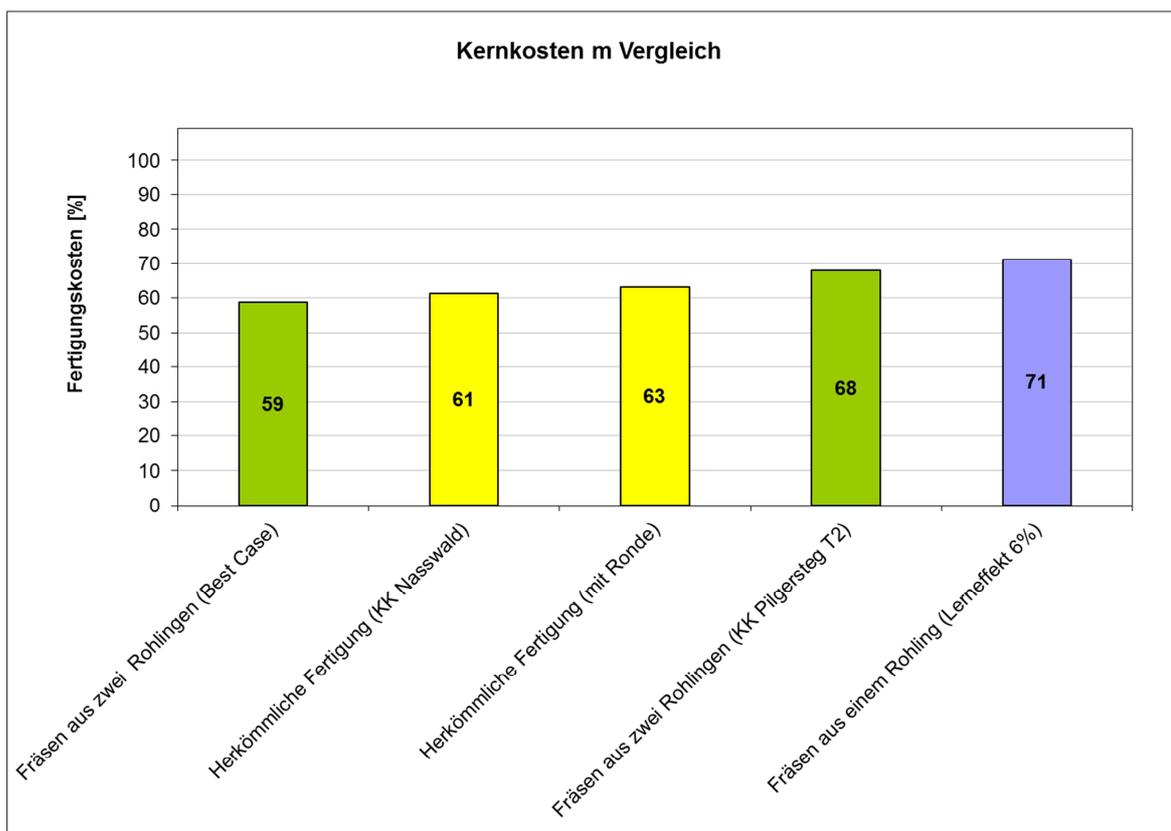


Abbildung 4.17: Kernkosten Laufradfertigung

Da nicht ausschließlich die Kosten, sondern auch die Durchlaufzeit und der Verwaltungsaufwand der Laufradfertigung entscheidende Kriterien zur Verfahrensfestlegung darstellen, wird eine Gegenüberstellung der Durchlaufzeiten der Kernkosten in Abbildung 4.18 durchgeführt. Die Stunden beziehen sich wiederum auf die Gesamtstunden des KW Wanghof. Daraus wird der wesentliche Vorteil und zugleich Nachteil des Fräsverfahrens aus einem Rohling ersichtlich. 77 Prozent der Stunden fallen bei den „Maschinenstunden Groß“ an und reduzieren die Durchlaufzeit erheblich. Allerdings sind dies auch die kostenintensivsten Stunden (vgl. Formel (3.1)). Die Kernkosten des Laufrades Pilgersteg T2 weisen um 9 bzw. 11 Prozent weniger Stunden als die herkömmlichen Verfahren auf. Das „Best Case“ Szenario liegt um sechs Prozent unter den Gesamtstunden des Fräsverfahrens aus dem Vollen.

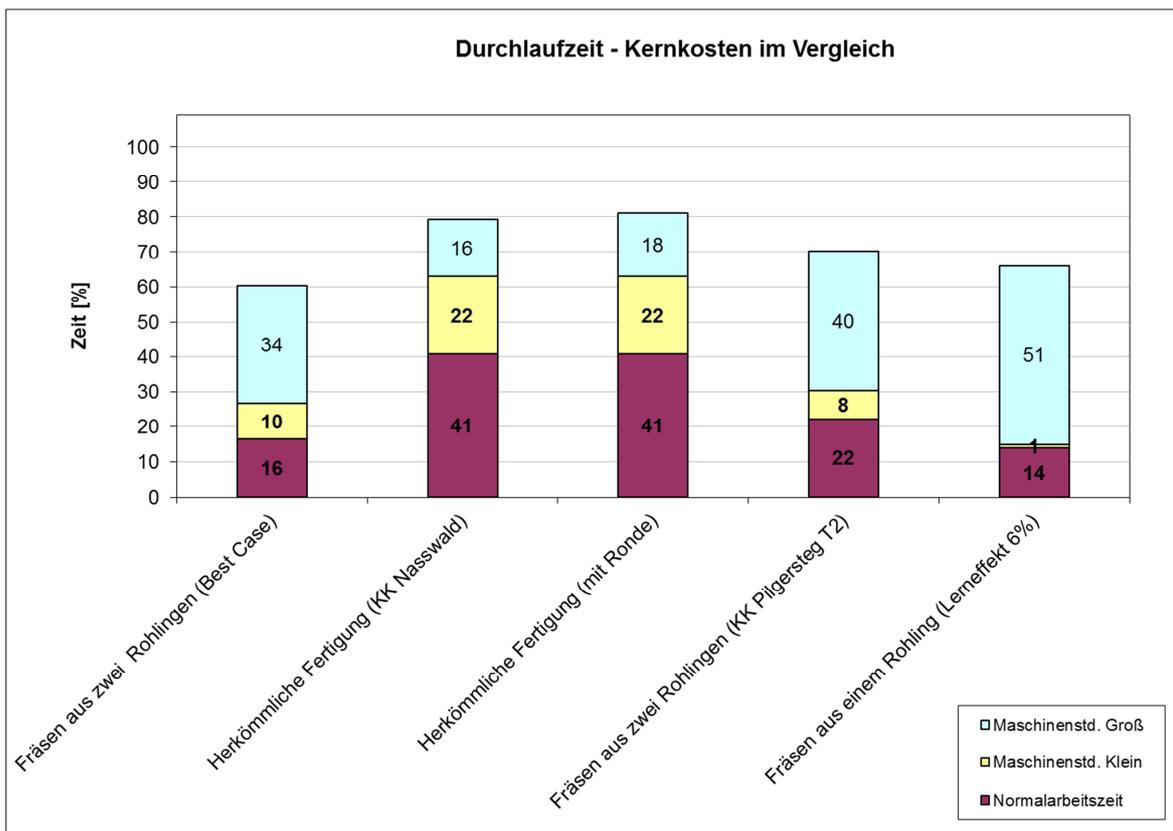


Abbildung 4.18: Kernkosten-Durchlaufzeit Laufradfertigung

Da auch die Herstellkosten und Durchlaufzeiten der Komponenten entscheidend auf die Auswahl des Fertigungsverfahrens einwirken, wird in nachfolgender Abbildung der Gesamtkosten- und Gesamtdurchlaufzeitenvergleich (Laufrad und Komponenten) durchgeführt. Da das „Best Case“ Szenario die geringsten Werte in beiden Kategorien, sowohl in der Laufradfertigung, als auch bei den Komponenten aufweist, dienen diese Werte als Basis, d. h. es wird ermittelt, welche Kosten- und Durchlaufzeiterhöhung des jeweiligen Verfahrens gegenüber dem „Best Case“ Szenario angefallen sind.

Für die Gesenke werden die Materialkosten des Projektes Pilgersteg T1 (aktuellsten Werte) und die Durchlaufzeiten des KW Wanghof (geringsten realistischen Werte) verwendet. Bei der herkömmlichen Fertigung werden die Modellkosten des KW Nasswald (höchsten verfügbaren Werte) verwendet. Trotz der Verwendung eines Modells für Boden und Kranz sind nur gering erhöhte Kosten zu KW Cinar1 (nur Boden Modell) angefallen. Für die Programmierung des CAM-Programmes dienen die Stunden des Laufrades Illulisat (max. notwendigen Stunden – wenn mehrere Laufräder). Zusammenfassend bedeutet das, dass die Werte des herkömmlichen Verfahrens „Best Case“ Werte dieses Verfahrens darstellen und bei den neuen Verfahren eher eine pessimistische Annahme der Programmierzeit verwendet wird.

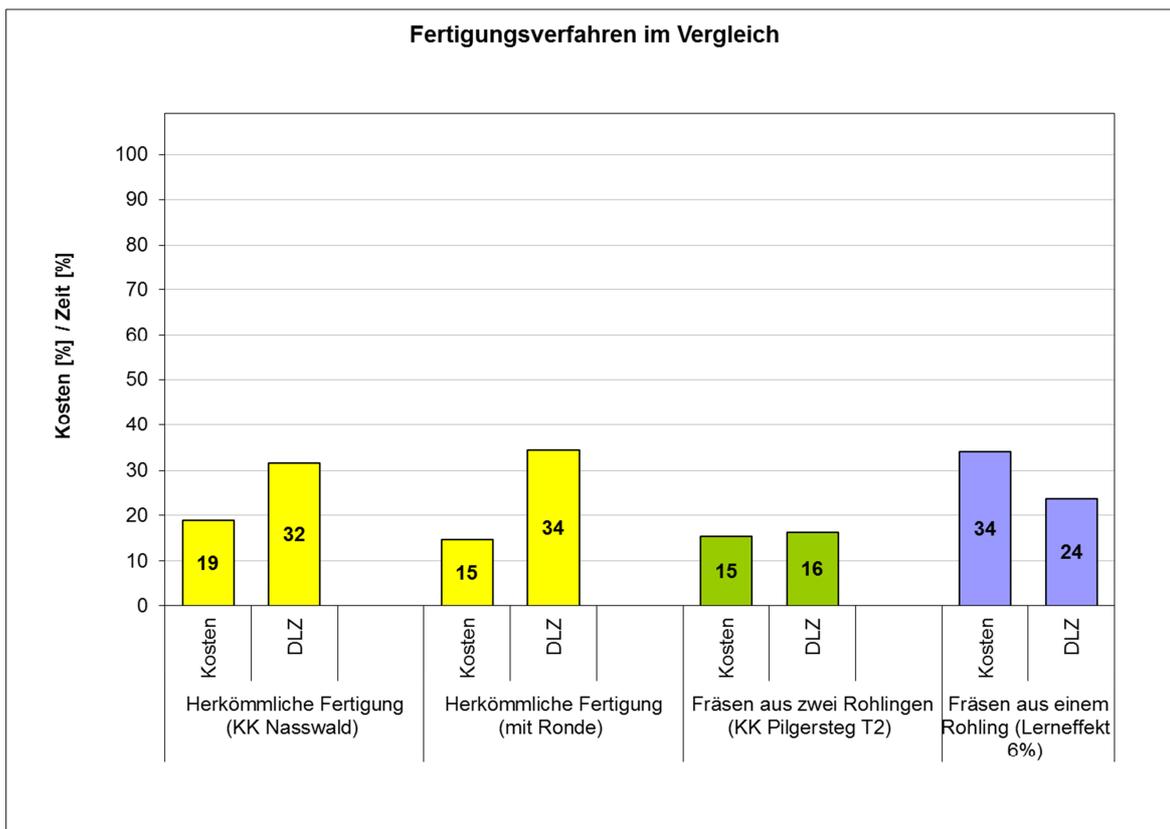


Abbildung 4.19: Fertigungsverfahren im Vergleich

Aus oben gezeigter Darstellung wird ersichtlich, dass die Durchlaufzeiten (DLZ) des Fräsverfahrens aus einem Rohling, den Vorteil der kurzen Laufradfertigung durch die hohen Programmierzeiten einbüßt. Die Kostendifferenz ist, im Vergleich zum Fräsverfahren aus zwei Rohlingen, mehr als doppelt so hoch und somit ist dieses Verfahren keine wirtschaftliche Alternative zur herkömmlichen Fertigung. Bei ersten drei Verfahren sind die Kosten auf einem ähnlichen Niveau angesiedelt. Die Fertigung der Laufräder nach herkömmlichem Verfahren benötigt zirka eine Woche länger und somit ist die Fräsvariante aus zwei Rohlingen, bei *ECO Line* Laufrädern, zu bevorzugen. Bei all diesen Aspekten muss berücksichtigt werden, dass keine exakte Berücksichtigung der Größe (inkl. Geometrie) erfolgt ist. In der Grenzkurvenermittlung wird versucht, dieses Kriterium zu berücksichtigen.

Ein weiterer Punkt, der in dieser Betrachtung nicht aufscheint, sind die Materialkosten der Laufräder. Bei der Verwendung einer Ronde handelt es sich um Stangenware, ist somit auf den Kilopreis bezogen günstiger, aber es muss auch mehr Material angeschafft werden, als für das Endprodukt notwendig ist. Schmiederohlinge sind auf den Kilopreis bezogen ebenfalls günstiger, als gegossene Boden oder Kränze, allerdings sind hohe Materialabfälle zu erwarten. Aus diesen Abfällen kann man zirka ein Zehntel der Anschaffungskosten lukrieren. Aus den Untersuchungen des Materialaufwandes konnten folgende Eigenschaften des Materialverbrauchs festgestellt werden:

$$\text{Rohgewicht}_{\text{Herkömmliche Fertigung}} = \text{Wuchtmasse} * (2,0 \text{ bis } 2,6)$$

$$\text{Rohgewicht}_{\text{Herkömmliche Fertigung/RONDE}} = \text{Wuchtmasse} * (5,3 \text{ bis } 6,4)$$

$$\text{Rohgewicht}_{\text{Fräsen aus zwei Rohlingen}} = \text{Wuchtmasse} * (5,3 \text{ bis } 7,2)$$

$$\text{Rohgewicht}_{\text{Fräsen aus einem Rohling}} = \text{Wuchtmasse} * (4,6)$$

(4.1)

In Kombination mit den Kosten pro Kilogramm (Abbildung 4.6) ergibt sich der Streubereich der Materialkosten und zeigt zugleich die Schwierigkeit der langfristigen Verfahrensfestlegung für zukünftige Projekte (Marktpreise) mit Berücksichtigung der Materialkosten.

4.1.13 Grenzkurvenermittlung

Die Materialkosten wurden untersucht, um entsprechende Trends zu identifizieren und in die Grenzkurvenermittlung einfließen lassen zu können. Hohe Streuungen aller bisherigen Kosten erlauben keine seriöse Einbindung und daher wird auf diese Darstellung verzichtet.

Wie bereits auf Seite 64 erwähnt, wird hier versucht, eine geometrieunabhängige wirtschaftliche Grenzkurve des Fräsverfahrens aus zwei Rohlingen zu finden. Die schwarzen Trendlinien nachfolgender Abbildung zeigen alle bisher gefertigten Laufräder mit herkömmlichem Fertigungsverfahren, bereinigt um den Wert der ermittelten Zusatzkosten des irrtümlich eingeführten Schweißstandards (vgl. Kostentreiberanalyse). Auf der Ordinate sind die Kosten und auf der Abszisse sind Werte einer von Kössler ermittelte Formel aufgetragen, die die Geometrie und die Größe der Laufräder berücksichtigt. Untersuchungen zur Findung eines normierten Wertes, bezogen auf die hydraulische Geometrie, ergab, dass mit diesem Wert der geringste Fehler (R^2) bei der Trendermittlung erzielt wird. Die blauen Punkte stellen die jeweiligen Materialkosten, orange Punkte die Fertigungskosten und die grünen Markierungen die daraus resultierenden Herstellkosten dar. Es wurden polynomische Trendkurven (3. Potenz) mittels Excel ermittelt. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) zeigt die Genauigkeit dieser Trends. Wobei $R^2 = 1$ bedeuten würde, dass der Trend mit den Datenpunkten übereinstimmt und mit $R^2 = 0$ keine Übereinstimmung mit den Datenpunkten vorhanden wäre. Zudem sind weitere Punkte und deren Trendlinien (rot, grün) ersichtlich. Diese werden in Abbildung 4.22 genauer behandelt. Die Verläufe der schwarzen Trendlinien nehmen bei steigendem Geometriewert eine sinkende Tendenz ein. Dies kann aufgrund des erhöhten Fertigungsaufwandes, bei dem Fertigungskosten- und Herstellkostentrend, ausgeschlossen werden. Eine Verfälschung der Trends durch die geringe Anzahl der Datenpunkte ist wahrscheinlich. Ein Fertigungs- und Herstellkostenverlauf analog dem Materialkostentrend oder eine steigende Tendenz dieser zwei Verläufe ist realistisch.

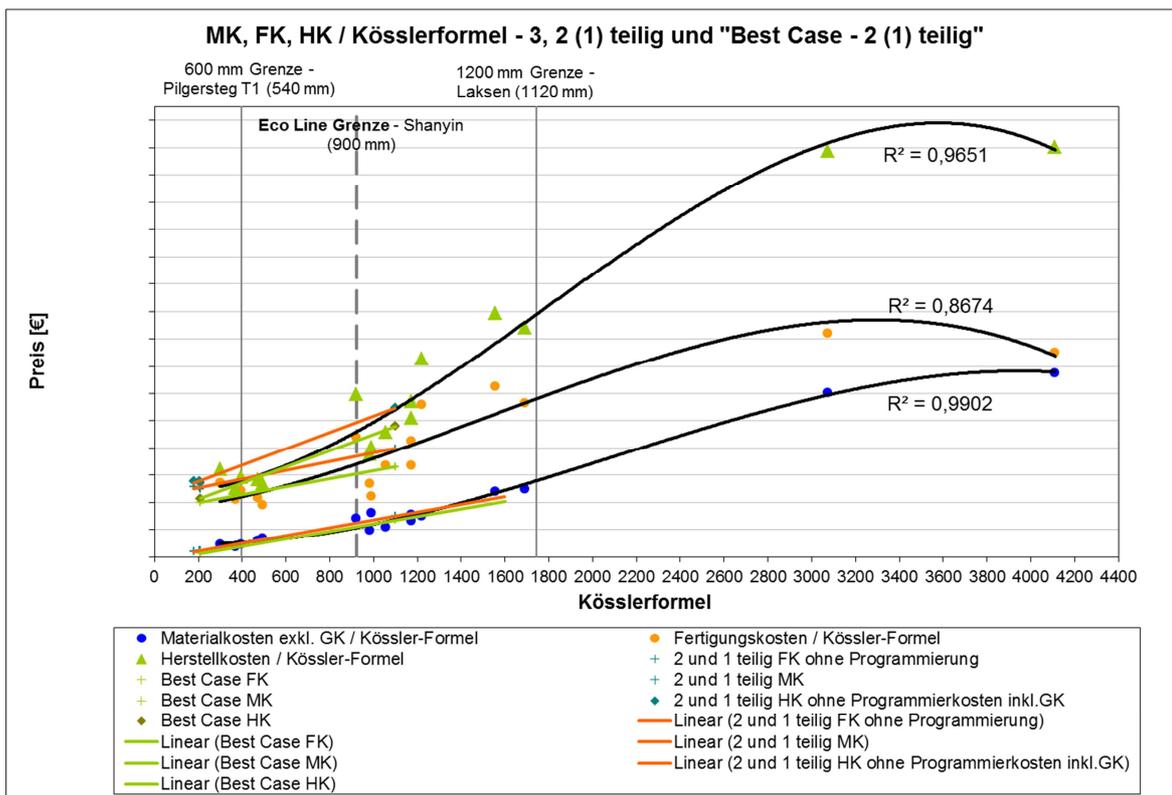


Abbildung 4.20: Kostenverlauf herkömmliche Laufradfertigung

In Abbildung 4.21 sind alle bisher gefertigten Laufräder, nach herkömmlicher Fertigung, dargestellt. Diese Darstellung ist eine kurze Zusammenfassung der Fehleranalyse aus den Gesprächen mit Ing. Fritz Neuhauser und Franz Moser. Die Anmerkung „neue Prüfstandards“ sind nicht als Prüfstandards, sondern als irrtümlich eingeführte Schweißstandards zu interpretieren.

Ziel war es, kostenintensive Fehler zu identifizieren und zu berichtigen, um anschließend eine möglichst genaue Kostenkurve zu erhalten. Dazu wurden Nacharbeitsprotokolle zusammen mit Mitarbeitern der Fertigung gesichtet, um die Arbeitszeit der angefallenen Bearbeitungsschritte analysieren und schlussendlich monetär bewerten zu können. Es musste leider festgestellt werden, dass die Nacharbeitsprotokolle nicht vollständig sein können, da sich die erhobenen Kosten (Beispiel Shanyin) nicht mit den Angaben der Gespräche decken. Zudem sind die äußerst unterschiedlichen Geometrien kaum miteinander zu vergleichen und fast jedes Laufrad war, aufgrund der neuen Voith-Geometrien, durch eine Besonderheit in der Fertigung gekennzeichnet. Daraufhin entschloss ich mich ausschließlich den Wert der irrtümlichen eingeführten Schweißstandards abzuziehen, falls dieser angewandt wurde. Bei größeren Geometrien müsste sich dieser Wert erhöhen. Das Ausmaß konnte von den Mitarbeitern nicht abgeschätzt werden und eine Analyse des Kostenwachstums wäre laut Literaturrecherche⁷³ prinzipiell möglich, aber ist im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht durchführbar.

⁷³ Rieg, Peter: Kostenwachstumsgesetze für Baureihen, Dissertation, Darmstadt, 1982.

Die drei positiven Kostenausreißer Ören, Egemen 1 und 2, Aishihik haben eine gemeinsame Eigenschaft. Es wurden mehrere Laufräder derselben Dimension gefertigt. Bei Ören und Egemen geschah dies aufgrund des Projektumfanges und bei Aishihik wegen einer Neufertigung. Dieser Tendenz widersprechen die Kosten von Shanyin. Allerdings sind dort schwerwiegende Materialfehler aufgetreten. Es ist eine prinzipielle Tendenz zu geringeren Kosten ersichtlich, wenn die Stückzahl steigt und Lerneffekte generierbar sind. Dementsprechend muss es das Ziel sein, Strategien zu entwickeln, um diese Lerneffekte zu nützen.

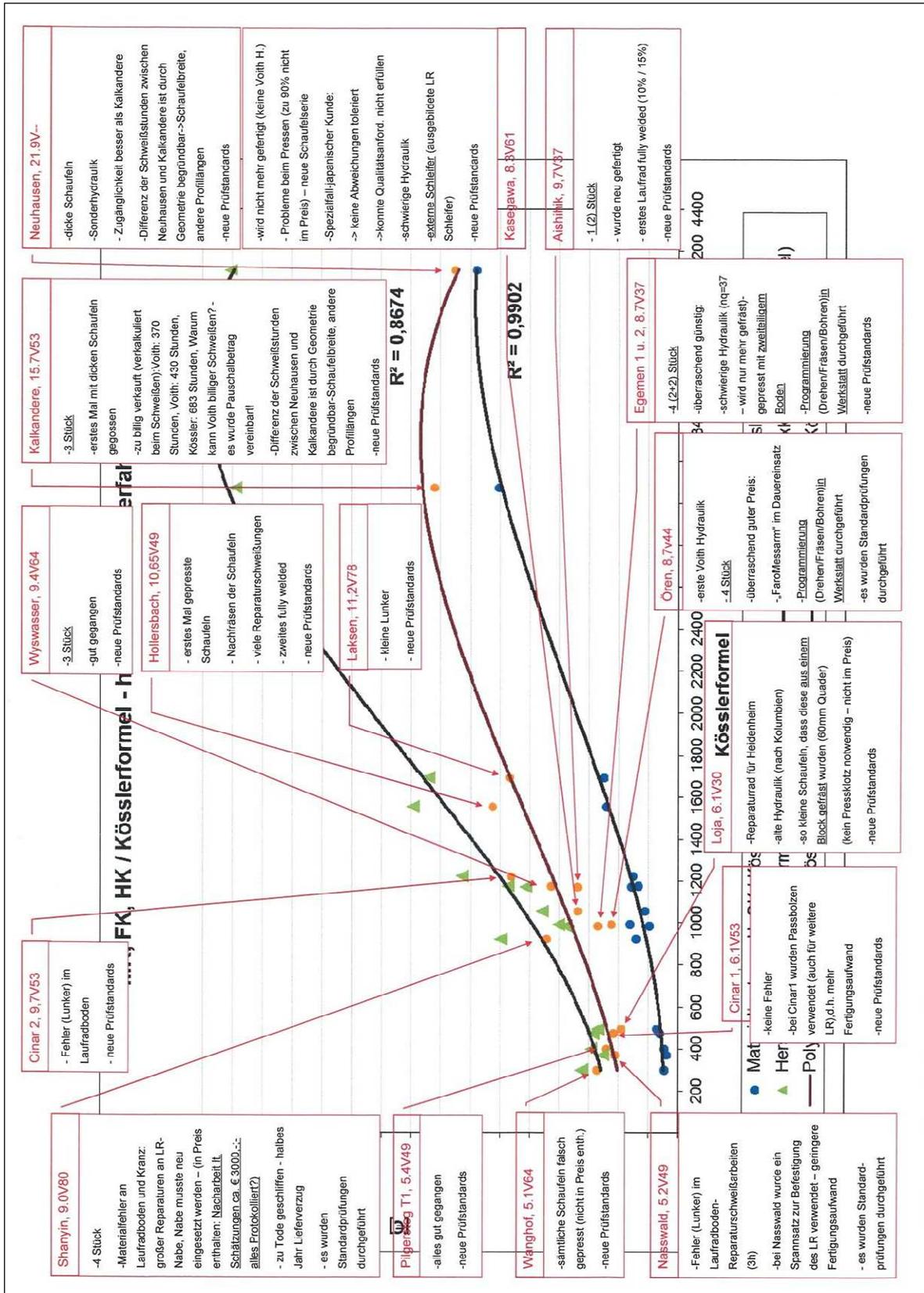


Abbildung 4.21: Fehlerermittlung Laufradfertigung

In Abbildung 4.22 erfolgt eine Detailansicht auf den Bereich *ECO Line*. Dabei zeigen die roten Trendkurven die tatsächlich angefallenen Kosten der neuen Verfahren, ohne Unterscheidung der zwei Verfahren. Die grünen Trendkurven zeigen die „Best Case“

Szenarien (Größe: Breinig, Illulifat). Zudem sind die Fertigungsgrenzen der zwei Bearbeitungszentren und die *ECO Line* Grenze (lt. Definition) eingetragen. Es wurde ein linearer Trend verwendet. Stellt man sich allerdings die Verläufe parallel verlaufend zu den schwarzen Linien vor, entspricht dies vermutlich eher der Kostenkurve der „Best Case“ Szenarien. Allerdings sind dann immer noch Kostenpunkte unter dieser Linie vorhanden und dies stellt die Wirtschaftlichkeit des Fräsverfahrens aus zwei Rohlingen ebenfalls in Frage. Es ist außerdem zu erkennen, dass sich die Kosten ab einer bestimmten Größe wieder erhöhen (in Richtung kleiner Kössler-Werte), d.h. es entspricht den Aussagen der Mitarbeiter, dass kleine Größen nicht unbedingt günstiger zu fertigen sind.

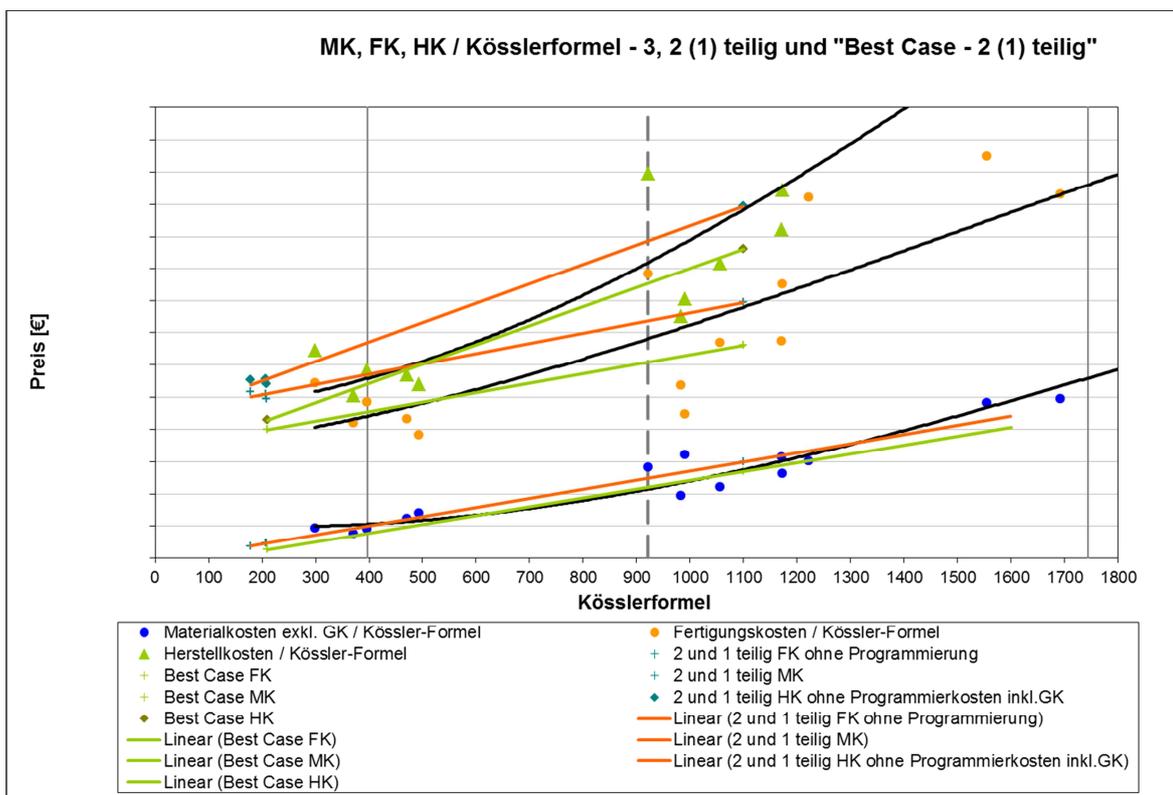


Abbildung 4.22: Grenzkurven Laufradfertigung

Es wurde versucht eine Grenzkurve, nach Pahl/Beitz und dessen beschriebenem Vorgehensmuster zur Ermittlung der Kosten von geometrisch ähnlichen Baureihen, zu erstellen. Weiters wurde eine Grenzkurve, mittels Ermittlung der Potenzen der Herstellschritte über Excel, ausgehend von den Werten von Breinig und Illulifat und den Angaben nach Pahl/Beitz ermittelt. Nachdem beide Versuche keine brauchbaren Ergebnisse lieferten, werden sie hier nicht dargestellt.

4.1.14 Zusammenfassung der Ursachen

Nachfolgend werden alle Ursachen gesammelt in einem Ishikawa-Diagramm dargestellt (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang). Nicht alle Ursachen wurden

4.2.2 Abfolge des Arbeitsablaufes

In der Angebotsphase wird vom Vertrieb ein Projekt Data Sheet (PDS) angefertigt und anschließend an Voith-Heidenheim gesendet. Dieses beinhaltet alle Daten der Vorauslegung wie beispielsweise die Betriebspunkte bei bestimmten Leitradstellungen und ist ausschließlich für die Angebotsphase gültig. Nach Bestätigung der Auslegung seitens Voith-Heidenheim erhält die Konstruktion ein Design Data Sheet (DDS). Die Daten des DDS sind die genehmigten Daten seitens Voith Hydro und somit Grundlage für die weitere Verarbeitung bei Kössler.

Aufgrund des DDS erfolgt die grundsätzliche Konstruktion von Bauteilen (Spirale etc.), die für die Abmaße der Anlage bestimmenden sind. Des Weiteren werden die Fundamentkräfte und der Achsschub berechnet und es erfolgt die Abstimmung mit einem Statiker und dem Generatorhersteller. Im Anschluss erfolgt die Bemessung der Störkanten der Anlage (Fundamente etc.) und Konstruktion des Krafthauses. Dieser Ablauf wird als Einbauplanung (EBP) bezeichnet und ist u. a. in Abbildung 4.24 ersichtlich.

Nach der EBP erfolgen die Auslegung der Leitschaufelhebel, des Spiralgehäuses (Blechstärke etc.), der Laufradbefestigung, der Schließzeiten, der Druckdeckel und die Auslegung des Kühlwassersystems. Für diesen Teil der Auslegung werden aufgrund von vorgefertigten Berechnungsprogrammen zirka 5 Prozent (ohne Kühlwassersystem (KWS), 10 Prozent mit KWS) der Konstruktionszeit in Anspruch genommen. Anschließend erfolgt eine detaillierte 3D-Konstruktion aller Teile (vgl. Abbildung 4.24) und es werden Baugruppen-, Rohteil- und Fertigungszeichnungen erstellt in 2D erstellt.

Seit 2012 wird ein Baukastensystem implementiert. In diesem werden Bauteile mit verknüpften 2D-Zeichnungen, die unabhängig von der hydraulischen Geometrie verwendet werden können, abgespeichert. Ziel ist es, mit einer möglichst geringen Anzahl unterschiedlicher Größen, den gesamten Einsatzbereich abzudecken. Beispielsweise sollen möglichst wenige Varianten an Ausbaufanschen, Leitschaufelhebel oder Gewindeeinsätzen kreiert werden. Daraus verspricht man sich eine Variantenreduktion und höhere Stückzahlen im Einkauf.

Für jede hydraulische Geometrie wurden und werden normierte Spiralen, Laufräder etc. konstruiert. Diese werden entsprechend der Anforderungen skaliert und es muss beispielsweise nur noch die Blechstärke auf Basis der Festigkeitsrechnung festgelegt werden. Dies ermöglicht eine weithingehend optimierte Konstruktion.

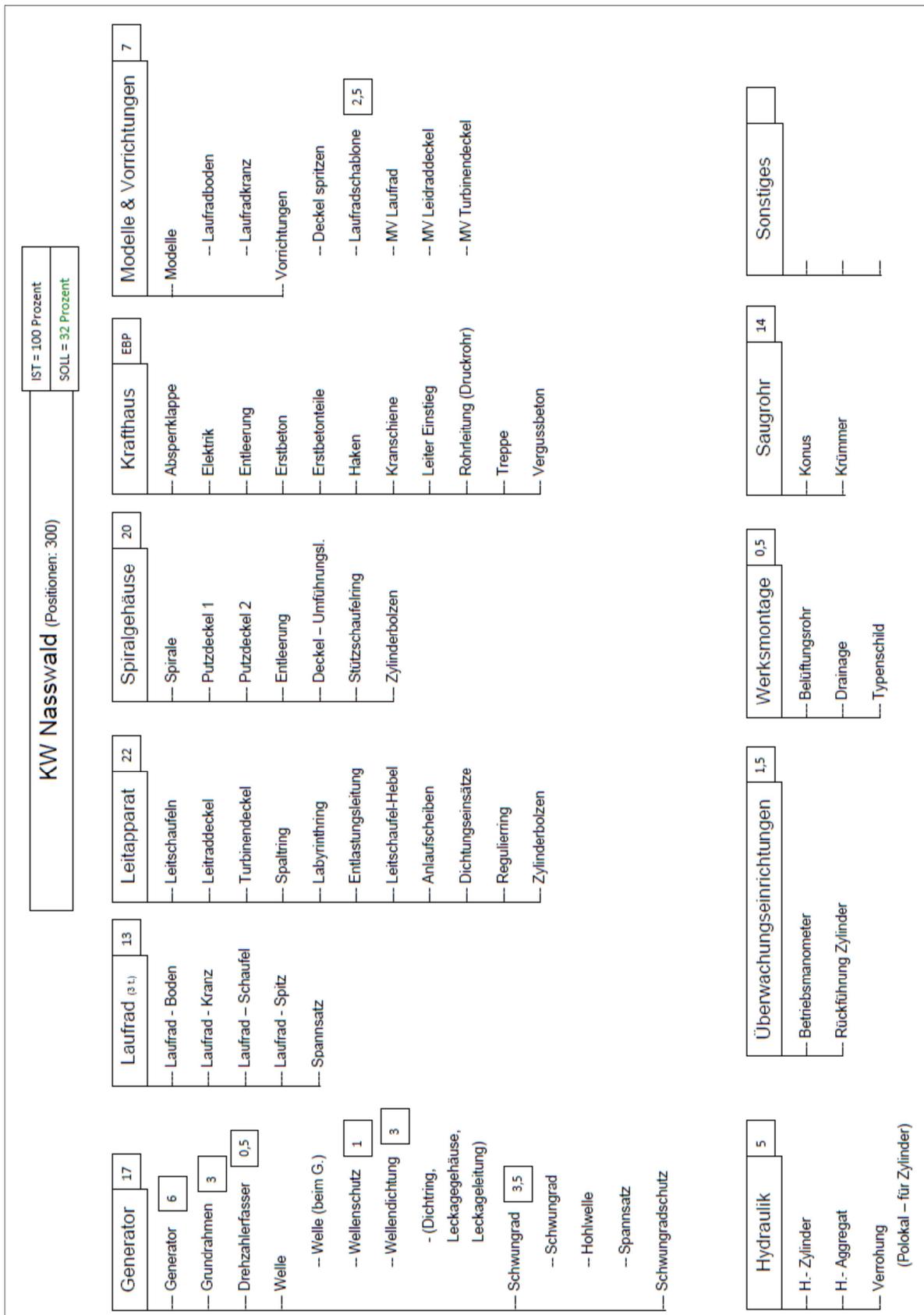


Abbildung 4.24: Strukturbild RKW/KW Nasswald (inkl. Stunden)

4.2.3 Konstruktion im Vergleich

In Abbildung 4.25 sind die Konstruktionszeiten der vier Kernprojekte gegenübergestellt. In der prozentuellen Darstellung verhalten sich, aufgrund eines einheitlichen Stundensatzes, die Kostenvergleiche äquivalent zu den Stundenvergleichen. Eine Ursachenanalyse soll die Umstände der Kostenerhöhung erläutern und die tatsächlich notwendigen Kosten bzw. Konstruktionszeiten aufschlüsseln. Konstruktionszeiten beinhalten auch immer die Zeit der Auslegung (vgl. Kapitel 4.2.2). Um direkte Vergleiche zu ermöglichen, ist die 100 Prozent-Marke immer an den Stunden des Kraftwerks Wanghof orientiert.

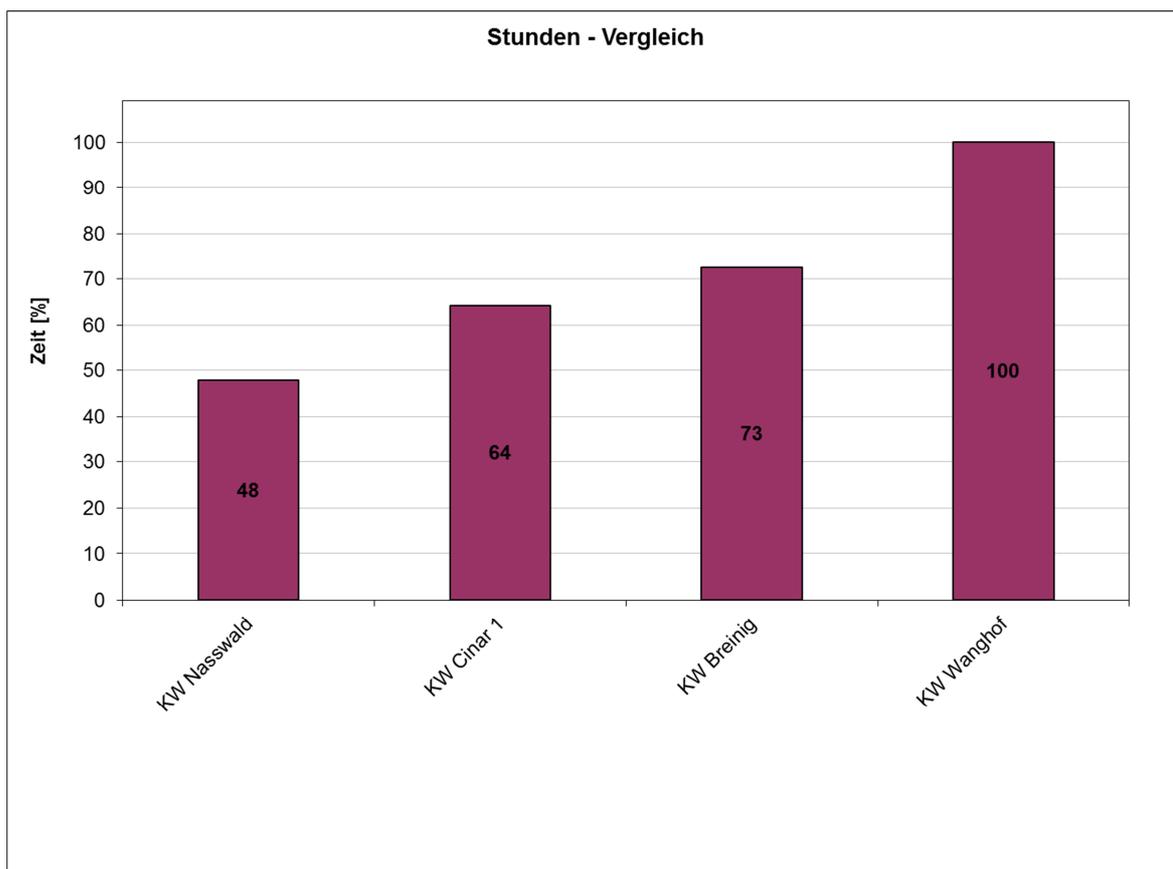


Abbildung 4.25: Stunden-Vergleich der Konstruktion

4.2.4 KW Nasswald

Die Kostentreiberanalyse beginnt, aufgrund der geringsten Kosten, des störungsfreien Ablaufs und der Nachvollziehbarkeit der Abläufe, mit KW Nasswald. Von den handelnden Personen waren ausgezeichnete Aufzeichnungen der konstruierten Baugruppen, Zeichnungen und dafür verwendeten Zeiten vorhanden. Dies erwies sich, rückblickend und im Vergleich zu anderen Kostenblöcken, als Glücksfall und ermöglichte eine genaue Aufschlüsselung der Zeiten in Abbildung 4.24.

Über 80 Prozent der Konstruktion wurde von einem erfahrenen Mitarbeiter durchgeführt. 15 Prozent der Zeit wurde von einem ebenfalls erfahrenen Mitarbeiter von Voith Hydro Trebišov verwendet und weitere 3 Prozent (1 Prozent, bezogen auf KW Wanghof) wurden

für die Kontrolle bzw. Rücksprachen aufgewendet. Die Konstruktionszeit dieses Projekts, abzüglich der bekannten Ursachen („Kontrolle/Einschulung“), stellt somit die notwendigen Kernkosten dar und bildet den internen Benchmark im Vergleich der vier Projekte.

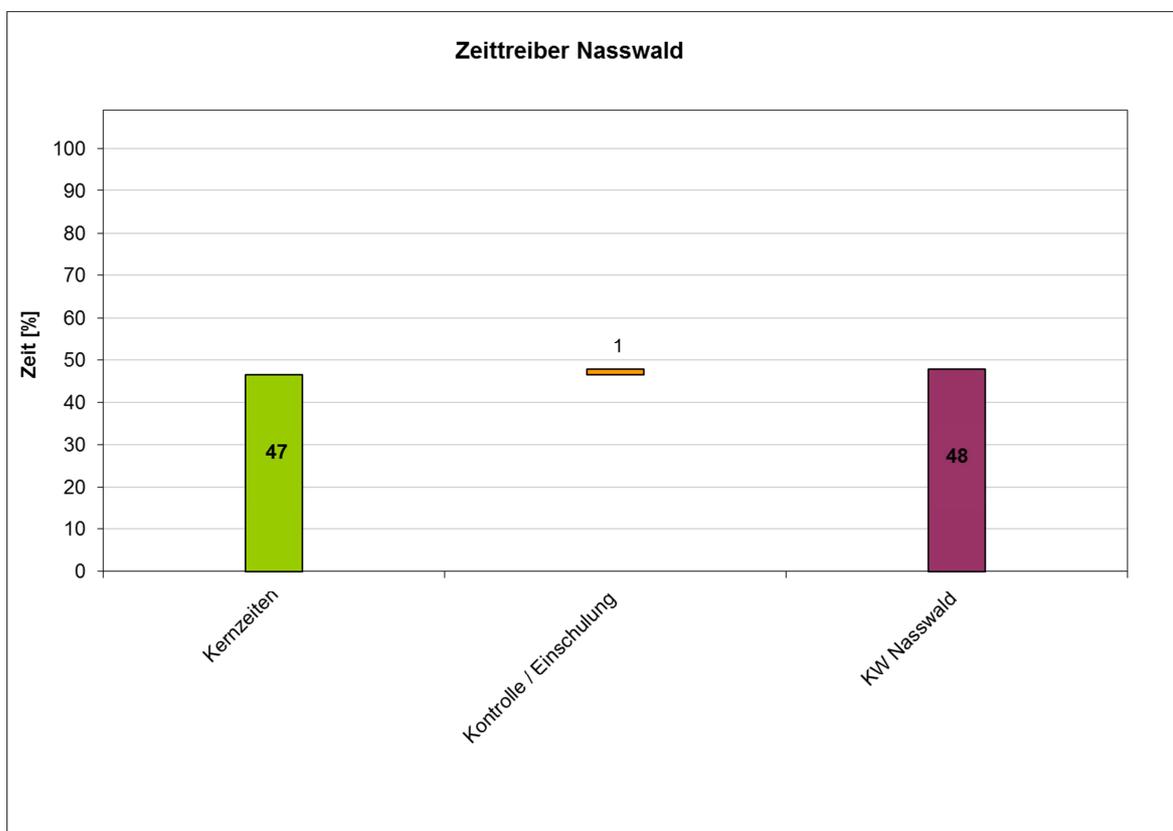


Abbildung 4.26: Zeittreiber Konstruktion KW Nasswald

Die Aufteilung der Stunden aus Abbildung 4.24 wurde anhand des Kraftwerks Nasswald durchgeführt, da dort genaue Aufzeichnungen vorhanden waren und am ehesten zukünftigen *ECO Line* Projekten entspricht (Polokal-Verrohrung, Generatorkühlung, vorhandene Komponenten etc.). Somit kann die Stundenaufteilung des KW Nasswald bzw. RKW Nasswald für zukünftige Kalkulationen zur Erstkonstruktion herangezogen werden. Auf eine genaue Schätzung aller Komponenten wurde verzichtet, da eine solche nicht seriös durchführbar gewesen wäre. Deshalb wurden nur wesentliche Komponenten angeführt.

Die SOLL-Stunden beziffern den geschätzten Aufwand für Konstruktionen bei Einführung einer Baureihe. Dabei geht man davon aus, dass man die fertigen Konstruktionen und Auslegungen nur noch modifizieren und kontrollieren muss. Unabhängige Schätzungen der drei befragten Personen ergaben eine Reduktion von knapp 70 Prozent.

4.2.5 KW Cinar 1

Nachfolgende Grafik zeigt rot hinterlegt alle Komponenten, die bei KW Nasswald nicht konstruiert wurden. Gelb hinterlegt sind alle zusätzlich erforderlichen Komponenten

ersichtlich. So erkennt man beispielsweise, dass kein Schwungrad notwendig war, zusätzlich allerdings eine Ölversorgung und ein Kühlwassersystem des Generators und doppelt gelagerte Leitschaufeln eingesetzt wurden. Daraufhin wurden die Stunden des Schwungrades von den Kernkosten des KW Nasswald abgezogen und als zu erreichende Kernkosten des KW Cinar 1 definiert.

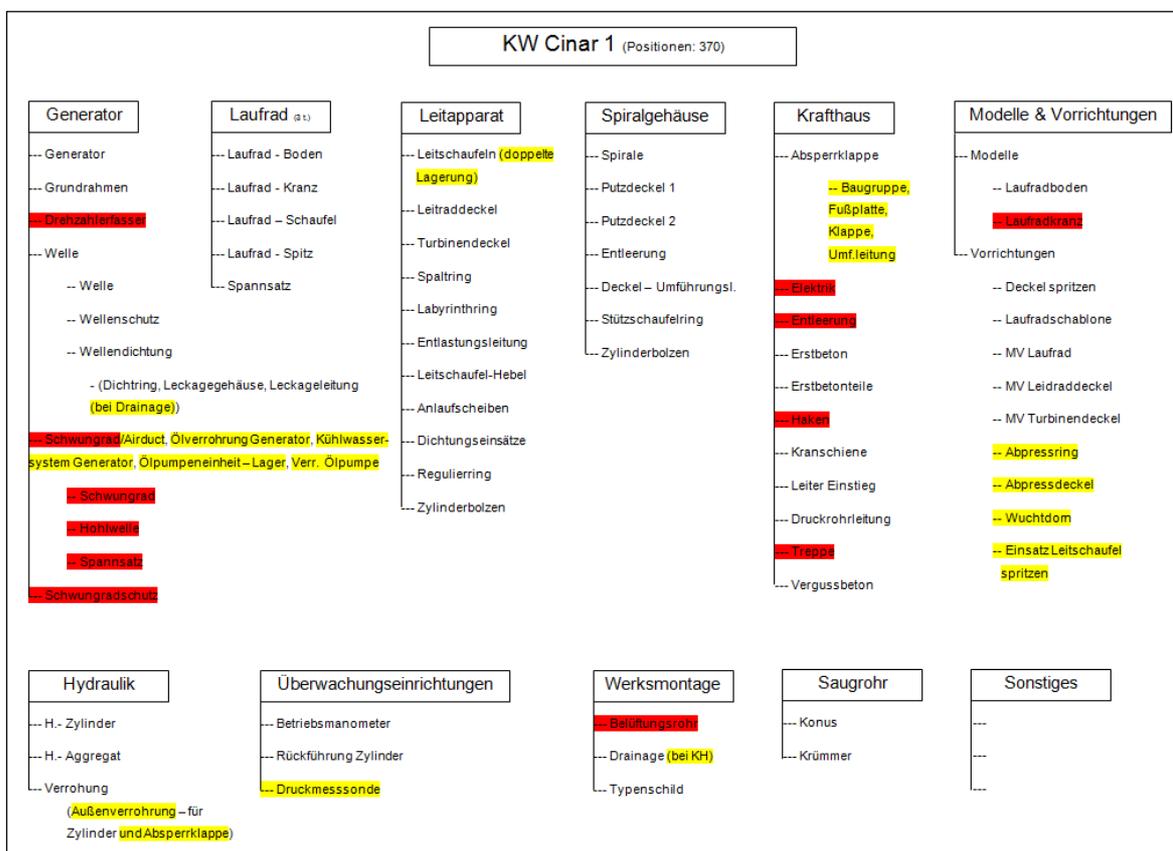


Abbildung 4.27: Strukturbild KW Cinar 1

Diese zusätzliche Komplexität wurde mit 6 Prozent Mehraufwand (Referenz ist KW Wanghof) geschätzt. Zusätzlich wurden, im Gegensatz zu Nasswald, die Anzahl der Zeichnungen erhöht (1 Prozent). Dies reduziert den Aufwand für den Einkauf, verhindert die Fehleranfälligkeit in der Fertigung und rechtfertigt somit den Mehraufwand in der Konstruktion.

Die 3D-Konstruktion wurde von einem erfahrenen Konstrukteur und anschließend 2D-Zeichnungen von mehreren Konstrukteuren durchgeführt. Dieser Ablauf wird in der Regel angewandt, um neue Mitarbeiter anzulernen und mehrere Projekte gleichzeitig abwickeln zu können. Dadurch werden allerdings Kontrollen der Zeichnungen notwendig und gleichzeitig werden Einschulungen zu Bemaßungsrichtlinien, zur Benennung der Bauteile u. Ä. vorgenommen.

Kontrollen von 3D-Zeichnungen nehmen weniger Zeit in Anspruch, als dies bei Zeichnungsableitungen in 2D der Fall ist. Durch den Zusammenbau von 3D-Komponenten werden Fehler in der Konstruktion ersichtlich und können meist durch den

neuen Konstrukteur selbst erkannt werden. Zudem entsteht bei der Ausführung von 2D-Zeichnungen durch unerfahrene Mitarbeiter die Gefahr, Fehler bei Kontrollen zu übersehen. Die „Kontrolle und Einschulung“ von 3D Konstruktionen wurde mit 15 Prozent, der zusätzlich angefallenen Zeit, angenommen. Bei 2D Zeichnungsableitungen wurde der Wert auf 30 Prozent der zusätzlich angefallenen Zeit geschätzt.

Durch folgende Berechnung kam die Aufschlüsselung aus Abbildung 4.28 zustande: Die Gesamtzeit, abzüglich des Konstruktionsaufwandes, aufgrund zusätzlicher Zeichnungen, und der geschätzten Mehraufwand für die Komplexität von Cinar 1, ergibt die zusätzlich notwendige Zeit durch den Einsatz mehrere Konstrukteure. Geschätzte 30 Prozent dieses Mehraufwands wurden für „Kontrolle/Einschulung“ aufgewendet.

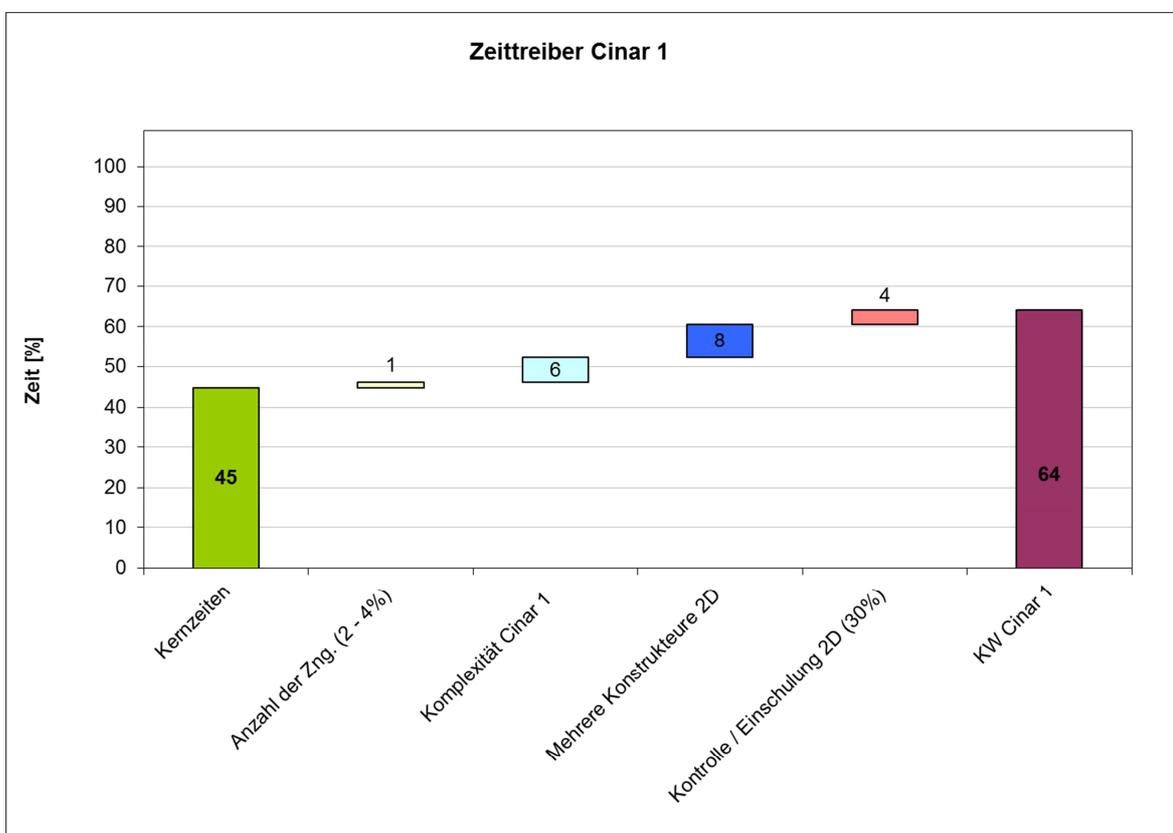


Abbildung 4.28: Zeittreiber Konstruktion KW Cinar 1

4.2.6 KW Breinig

Das Strukturbild deutet bereits auf einige Änderungen im Vergleich zu KW Nasswald hin. Dabei wurden die Stunden zur Konstruktion des Schwungrades und zur Konstruktion des Grundrahmens von den Kernkosten abgezogen.

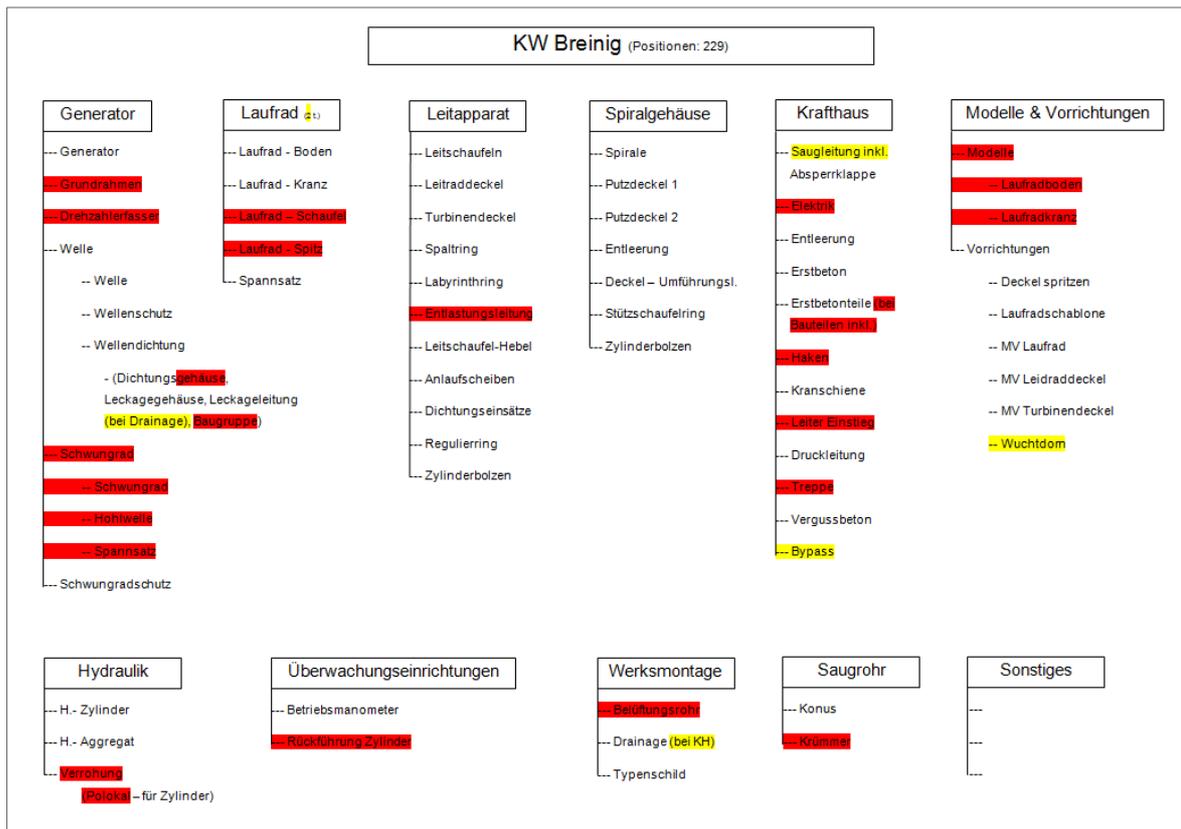


Abbildung 4.29: Strukturbild Konstruktion KW Breinig

Die gesamte Konstruktion von KW Breinig, sowohl in 3D, als auch in 2D, wurde durch einen neuen Mitarbeiter erfolgreich durchgeführt. Die Aufschlüsselung der Kosten in Abbildung 4.30 wurde nach folgender Aufschlüsselung vorgenommen:

Die Abschätzung der Zeiten für „Kontrolle/Einschulung“ erfolgt wie bei KW Cinar 1. Der Aufwand der Konstruktion von 3D im Vergleich zu 2D wurde mit 1/3 zu 2/3 geschätzt. Arbeitszeit der zusätzlichen Zeichnungen wird von den gesamten Stunden abgezogen. Die resultierende Differenz wird auf 3D und 2D aufgeteilt und anschließend die jeweiligen Kontroll- und Einschulungszeiten mit 30 Prozent bzw. 15 Prozent abgezogen.

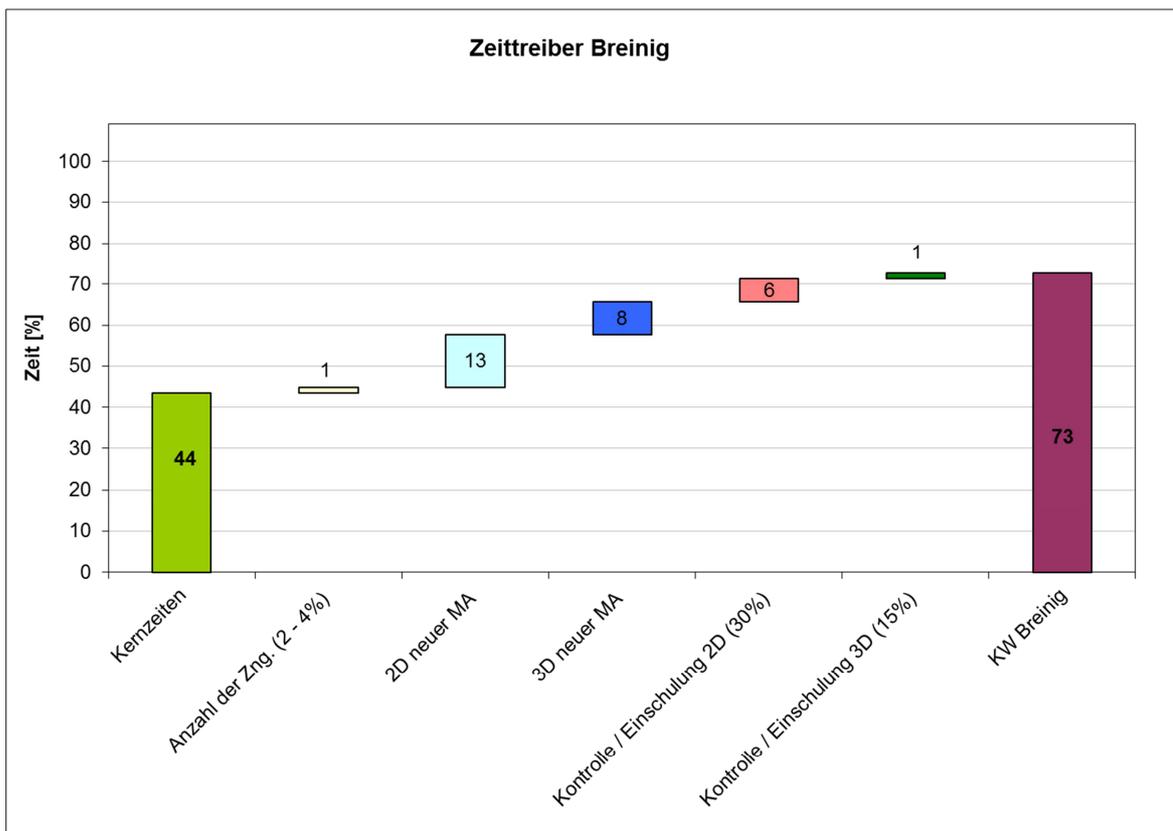


Abbildung 4.30: Zeittreiber Konstruktion KW Breinig

4.2.7 KW Wanghof

Aufgrund der minimalen Abweichung der konstruierten Komponenten bleibt die Kernzeit im Vergleich zu KW Nasswald unverändert.

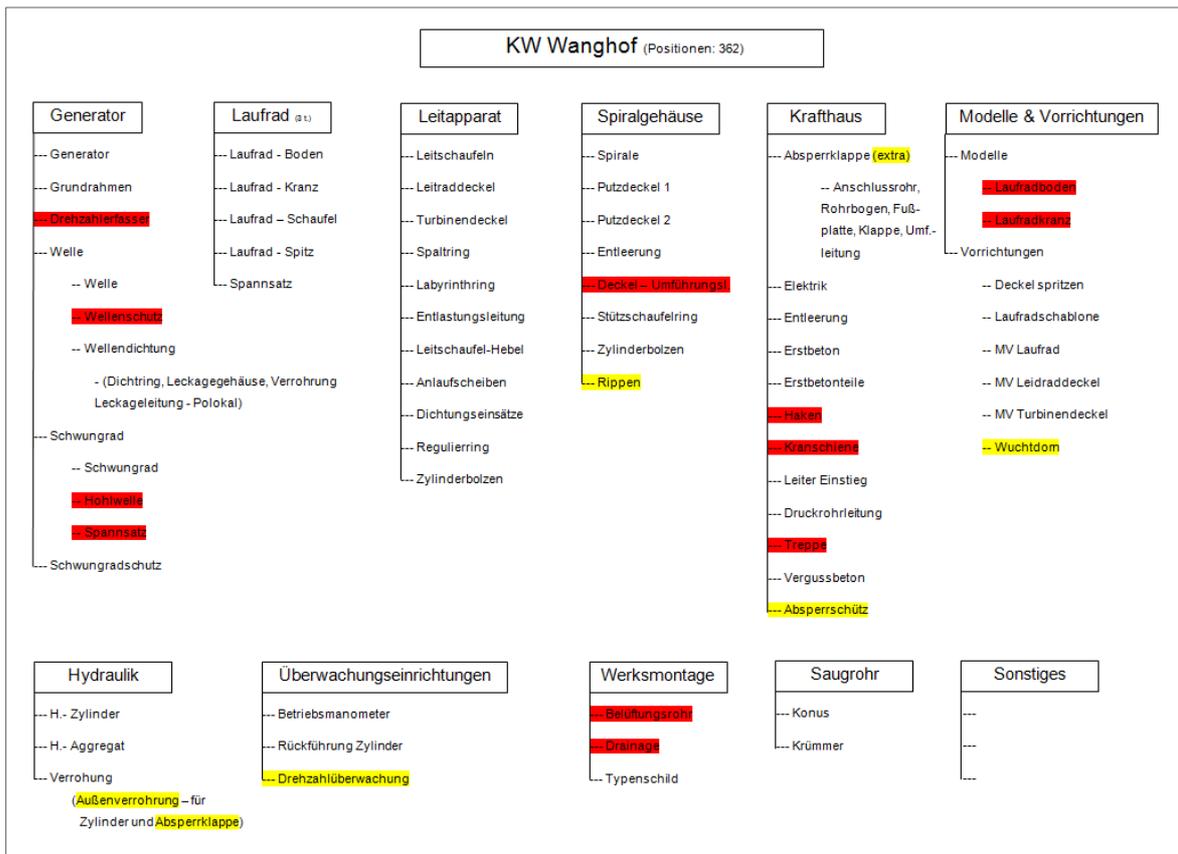


Abbildung 4.31: Strukturbild Konstruktion KW Wanghof

Prinzipiell war die gleiche Ausgangsbasis wie bei KW Breinig gegeben. Ein neuer Mitarbeiter war für die Konstruktion der 3D- und 2D-Konstruktion verantwortlich, die Arbeiten wurden durch einen erfahrenen Mitarbeiter kontrolliert und der neuen Mitarbeiter gleichermaßen in Abläufe eingeschult. Es ist bekannt, dass der Mitarbeiter kein Konstrukteur und ursprünglich auch nicht für diese Position vorgesehen war. Der Mitarbeiter hat die Firma mit Abschluss dieses Projektes verlassen und es wurden einige Neukonstruktionen und Änderungen der Konstruktionen notwendig. Die benötigte Zeit bzw. die angefallenen Kosten der Konstruktion aus Abbildung 4.32 sind folgendermaßen aufgeschlüsselt:

Die Zeiten aus KW Breinig wurden übernommen und die Differenz zu den real angefallenen Kosten als notwendige Zeit für Änderungen und Neukonstruktionen interpretiert.

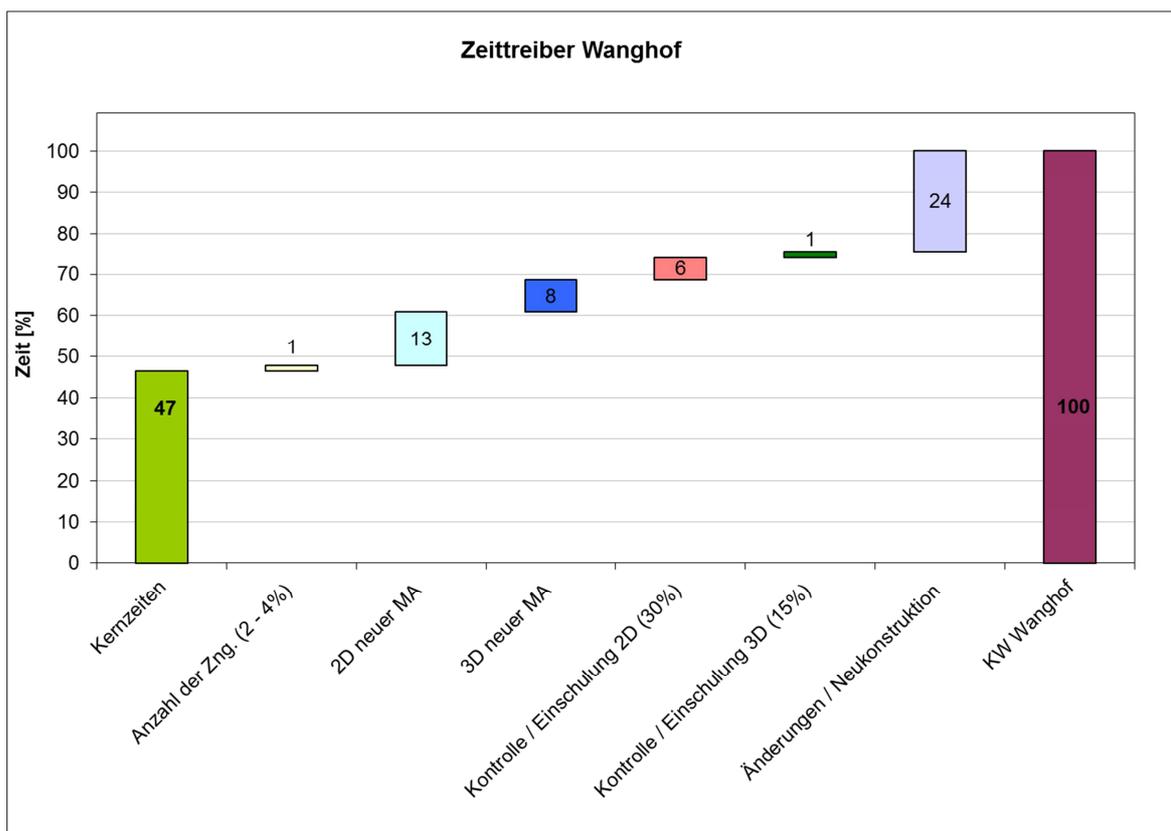


Abbildung 4.32: Zeittreiber Konstruktion KW Wanghof

4.2.8 Zusammenfassung der Ursachen

Wie aus Kapitel 2.2.8 (Dienstleistungen) ersichtlich ist, sind die projektspezifischen Befragungen nur ein Teil des gesamten Interviews. Mit einem Ursachen-Wirkungs-Diagramm werden alle Antworten stichwortartig zusammengefasst und mittels Empfehlungen im Maßnahmenkatalog behandelt (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang).

Zu den Untersuchungen des Baukastensystems muss ergänzend erwähnt werden, dass eine Abschätzung der zukünftigen Zeiteinsparungen, aufgrund des Baukastensystems (Gewindeeinsätze, Ausbauf lansche, Schrauben, Hebel etc.), den Mitarbeitern aus derzeitiger Sicht nicht möglich ist. Derzeit verursacht dieses System, da es sich im Aufbau befindet, vermutlich sogar eine Zeitverzögerung.

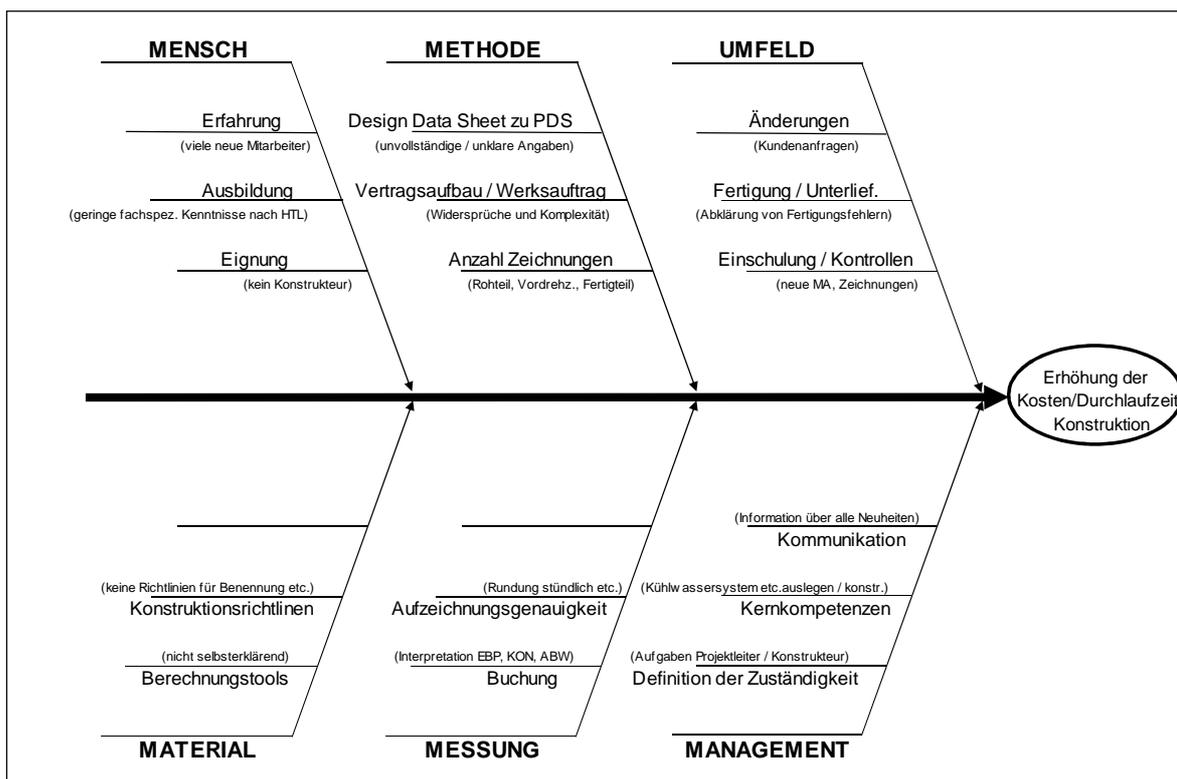


Abbildung 4.33: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Konstruktion

4.3 Montage

Die Vorgehensweise der Datenerhebung gibt Aufschluss über die Probleme der Kostentreiberanalyse im Bereich Montage. Anschließend wird der prinzipielle Arbeitsprozess erläutert und eine Kostengegenüberstellung durchgeführt.

4.3.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Die Datenerhebung wurde, wie in Kapitel 2.2.8 (Produzierender Bereich) beschrieben, durchgeführt. Roman Prirschl war die Hauptansprechperson für die durchgeführten Untersuchungen. Ein vorgezogenes Gespräch mit Ing. Robert Doppler und Robert Lurger lieferte eine neue Ausgangssituation im Vergleich zu Kapitel 3.9. Zudem lieferten die Untersuchungen Ergebnisse, die die Ausweitung des Untersuchungsbereichs auf alle Montagen der Produktlinie Francis Turbinen notwendig machten.

4.3.2 Abfolge des Arbeitsablaufes

In Abbildung 4.34 ist die Montage für *ECO Line* Anlagen in seinen Grundzügen, nach Angaben von Roman Prirschl, beschrieben. Zudem wurde diese Montageabfolge durch Arbeitsschritte ergänzt, die für das KW Cinar 1 notwendig waren. Somit kann ein direkter Vergleich der vier Kernprojekte erfolgen und die Einsparung in der Montage, durch die Vordefinition des Generatorprinzips, ermittelt werden.

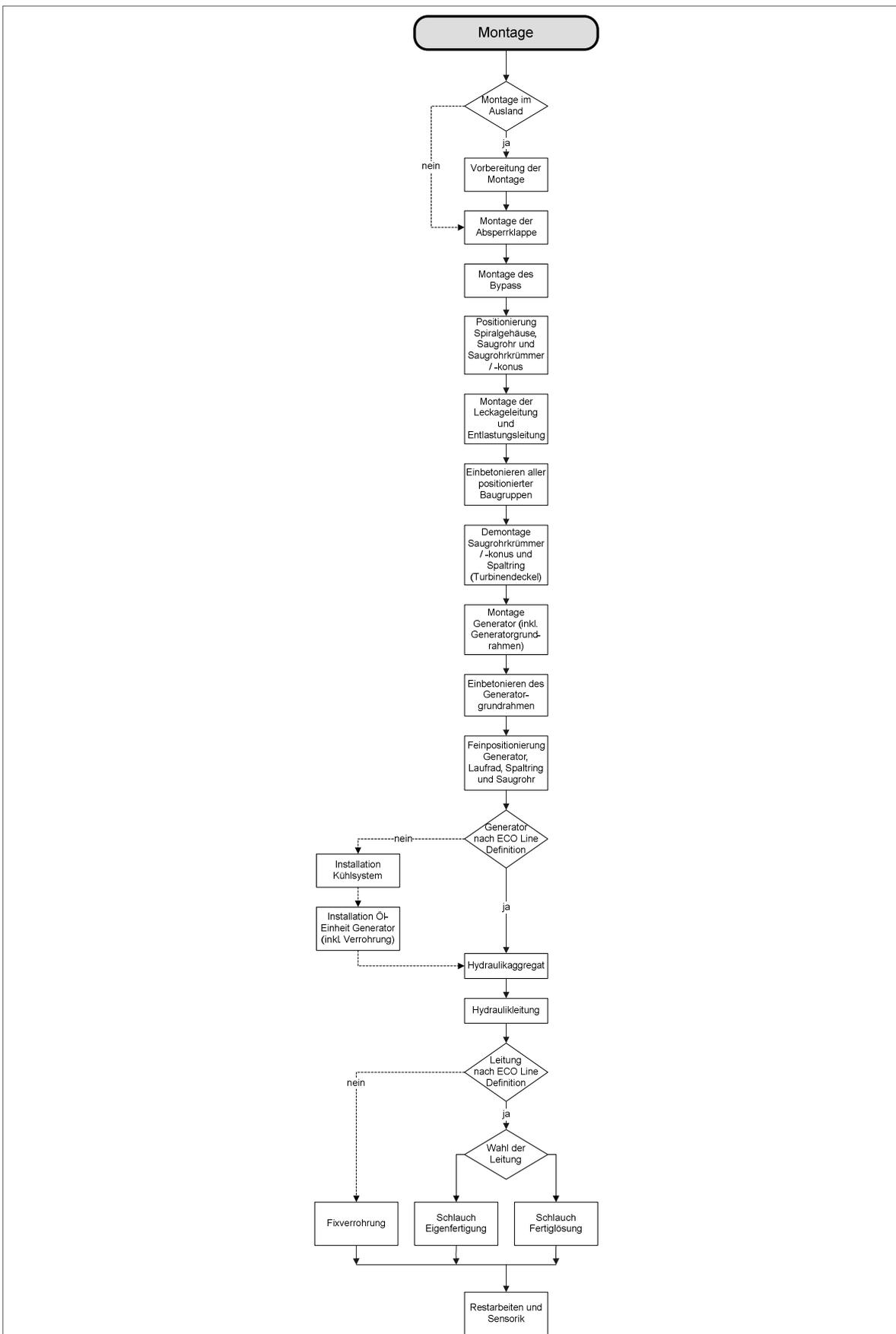


Abbildung 4.34: Ablaufplan Montage

Nachfolgend werden notwendige Arbeitsschritte stichwortartig beschrieben, um die Nachvollziehbarkeit der Arbeitszeit gewährleisten zu können.

VORBEREITUNG DER MONTAGE

- sind Werkzeugkisten, Montageplatten vorhanden
- sonstige Vorbereitung vor Ort
- betrifft Inland nicht, da das Equipment vorbereitet im Anhänger zur Verfügung steht

MONTAGE DER ABSPERRKLAPPE

- Positionierung mittels Kran auf einbetonierte Anker
- Einrichten und Fixierung durch Anschweißen von Blechen

MONTAGE DES BYPASS

- Positionierung mittels Kran

POSITIONIERUNG SPIRALGEHÄUSE, SAUGROHR UND SAUGROHRKRÜMMER/-KONUS

- Positionierung der Spirale (zusammengebaut ohne Laufrad) mittels Kran auf einbetonierte Anker
- horizontales- und vertikales Einrichten der Spirale (0,1 mm Abweichung)
- Anker anschrauben, Kontrolle der Maße
- Fixierung der Position durch Anschweißen von Blechen zw. Aufstellplatten und Spiralgehäuse
- Montage Saugrohrkrümmer und Konus (falls vorhanden)

MONTAGE DER LECKAGELEITUNG UND ENTLASTUNGSLEITUNG

- Anschließen der Leckageleitung (elastisch)
- Entlastungsleitung (Stahlrohr) verschweißen

EINBETONIEREN ALLER POSITIONIERTEN BAUGRUPPEN

- Betonieren der Baufirma
- Wartezeit Durchhärtung Beton (2 Tage)

DEMONTAGE SAUGROHRKRÜMMER/-KONUS und SPALTRING (TURBINENDECKEL)

- je nach Größe/Konstruktion auch Demontage des Turbinendeckels notwendig (bei betrachteten Projekten nicht notwendig)

MONTAGE GENERATOR (inkl. GRUNDRAHMEN)

- Ausrichten, Verschweißen der Bleche (siehe Spirale), Generator verbohren
- Auflagebleche zwischen Generator und Rahmen-Verzug oder falsche Höhe
- Montage Schwungscheibe und Schwungradschutz (falls vorhanden bzw. von Generatorlieferant nicht vormontiert)

EINBETONIEREN GENERATORGRUNDRAHMEN

- Betonieren der Baufirma
- Wartezeit Durchhärtung Beton (2 Tage)

FEINPOSITIONIERUNG GENERATOR, LAUFRAD, SPALTRING und SAUGROHR

- Feinpositionierung des Generator über Stellschrauben zw. Generator und Grundrahmen
- Laufradmontage inkl. Spaltring und Krümmer

INSTALLATION KÜHLSYSTEM

INSTALLATION ÖL - EINHEIT GENERATOR (inkl. VERROHRUNG)

HYDRAULIK

- Hydraulikaggregat aufstellen, Spülen, Entlüften, Öl füllen
- Fixverrohrung:
 - Vorbereitung Biegemöglichkeit (meist außerhalb des Krafthauses und dadurch weite Wege), Aufreißen, Bohren, Verankern, Zurechtlegen
 - Biegen und Verschrauben
- Schlauch, Eigenfertigung:
 - Anschlüsse pressen
 - Schlauch ablängen und in Polokalrohr einziehen (entweder bei Fremdfirmen vor Ort oder auf Baustelle)
- Schlauch, Fertiglösung:
 - Anschließen der Schläuche
 - Schlauch in Polokalrohr einziehen

RESTARBEITEN UND SENSORIK

- Montage von Leitradpotentiometer, Druckschalter, Manometer
- Reinigungsarbeiten
- Generator verreiben
- Korrosionsschutzes ausbessern
- Leitrad durchsteuern

4.3.3 Montage im Vergleich

In nachfolgender Grafik sind die Montagekosten aller vier Kernprojekte gegenübergestellt.

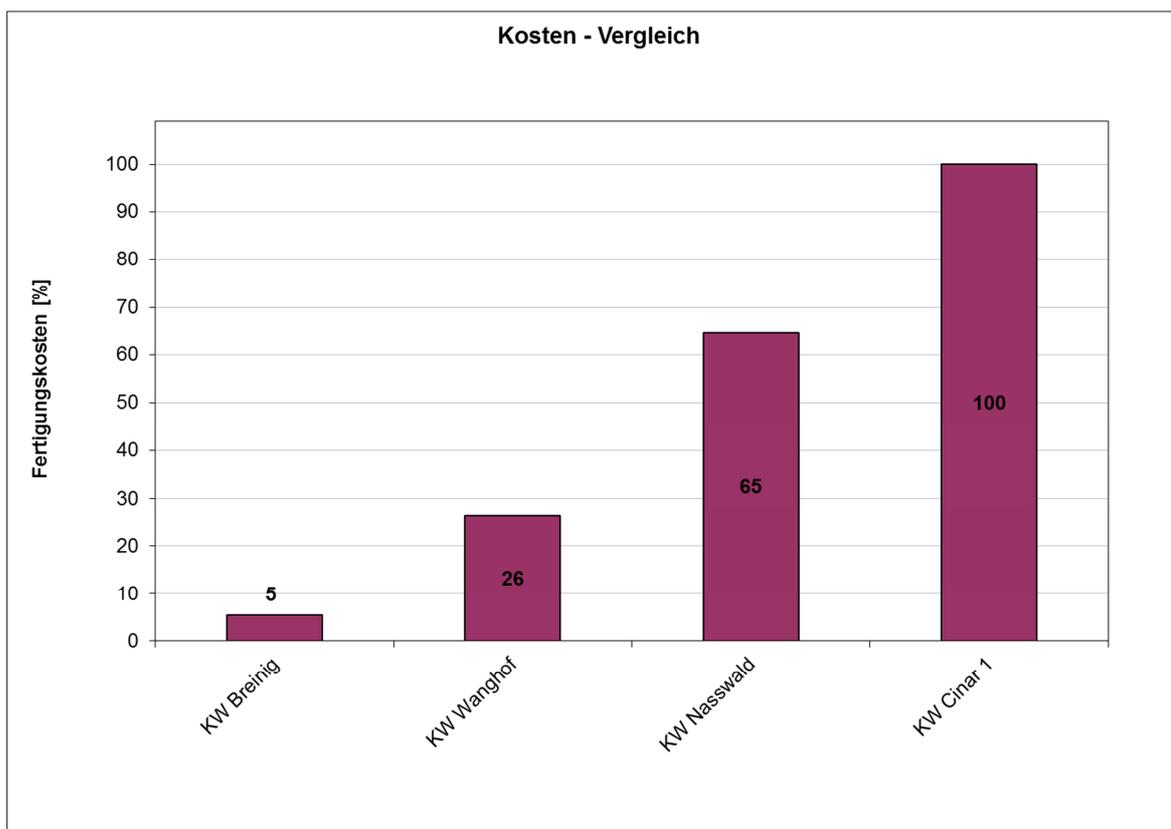


Abbildung 4.35: Kosten der Montage

Das erwähnte Gespräch aus Kapitel 4.3.1 lieferte die Erkenntnis, dass bei Breinig keine Montage stattgefunden hat, es sich um Kosten der Qualitätskontrolle und für die Abnahme von Komponenten der Unterlieferanten handelt. Diese Kosten werden immer der Montage zugerechnet und sollten nicht mitberechnet werden. Zudem wurden vier grundsätzliche Möglichkeiten von Montagen erläutert:

- keine Montage
- Montageüberwachung Inland/Ausland
- Vollmontage Inland
- Vollmontage Ausland

In erstem Fall übernimmt der Kunde die Montage. Bei einer Montageüberwachung werden die Arbeitskräfte vom Kunden bereitgestellt und ein Techniker (Supervisor) von Kössler überwacht die ausgeführten Tätigkeiten. Bei einer Vollmontage werden alle Arbeitsvorgänge durch Monteure bzw. Obermonteure von Kössler vorgenommen und durch einen Techniker oder einen Obermonteur (je nach Projektgröße) überwacht. Die Unterscheidung zwischen In- und Ausland, bei der Vollmontage, wird gesondert angeführt, da sich diese vor allem in der Vorbereitung der Baustelle unterscheiden. Im Ausland muss mit schwierigeren Arbeitsbedingungen gerechnet werden und bei Montagen im Inland ist, im Gegensatz zum Ausland, nur sehr selten ein Montagetrupp für die gesamte Montage zuständig.

Bei Kraftwerk Wanghof erfolgte eine Montageüberwachung. Die Projekte Nasswald und Cinar 1 beinhalteten eine Vollmontage durch Kössler. KW Nasswald befindet sich in Österreich und KW Cinar 1 in der Türkei.

In einem ersten Schritt wurden alle Projekte um die Qualitätssicherungskosten bereinigt und anschließend alle Sonderkosten getrennt aufgeschlüsselt, um eine Vergleichbare Ausgangssituation zu schaffen (vgl. Abbildung 4.36).

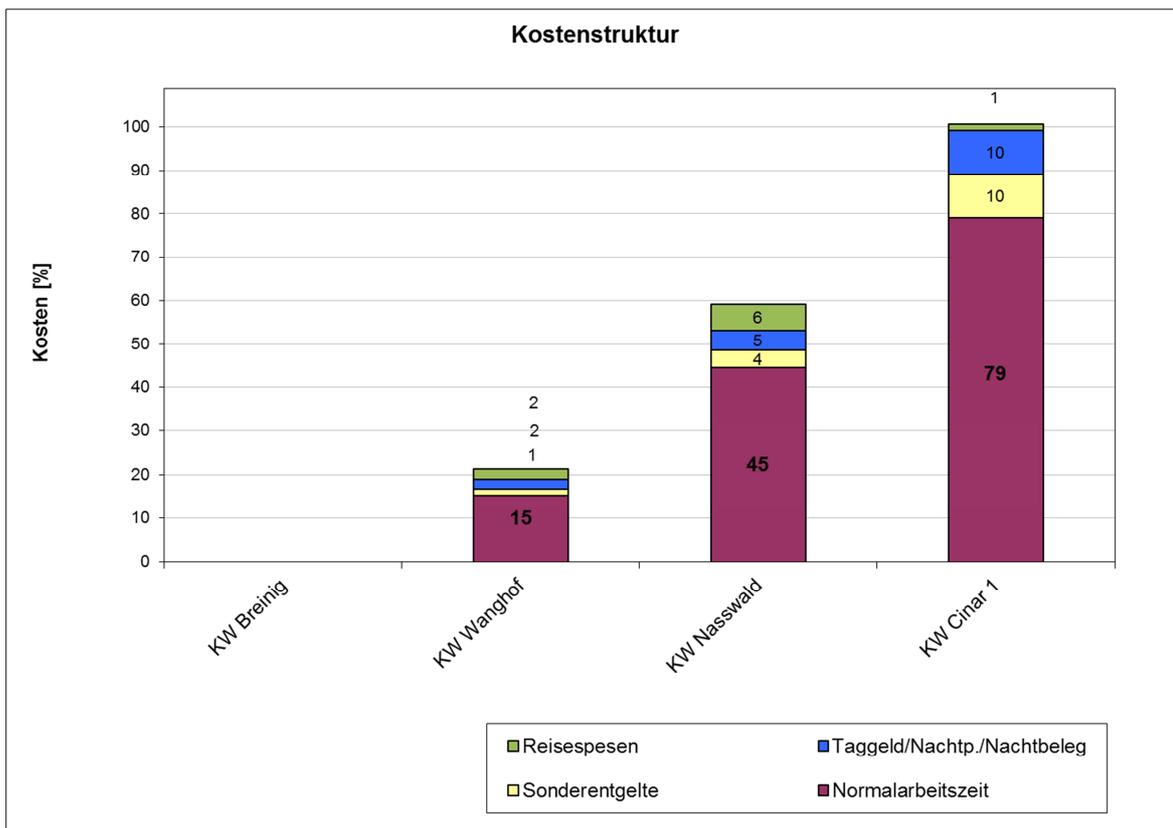


Abbildung 4.36: Kostenstruktur Montage

Die Sonderentgelte beinhalten ausschließlich Überstundenzuschlagssätze, Erschwernis-, Gefahren- und Schmutzzulagen. Die Normalarbeitszeit beinhaltet somit alle zur Montage notwendigen Arbeitsstunden. Es wird ersichtlich, dass die Reisespesen des KW Nasswald im Vergleich zu KW Cinar 1 um 5 Prozent höher ausgefallen sind. Dies ist für mich etwas überraschend, da sich das Projekt Nasswald in der Nähe Wiens befindet. Zudem scheinen die Montagekosten im Inland (Nasswald) und Ausland (Cinar 1) große Unterschiede aufzuweisen. Diese Kosten und die der Montageüberwachung werden in nachfolgender Abbildung gesondert ausgewiesen. Die Montageüberwachung wird mitbetrachtet, da im „Kick Off Meeting“ ein Outsourcing der Montage angesprochen wurde und somit die Montageüberwachung eine Alternative darstellen könnte. „Zudem gilt Wanghof als Muster-Montageüberwachung.“⁷⁴ Die Diagramme aus Abbildung 4.36 und

⁷⁴ Ing. Robert Doppler.

Abbildung 4.37 stimmen nicht exakt überein. Dies ist auf Rundungsfehler bei der Berechnung der Prozentsätze zurückzuführen.

Abbildung 4.38 zeigt einen Vergleich des Personaleinsatzes.

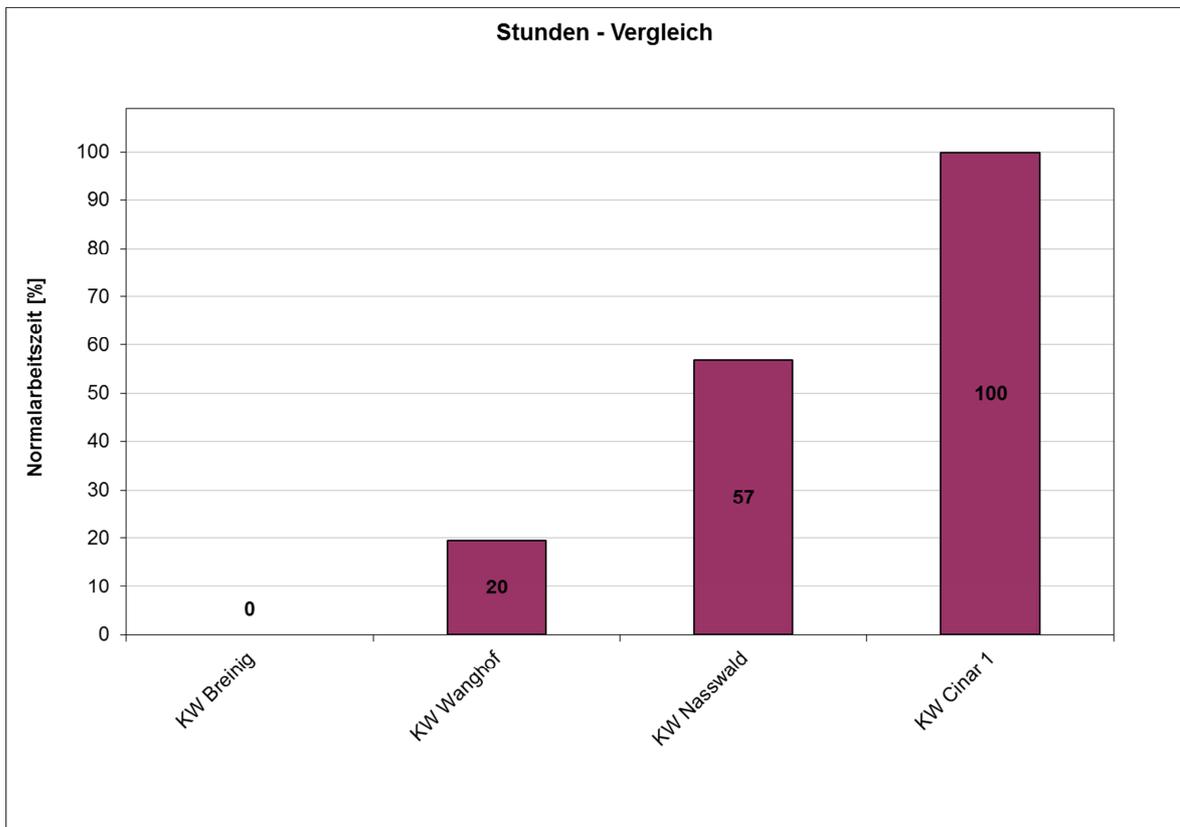


Abbildung 4.37: Stundenvergleich Montage

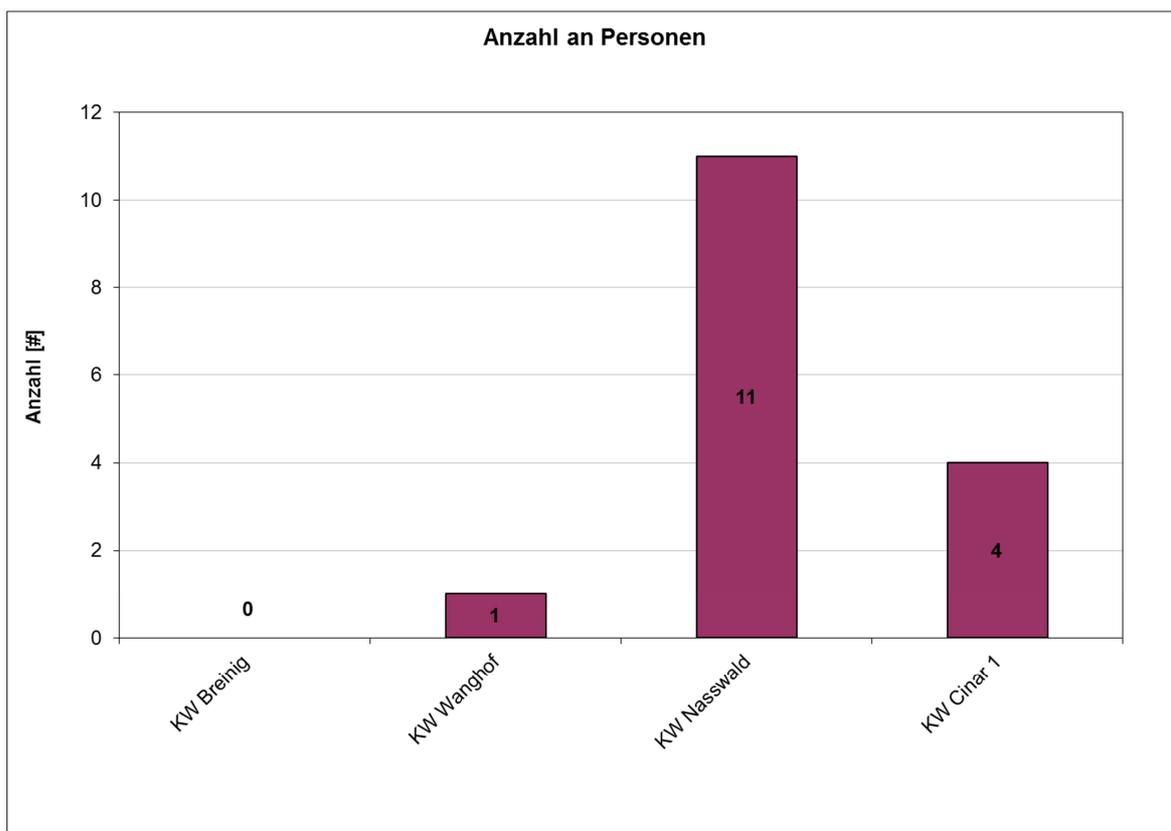


Abbildung 4.38: Personaleinsatz im Vergleich

4.3.4 KW Nasswald

Im Gegensatz zur Kosten- bzw. Zeittreiberanalyse Konstruktion beziehen sich die Prozentangaben aus Abbildung 4.39 nicht auf das Projekt mit der längsten Arbeitszeit. In diesem Fall ist dies Cinar 1. Der Grund ist aus der Kostentreiberanalyse KW Cinar 1 bzw. dessen Folgekapitel ersichtlich. Zudem wurde die Qualitätssicherung prozentuell angeführt, um diese in der Kalkulation zukünftiger der *ECO Line* Kalkulation abschätzen zu können. Wie bei der Konstruktion verhalten sich die Stunden zu den Kosten, in prozentueller Darstellung, äquivalent.

Die Werte der Position „Abschätzung (Nasswald)“ werden in Kapitel 4.3.7 ermittelt und sind als Vergleichswert angeführt. Die Auswertung der Stundenprotokolle ergab, dass 15 Prozent der Montagezeit für zusätzliche Fahrtzeit aufgebraucht wurden. Der Umstand, dass im Inland meist Monteure eingesetzt werden, die gerade zur Verfügung stehen und nicht wie im Ausland, ein Projekt vollständig abwickeln, wurde auf drei Prozent Zeitverlust eingeschätzt. Die verbuchte Qualitätssicherung auf die Kostenstelle Montage, hatte einen Anteil von fünf Prozent. Da Fertigungsfehler aufgetreten sind, wurden Gespräche mit dem Kunden notwendig (zwei Prozent). Ein Umstand der bei zirka jedem zweiten Projekt auftritt, ist die erschwerte Zugänglichkeit. Diese Zeitverzögerung benötigte vier Prozent der Gesamtmontagezeit. Durch Montagefehler wurden Behebungsarbeiten (eine Woche) und eine zusätzliche Begutachtung notwendig. Um solche Montagefehler vorbeugen zu können, wurden bereits Maßnahmen getroffen. Im Projekt Nasswald sind 28 Prozent der

Montagezeit diesem Umstand zuzuschreiben. Dies ergibt eine Kernarbeitszeit von 43 Prozent der Gesamtarbeitszeit von KW Nasswald.

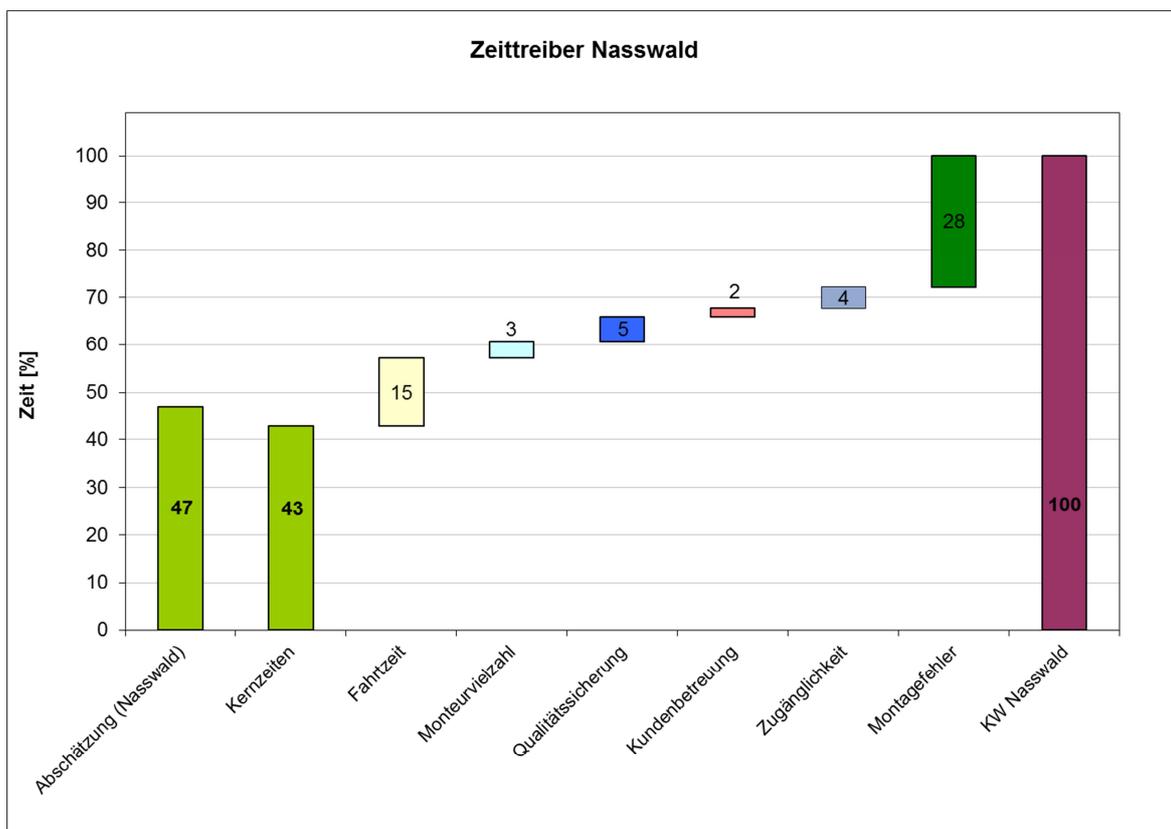


Abbildung 4.39: Zeittreiber Montage KW Nasswald

4.3.5 KW Cinar 1

Die Montage von Cinar 1 war zum Zeitpunkt der Untersuchung voll im Gange und es waren noch zahlreiche Komponenten zu montieren. Roman Prirschl war es nicht möglich diese Stunden abzuschätzen, geschweige denn eine Ursachenanalyse durchzuführen. Wie sich herausstellte, sind die verbuchten Stunden das Ergebnis einer Aufteilung bisher durchgeführten Tätigkeiten bei Cinar 1, Cinar 2 und Cinar Pelton.

Roman Prirschl verwies auf Pelton-Projekte, die Cinar Pelton ähnlich sind und ohne Probleme abgelaufen sind und schlug vor, diese Zeit bei den bisherigen Arbeitszeiten von Cinar abzuziehen (da Cinar Pelton bereits abgeschlossen war) und die Differenz zu halbieren. Dies sollte seiner Meinung nach zu einem vernünftigen Ergebnis führen und eine Kostenaufstellung ermöglichen. Diese Untersuchung lieferte einerseits keine brauchbaren Ergebnisse und hätte andererseits auch keine vernünftige Kostentreiberuntersuchung zugelassen. Daher wurde die Kostentreiberanalyse von Cinar 1 abgebrochen. Es wurde analysiert bei welchen Projekten eine Vollmontage durchgeführt wurde und ob sich diese für einen Vergleich mit *ECO Line* Projekten eignen.

4.3.6 Auswahl möglicher Montagen

Tabelle 4.2 zeigt eine Übersicht aller durchgeführten Francis Projekte und gibt Aufschluss über die Montageart.

Kennwort	Jahr	Land	Einheiten	Typ	D _{1a}	Montageart
[-]	[-]	[-]	[#]	[-]	[mm]	[-]
Wysswasser	2010	Schweiz	2	FSHc	940	n.v.(VM)
Illulissat	2010	Grönland	3	FSV	920	n.v.
Wanghof	2010	Österreich	1	FSHc	510	MÜ
Cinar 2	2010	Türkei	1	FSHc	970	VM
Cinar 1	2010	Türkei	1	FSHC	610	VM
Neuhausen	2010	Deutschland	1	FSV	2.300	
Breinig	2010	Deutschland	1	FSHc	400	
Loja	2010	Bolivien	1	FSHC	6.100	
Trattlerhof	2010	Österreich	1			
Kalkandere	2010	Türkei	3	FSHc	1.570	
Kasegawa	2010	Japan	1	FSHc	8.300	
Shanyin	2009	Ungarn	2	FSHC	9.000	
Egemen 2	2009	Türkei	2	FSHC	8.700	MÜ
Egemen 1	2009	Türkei	2	FSHC	8.700	MÜ
Laksen	2009	Norwegen	1		1.120	
Ören 4	2009	Türkei	1	FSHC	870	VM
Aishihik 3	2009	Kanada	1	FSHC	960	
Nasswald	2008	Österreich	1	FSHc	520	VM
Bulam	2008	Türkei	2	FSHC	1.050	VM
Hollersbach	2008	Österreich	1	FSV	1.065	
Ören	2008	Türkei	3	FSHC	870	VM

VM	... Vollmontage
MÜ	... Montageüberwachung
n.v.	... noch keine Daten vorhanden

Tabelle 4.2: Projektübersicht Francis Turbinen

Bei Wysswasser, Cinar 1, Cinar 2, Ören 4, Nasswald, Bulam und Ören wurde eine Vollmontage durchgeführt. Wanghof und Egemen 1 und Egemen 2 sind Montageüberwachungen. Die restlichen Montagen wurden von den Kunden selbst abgewickelt.

Für einen Vergleich der Montageüberwachung kommt Egemen 1 und Egemen 2 nicht in Frage, da das Kraftwerk bei der Inbetriebsetzung überflutet wurde. Somit wurde der Einsatz von zusätzlichen Monteuren notwendig. Widersprüchliche Buchungen (Buchung der Monteure in der Zeit der Montageüberwachung etc.) ließen keine vernünftige Auswertung zu.

Die Probleme von Cinar 2 wurden in Kapitel 4.3.5 behandelt. Die Werte von Wysswasser waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht vorhanden. Bei Ören erfolgte die Montage mit Unterstützung einer Subfirma. Die Verrechnung basiert auf einem Pauschalbetrag und daher ist die Stundenanzahl nicht zu ermitteln. Bei Bulam gab es Zwischenfälle mit der Leitung und es liegt daher dasselbe Problem, wie bei den Abrechnungen von Egemen vor.

4.3.7 Abschätzung der Montagezeiten

Da aus dem gesamten Projektportfolio nur eine Kostentreiberanalyse durchgeführt werden konnte, wurden die Arbeitszeiten aller Tätigkeiten von Roman Prirschl geschätzt und dadurch die Plausibilität der ermittelten Kernkosten von KW Nasswald geprüft.

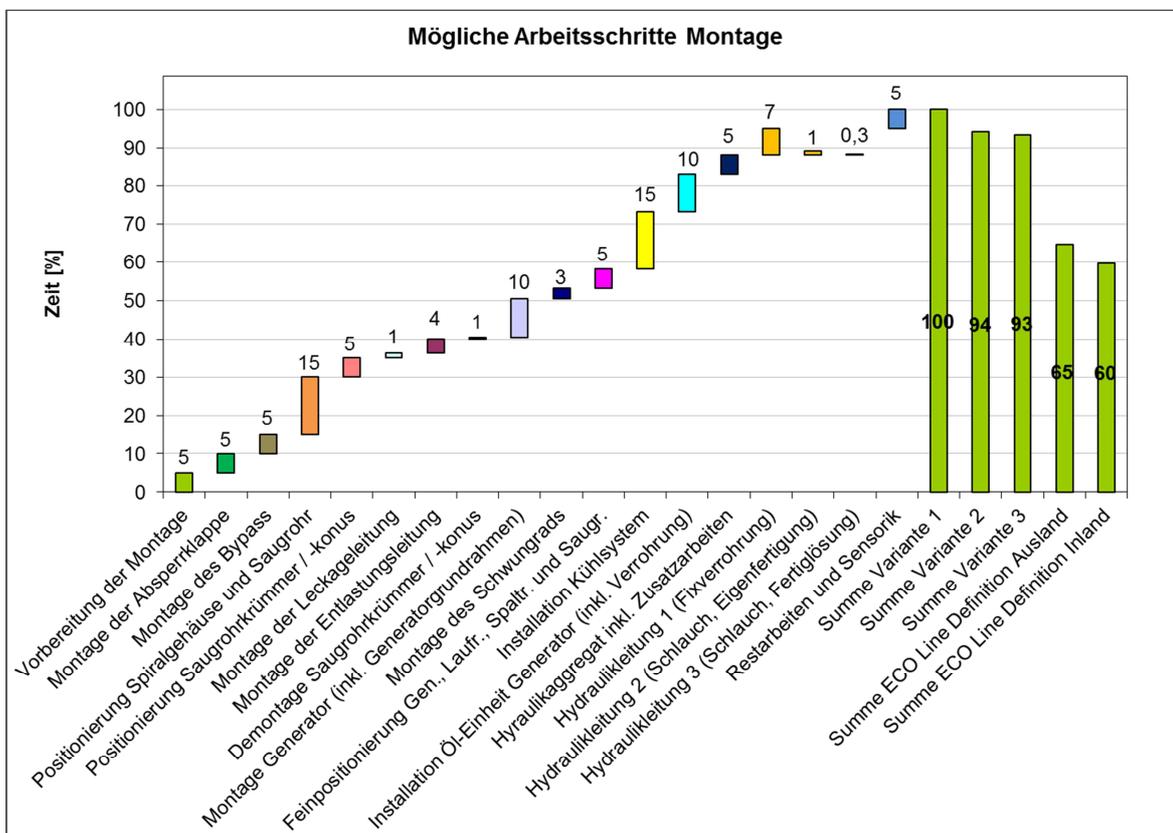


Abbildung 4.40: Mögliche Montageschritte

Es sind alle Tätigkeiten, die für die Montage der vier Kernprojekte notwendig sind, aufgelistet. Die Arbeitszeit des Montageschritts „Montage der Leckageleitung und Entlastungsleitung“ wurde für die jeweilige Leitung gesondert angeführt, da die Leckageleitung nicht mehr bei allen zukünftig eingesetzten hydraulischen Geometrien notwendig sein wird. Die Schätzungen der Hydraulikleitungen beziehen sich auf einen Vergleich von Cinar 1. Dort ist das maximale Pensum an Leitung, bezogen auf *ECO Line* Standard, verlegt worden und macht daher einen Vergleich möglicher Verrohrungsarten möglich (vgl. Kapitel 4.4.1). „Summe Variante 2“ und „Summe Variante 3“ beziehen sich dementsprechend auf die Leitungsvarianten mit Schlauch. „Summe *ECO Line* Definition Ausland“ beinhaltet alle Komponenten, außer „Installation Kühlsystem“, „Installation Öl-Einheit Generator (inkl. Verrohrung)“ und „Montage Entlastungsleitung“. Zudem wurde aus den drei möglichen Leitungsvarianten Variante 3 gewählt. „Summe *ECO Line* Definition Inland“ beinhaltet vorher geschilderte Kosten exklusive „Vorbereitung der Montage“.

Summiert man die Arbeitszeiten, die sich aufgrund der *ECO Line* Definition einsparen lassen, so erhält man eine Einsparung von 31 Prozent der benötigten Zeit des KW Cinar 1 ($15+10+7-1=31$). Bei einem möglichen Verzicht der Entlastungsleitung sind es 35 Prozent.

Wie eingangs erwähnt, wurden die Montagekosten anhand der durchgeführten Tätigkeiten bei der Montage des KW Nasswald abgeschätzt. Diese Montage beinhaltete folgende Komponenten:

- Positionierung Spiralgehäuse und Saugrohr
- Montage der Leckage- und Entlastungsleitung
- Demontage des Saugrohrkrümmers
- Montage des Generators
- Feinpositionierung des Generator, Laufrades etc.
- Hydraulikaggregat inkl. Zusatzarbeiten
- Hydraulikleitung nach Variante 2 (vgl. Kapitel 4.4.1) - allerdings mit weniger Leitungen als KW Cinar 1
- Restarbeiten und Sensorik

All diese Arbeitsschritte ergeben, wie aus Abbildung 4.39 ersichtlich ist, eine Differenz zu der ermittelten Kernarbeitszeit von vier Prozent. Berücksichtigt man zudem, dass oben gezeigte Schätzung keine Zeit zur Qualitätssicherung beinhaltet, ergibt sich sogar eine tatsächliche Differenz von einem Prozent. Dieses Ergebnis ist meiner Meinung nach sehr beeindruckend, da Roman Prirschl erst am Ende der Untersuchung der Montage die Ausarbeitung beider Werte vorliegen hatte, somit nicht wissen konnte, welche Kernkosten sich für Nasswald ergeben und bestätigt meines Erachtens die Korrektheit der ermittelten Kernkosten.

4.3.8 Zusammenfassung der Ursachen

In nachfolgender Abbildung werden alle möglichen Kostentreiber und Ursachen der Zeitverzögerungen, die in den Gesprächen festgehalten wurden, angeführt (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang).

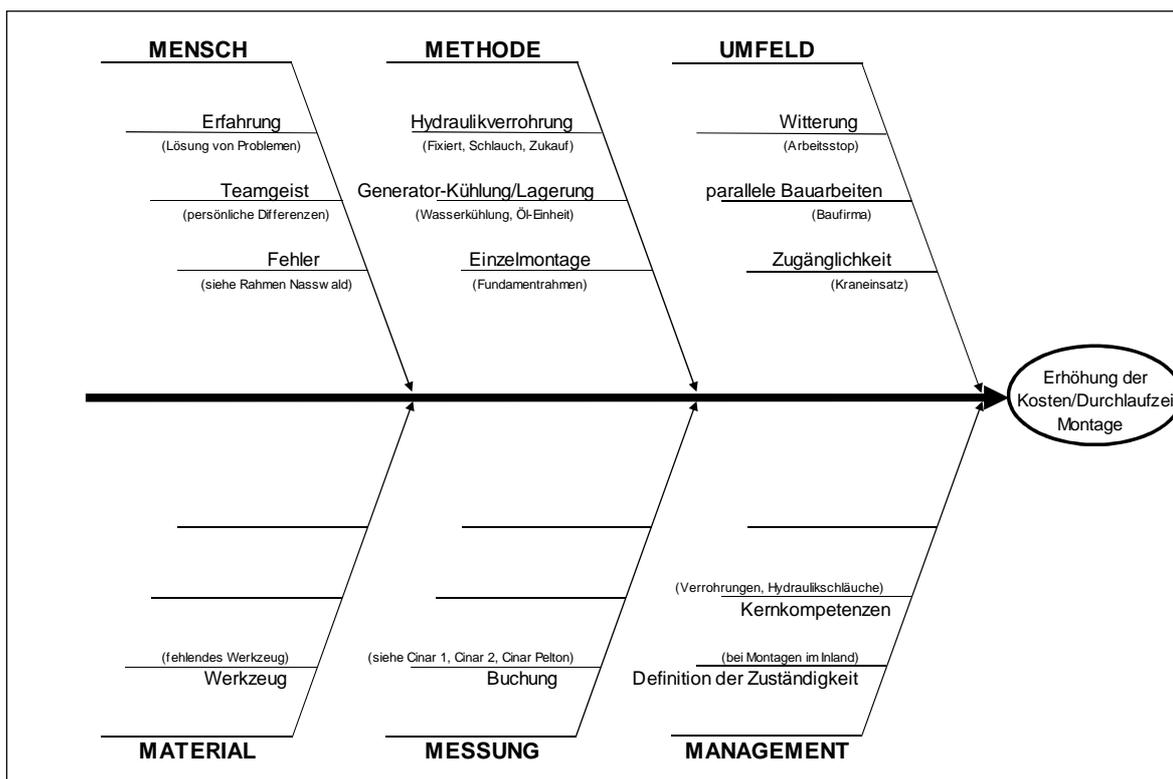


Abbildung 4.41: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Montage

4.3.9 Bewertung Fundamentrahmen

Durch ein „Benchmarking“ der Mitbewerber (Internetrecherche) konnte eine mögliche Ausführung für einen Fundamentrahmen ermittelt werden. Durch die Weiterentwicklung und Umsetzung dieser Idee von Dipl. Ing. Erwin Franz, steht ein Konzept für einen Fundamentrahmen zur Verfügung.

Für die Bearbeitung müssen zusätzlich sieben Stunden (zwei für den Rahmen und fünf für die Spirale) einkalkuliert werden und es entsteht ein Aufwand in der Konstruktion von ein bis zwei Stunden. Die zusätzlichen Materialkosten sind vernachlässigbar. Durch die Montage des Spiralgehäuses, des Laufrades und des Generators (Schwungradscheibe) auf den Fundamentrahmen, sowie der Abtransport aller Teile ab Werk, müssen größere Lasten gehoben werden. Allerdings ist dadurch ist nur noch eine Feineinstellung des Laufrades vor Ort notwendig und es entfällt die Wartezeit bzw. der Rückflug mindestens eines Einbetoniervorgangs (vgl. Kapitel 4.3). Um die Einsparungen abschätzen zu können, werden für die Dauer der Werksmontage die Werte der Montage in Abbildung 4.40 angesetzt. Somit erhält man, durch die Einsparung von zwei Tagen Flugzeit und den dazugehörigen Tickets, eine Einsparung von 0,87 Prozent, bezogen auf die Herstellkosten RKW Nasswald.

4.4 Hydraulikleitungen

Die Kostentreiberanalyse Montage lieferte die Erkenntnis, dass keine einheitliche Linie, bei der Ausführung der Leitung vorhanden ist. Die *ECO Line* Definition sieht zukünftig eine Fixverrohrung nur noch durch einen entsprechenden Mehrpreis vor und damit sind prinzipiell nur noch Hydraulikschläuche in Kombination mit einbetonierten Polokalrohren einzuplanen. Wie sich herausstellte, wurden bei KW Nasswald die Schläuche auf der Baustelle in Eigenfertigung hergestellt. Dieser Umstand veranlasste mich einen Vergleich der drei Leitungsvarianten durchzuführen, da die Ausführungen aus Montagegesprächen zeigten, dass jeder notwendige Arbeitsschritt auf der Baustelle unvorhersehbare Folgekosten, aufgrund der teilweise erschwerten Standortbedingungen, beinhalten kann.

4.4.1 Mögliche Ausführung

Variante 1 wurde bei KW Cinar 1 angewandt. Aus unten gezeigter Abbildung sind die Leitungen aus Stahl (Fixverrohrung), müssen wie in der Montageabfolge aus Kapitel 4.3.2 angebracht werden und es sind zusätzlich Hydraulikschläuche in Verwendung.

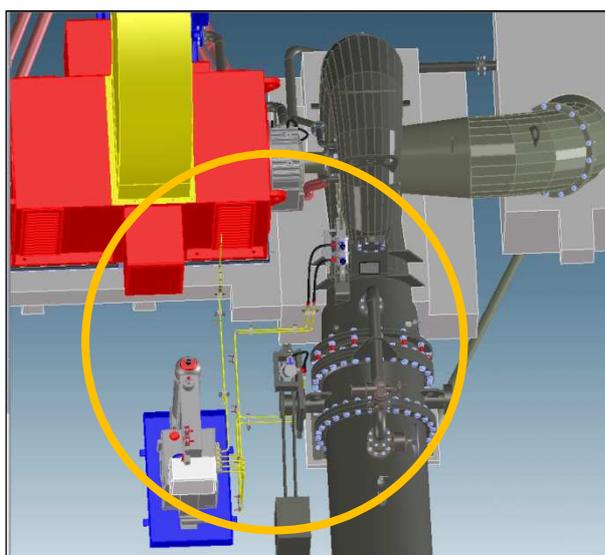


Abbildung 4.42: Hydraulikleitung Variante 1⁷⁵

Unten gezeigte Abbildung zeigt die Ausführung von KW Nasswald. Das Polokalrohr (oranges Kunststoffrohr) wird dabei einbetoniert und der Hydraulikschlauch muss lediglich eingezogen und angeschlossen werden. Der Schlauch kann als Fertiglösung auf Maß zugekauft werden, oder wie es bei Nasswald gehandhabt wurde, am Montageort „gefertigt“ werden. Dabei ist der Schlauch abzulängen und anschließend sind die Anschlussstücke aufzupressen. Die Lebensdauer von Hydraulikschläuchen liegt deutlich unter der Lebensdauer einer Fixverrohrung. Es muss allerdings davon ausgegangen werden, dass Reparaturarbeiten, aufgrund von Leckagen, erforderlich werden und somit ebenfalls Folgekosten entstehen.

⁷⁵ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

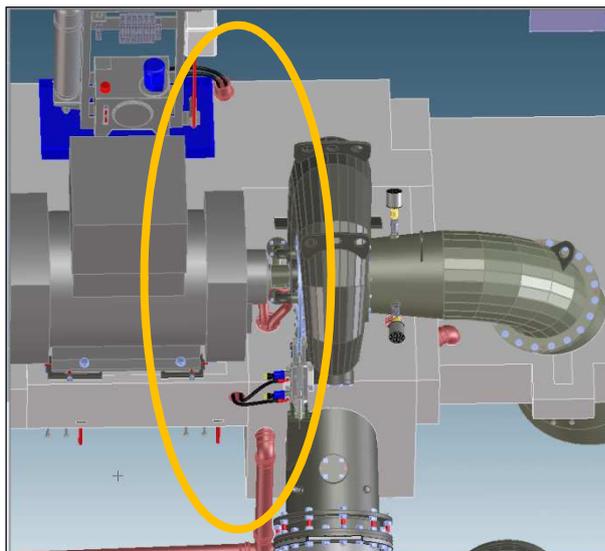


Abbildung 4.43: Hydraulikleitung Variante 2 bzw. 3⁷⁶

4.4.2 Hydraulikleitungen im Vergleich

Tabelle 4.3 zeigt die Gegenüberstellung der Kraftwerke Nasswald und Cinar 1. Wie daraus und aus den vorher gezeigten Abbildungen ersichtlich ist, wurde bei Nasswald keine Bremsleitung verwendet. Es sind immer alle drei Varianten gegenübergestellt. Dabei werden die benötigten Komponenten dargestellt. Die Abkürzung [PK] deutet auf eine Preisliste von Kössler hin. Die Werte (Polokalrohr, Schlauch) wurden teilweise interpoliert. Die Bezeichnung [A] beim Preis der verwendeten Komponenten steht für eine Kostenschätzung meinerseits. Somit setzen sich die Materialkosten aus den verwendeten Dimensionen der jeweiligen Projekte, zu üblichen Einkaufspreisen von Kössler zusammen. Die Fertigungskosten wurden durch eine Zeitabschätzung von Roman Prirschl ermittelt. Dabei wurde auf alle Arbeitsschritte (Aufreißen, Bohren, Verankern, Zurechtrichten, Pressen, Einfädeln und Anschließen) eingegangen. Der Herstellkostenvergleich zeigt deutlich, dass die „Schlauch-Fertiglösung“ beiden anderen Varianten zu bevorzugen ist.

⁷⁶ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

	Rohr Ø 12*1,5 Wandst. (Bremsse)	Rohr Ø 15*1,5 Wandst. (Hydraulik)	Schlauch NW 12 DN20 [€/lfm] - Fertig	Schlauch NW 12 DN20 [€/lfm] - Schlauch	Anschlüsse [€/#]	Polikalrohr	Kleinmaterial	Materialkosten	Montagekosten (exkl. ÜZ, SEG, Taggeld etc.)	Herstellkosten	Herstellkostendifferenz
Preis	[PK]	[PK]	[PK]	[PK]	[PK]	[PK]	[A]	Hydraulikleitungen			
Einheit	[€/lfm]	[€/lfm]	[€/lfm]	[€/lfm]	[€/#]	[€/lfm]	[%]				
KW Nasswald											
Hydraulik - Varianten	[lfm]	[lfm]	[lfm]	[lfm]	[#]	[lfm]	[€]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung	xxx	7	2*0,5m	0	0	xxx	10	14	86	100	0
Schlauch Eigenfertigung	xxx	xxx	xxx	8	4	2,5	xxx	12	9	22	78
Schlauch Fertiglösung	xxx	xxx	2*4m	xxx	xxx	2,5	xxx	14	3	17	83
Bremse - Varianten											
Fixverrohrung	0	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	0				
Schlauch Eigenfertigung	xxx	xxx	xxx	0	0	0	xxx				
Schlauch Fertiglösung	xxx	xxx	0	xxx	xxx	0	xxx				
KW Cinar 1											
Hydraulik - Varianten	[lfm]	[lfm]	[lfm]	[lfm]	[#]	[lfm]	[€]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung	xxx	18	4*0,5m	0	0	xxx	25	16	71	87	0
Schlauch Eigenfertigung	xxx	xxx	xxx	20	8	2,5	xxx	13	9	22	73
Schlauch Fertiglösung	xxx	xxx	2*10m	xxx	xxx	2,5	xxx	13	2	16	81
								0	0	0	
Bremse - Varianten								[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung	1	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	5	1	12	13	oben inkl.
Schlauch Eigenfertigung	xxx	xxx	xxx	2	2	2	xxx	3	2	5	oben inkl.
Schlauch Fertiglösung	xxx	xxx	1*2m	xxx	xxx	2	xxx	3	1	3	oben inkl.

Tabelle 4.3: Gegenüberstellung der Kosten

4.5 Hydraulikaggregat

Nach der Schilderung der grundlegenden Ziele folgt eine Beschreibung der Vorgehensweise. Anschließend werden alternative Antriebe zur Verstellung des Leitrades und des Absperrorgans vorgestellt.

4.5.1 Ausgangssituation

Eine Substitution des Hydraulikzylinders und in weiterer Folge des Hydraulikaggregates ist ein Ziel bei der Umsetzung der definierten Ziele der *ECO Line* Produktlinie. Alternative Produkte bieten im Gegensatz zu der Ausführung mit Hydrauliköl geringerer Wartungsintervalle und sollen daher bisher eingesetzten Lösungen gegenübergestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass geforderte Schließzeiten (Druckstoß) und eine Notschlussfunktion trotz Störfällen (Stromausfall etc.) gewährleistet werden kann.

4.5.2 Vorgehensweise der Datenerhebung

Es wurde primär nach Lösungen im Internet recherchiert und mögliche Literatur auf Alternativen durchforstet. Letzteres blieb ohne nennenswerte Ergebnisse. Die Internetrecherchen wurden mit den bereits durchgeführten Recherchen von Robert Lurger und Manfred König ergänzt. Wie sich bei der Datenrecherche und später auch bei der Kontaktaufnahme mit den Anbieterfirmen herausstellte, wäre eine ressourcenschonende und effiziente Abwicklung bzw. Angebotseinholung neuer Technologien nicht möglich gewesen. Einerseits war das notwendige Detailwissen (Abmaße, Betriebsverhalten etc.) nicht vorhanden bzw. nur über Kontaktpersonen zugänglich und zudem wären Gespräche, seitens der Anbieter, wünschenswert gewesen. Aufgrund dieser Umstände einigten sich meine Betreuer und ich darauf, es bei einer Recherche zu belassen.

4.5.3 Kostenstruktur Hydraulikaggregat

In nachfolgender Abbildung erfolgt eine Gegenüberstellung der Montage- und Materialkosten des Hydraulikaggregats. Die Preise wurden der Abrechnungen der Projekt Nasswald und Cinar 1 entnommen. Da in den Materialkosten alle Kosten der Verrohrung und die Kosten des Hydraulikzylinders inkludiert sind, wurden die ermittelten Kosten aus Tabelle 4.3 abgezogen. Es ist ersichtlich, dass die Materialkosten den wesentlichen Kostenblock darstellen. Diese Aufschlüsselung, ergänzt um die Kosten der Hydraulikleitungen, ergibt somit die maximalen Kosten (Hydraulik) für einen alternativen Antrieb zur Leitradverstellung.

	Materialkosten	Montagekosten (exkl. ÜZ, SEG, Taggeld etc.)	Herstellkosten		Materialkosten	Montagekosten (exkl. ÜZ, SEG, Taggeld etc.)	Herstellkosten		Materialkosten	Montagekosten (exkl. ÜZ, SEG, Taggeld etc.)	Herstellkosten
	Hydraulikaggregat				Hydraulikleitungen				Hydraulik		
KW Nasswald											
Hydraulik - Varianten	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung	89	11	100	14	86	100	84	16	100	84	16
Schlauch Eigenfertigung	90	11	100	12	9	22	84	10	94	84	10
Schlauch Fertiglösung	89	11	100	14	3	17	84	10	93	84	10
Bremse - Varianten											
Fixverrohrung											
Schlauch Eigenfertigung											
Schlauch Fertiglösung											
KW Cinar 1											
Hydraulik - Varianten	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung	92	8	100	16	71	87	83	16	98	83	16
Schlauch Eigenfertigung	92	8	100	13	9	22	83	8	91	83	8
Schlauch Fertiglösung	92	8	100	13	2	16	83	8	90	83	8
Bremse - Varianten	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Fixverrohrung				1	12	13	0	1	2	0	1
Schlauch Eigenfertigung				3	2	5	0	0	1	0	0
Schlauch Fertiglösung				3	1	3	0	0	0	0	0

Tabelle 4.4: Kostenstruktur Hydraulik

4.5.4 Alternative Schließmechanismen

Die Überlegung von Manfred König, einen Schwenkantrieb für die Verstellung des Leitapparates zu verwenden, wurde aufgegriffen und nach alternativen Antrieben gesucht. Es konnten drei Unternehmen ausfindig gemacht werden, die die Voraussetzungen für geforderte Anforderungen erfüllen und mögliche Alternativen zu einem Hydraulikzylinder bieten. Dabei ist die Voraussetzung, dass künftige Regulierringe zweiteilig ausgeführt und mit einem Schwenkbügel verbunden werden. Ein weiteres Unternehmen mit einer Alternative zu Schwenkantrieben konnte ebenfalls gefunden werden.

Die Benennung der Notstromtauglichkeit wird bei allen Unternehmen unterschiedlich durchgeführt und ist mit Anführungszeichen gekennzeichnet.

- **Firma PS Automation**

Die „Netzausfallsicherheit“ wird über Kondensatoren realisiert. Es handelt sich um einen elektrischen Schwenkantrieb, der je nach Bedarf mit unterschiedlichen Komponenten ergänzt werden kann.

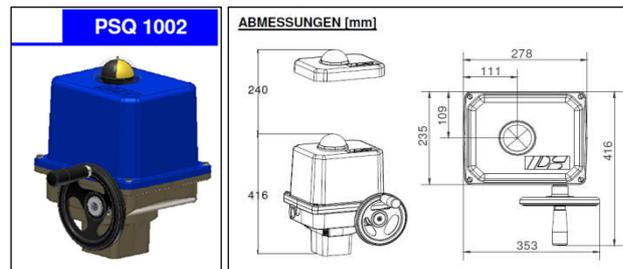


Abbildung 4.44: Alternative Hydraulik Variante 1⁷⁷

- **Firma SCHIEBEL**

Die „Fail Safe Funktion“ wird über einen nicht selbsthemmenden Stellantrieb, mit Tellerfedern als Energiespeicher, realisiert. Es handelt sich ebenfalls um einen elektrischen Schwenkantrieb.



Abbildung 4.45: Alternative Hydraulik Variante 2⁷⁸

- **Firma Auma**

Der elektrische Schwenkantrieb der Firma Auma bietet eine „Fail Safe Funktion“ über Feder und Dämpfer.



Abbildung 4.46: Alternative Hydraulik Variante 4⁷⁹

- **Firma RACO**

Es wird im Notfall eine „Sicherheitsposition“, über Gegengewichte, angefahren. Je nach Platzbedarf ist ein Einsatz für das Absperrorgan oder den Leitapparat denkbar. Es handelt sich um einen elektrischen Kugelgewindetrieb und wurde bereits bei der Firma Sulzer Hydro eingesetzt und sollte daher auch für die Firma Kössler verwendet werden können.

⁷⁷ ps-automation.com (05.07.2012).

⁷⁸ actuators.schiebel.com (05.07.2012).

⁷⁹ auma.com (05.07.2012).

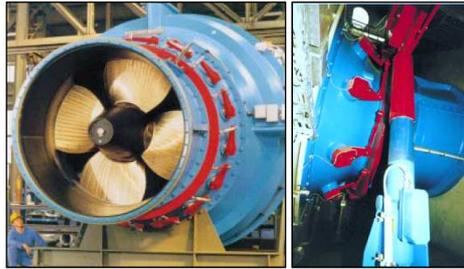


Abbildung 4.47: Alternative Hydraulik Variante 3⁸⁰

4.6 Werksmontage

Zu Beginn dieses Kapitels erfolgt eine kurze Beschreibung der Vorgehensweise. Anschließend werden alle Arbeitsschritte erörtert, mögliche Kostentreiber identifiziert und eine anschließende Abschätzung aller Werksmontagezeiten durchgeführt.

4.6.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Die Datenerhebung wurde, wie in Kapitel 2.2.8 (Produzierender Bereich) beschrieben, durchgeführt. Christoph Sporidis war die Hauptansprechperson für die durchgeführten Untersuchungen. Da die Kostentreiberanalysen unterschiedlichste Kernkosten ergaben, die Arbeitsabläufe höchst verstrickt sind und somit auch die Kostenerfassung höchst komplex ist, wurden von Christoph Sporidis alle Tätigkeiten niedergeschrieben. Dies ermöglichte einen zügigeren Fortschritt der Untersuchungen und lieferte eine erstmalige Tätigkeitserfassung der Werksmontage. Diese Tätigkeiten wurden in einem gemeinsamen Gespräch auf die Arbeitsdauer abgeschätzt und mögliche Verbesserungsmaßnahmen mit Dipl. Ing. Erwin Franz und Christoph Sporidis durchbesprochen. Zudem erfolgte eine Gegenüberstellung der ermittelten Kernkosten, um deren Plausibilität zu prüfen.

4.6.2 Abfolge der Arbeitsabläufe

Der Begriff Werksmontagetätigkeiten verleitet, aufgrund der Kenntnis der Montagetätigkeiten einen Außenstehenden dazu, ausschließlich einen Zusammenbau im Werk zu assoziieren. Zu den Tätigkeiten gehören allerdings auch zahlreiche Fertigungsschritte. Nachfolgend werden die Tätigkeiten aller Bauteile in Flussdiagrammen dargestellt. Diese Darstellung berücksichtigt die Montage doppelt gelagerter Leitschaukeln.

⁸⁰ raco.de (05.07.2012).

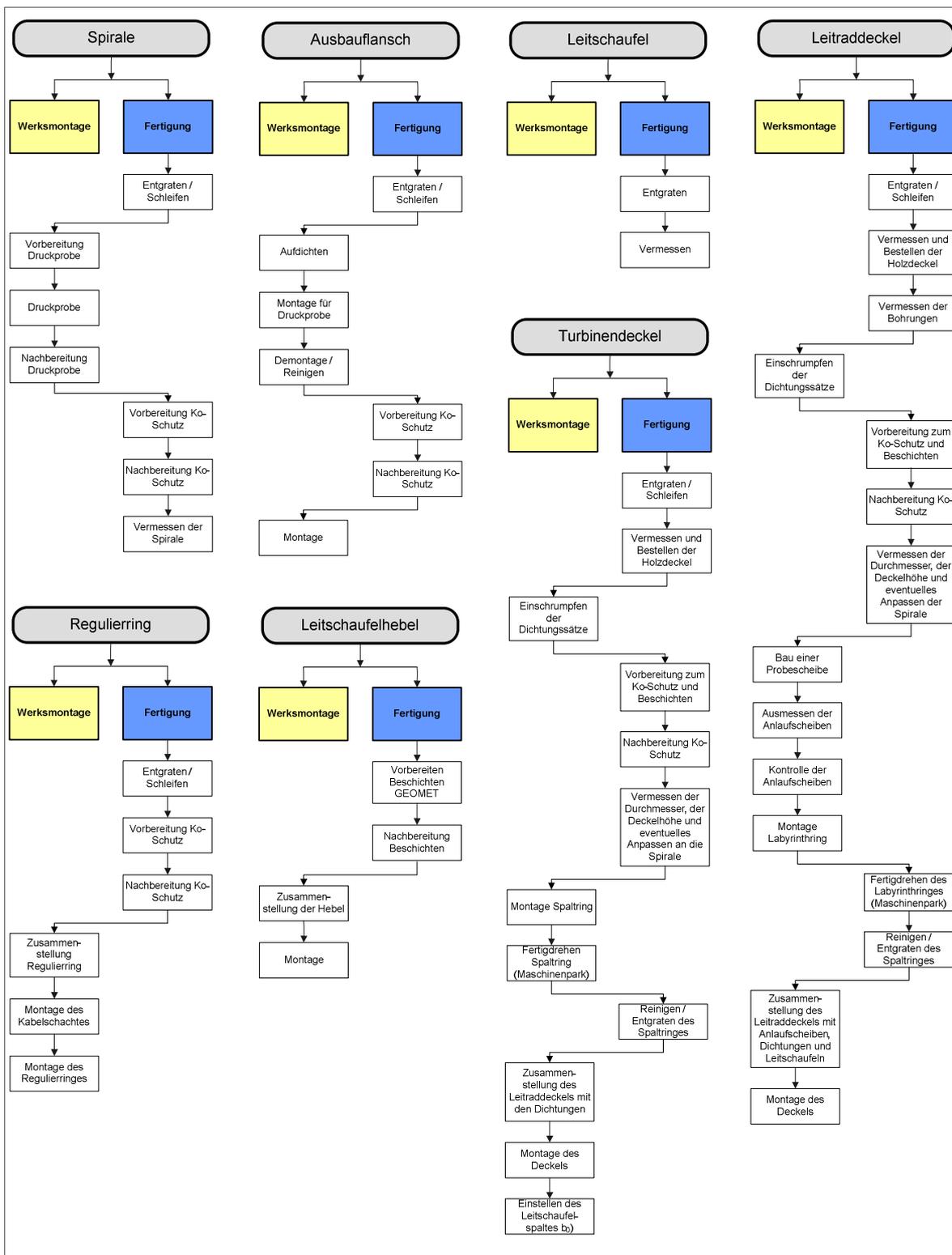


Abbildung 4.48: Ablaufplan Werksmontage Teil 1

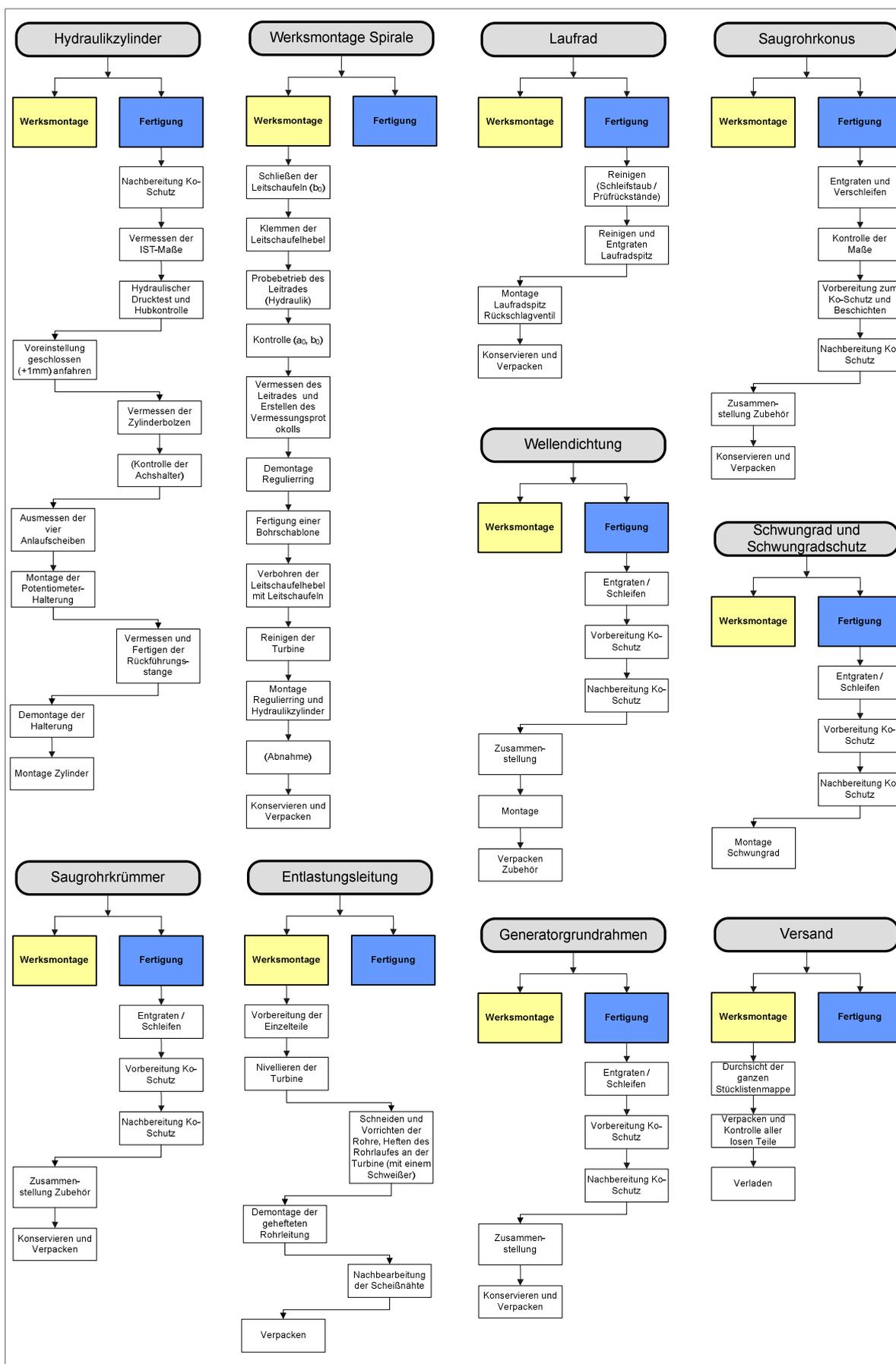


Abbildung 4.49: Ablaufplan Werksmontage Teil 2

4.6.3 Werksmontage im Vergleich

Unten erfolgt eine Gegenüberstellung der Werksmontagetätigkeiten. Die prozentuelle Angabe orientiert sich an den Kosten KW Cinar 1 aus Abbildung 4.51. Es fällt bei der Werksmontage nur ein einheitlicher Stundensatz an und somit verhalten sich die Stunden wieder äquivalent zu den Kosten.

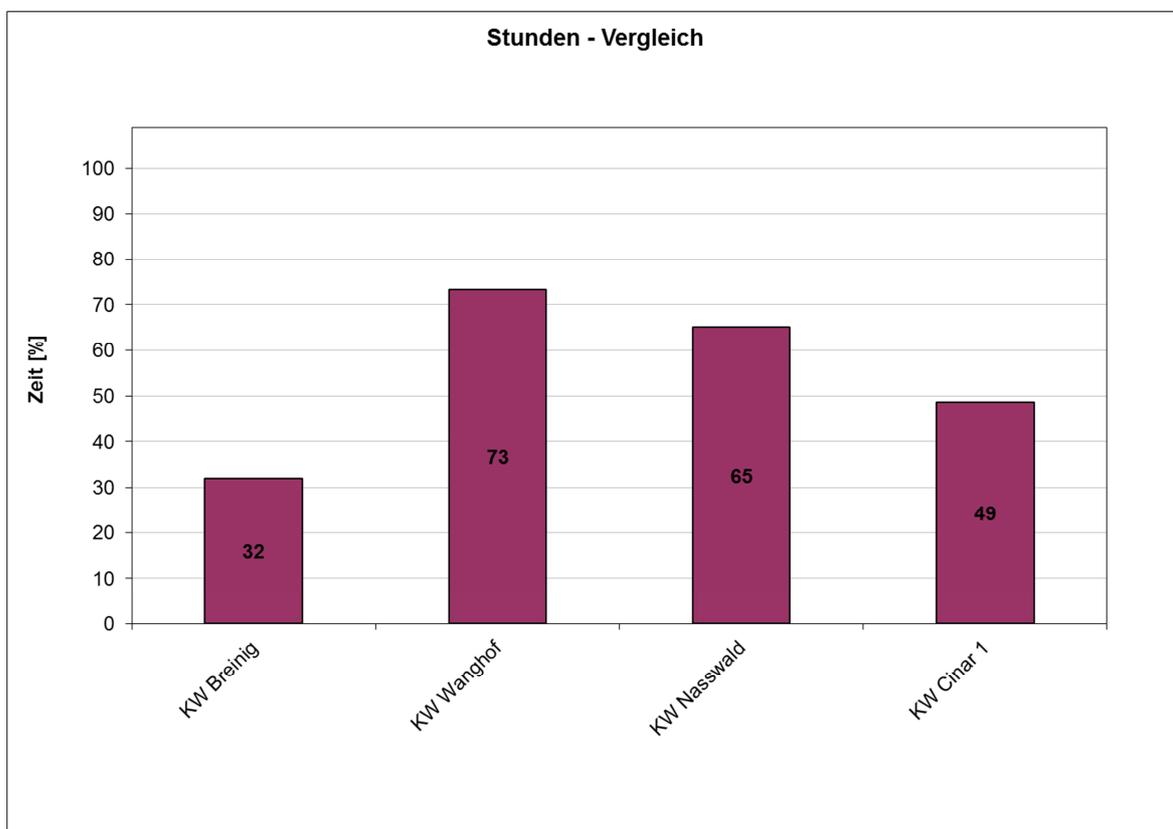


Abbildung 4.50: Kosten der Montage

Die Untersuchungen der Kostentreiberanalyse Spirale, Leitappart, Werksmontage und in weiterer Folge die Abschätzung der Dauer der Werksmontage ergaben, dass die Stunden höchst unterschiedlich verbucht sind. Dies ist dadurch zu erklären, dass eine sehr unterschiedliche Interpretation der Zeiterfassung vorherrscht. So sind viele Stunden der Werksmontage auf unterschiedlichsten Komponenten verbucht und es ist kein Vergleich möglich. Bezogen auf die Gesamtkosten eines Projektes hat dies keine Auswirkung, da es unwesentlich ist, ob die Tätigkeiten auf die Spirale, den Turbinendeckel oder die Werksmontage gestempelt werden. Nur ist es so unmöglich Kosten, innerhalb der Werksmontage, miteinander zu vergleichen. Abbildung 4.51 zeigt die neu ermittelte Kostenstruktur. Die Stunden aus „allgemeine Arbeit“ der Spirale, des Leitapparats und der zusätzlichen Komponenten aus den Abbildungen „Ablaufplan Werksmontage“ wurden auf die Werksmontage übertragen. Somit sind diese Kosten nicht mehr den Komponenten zugeordnet, senkt deren Herstellkosten, aber gleichzeitig sind alle Tätigkeiten der Werksmontage in einer Kostenstruktur erfasst und eine Kostentreiberanalyse wird ermöglicht.

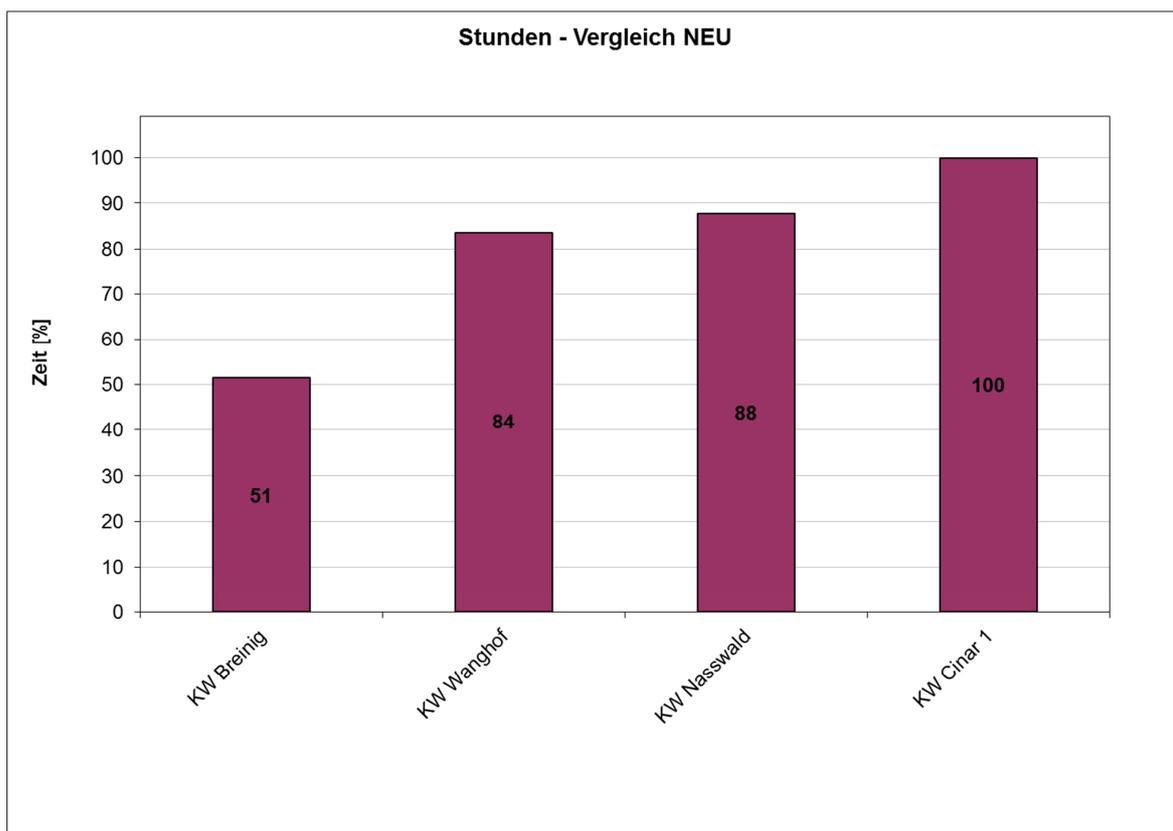


Abbildung 4.51: Kosten der Montage NEU

Dadurch werden die Kostenschwankungen dieses Kostenblocks reduziert und nehmen auch eine annähernd zu erwartende Form an. Zirka 30 Prozent Unterschied von Wanghof zu Breinig verwundern allerdings immer noch. Eine anschließende Kostenanalyse soll die Ursachen aufdecken.

4.6.4 KW Nasswald

Dieses Projekt wurde nicht unter Christoph Sporidis abgewickelt und daher ist diesbezüglich keine Ursachenanalyse möglich. Zudem sind keine Nacharbeitsprotokolle vorhanden. Da die Kosten über jenen von KW Wanghof und KW Breinig liegen, werden diese vermutlich nicht den internen Benchmark darstellen.

4.6.5 KW Breinig

KW Breinig weist die geringsten Montagestunden auf. Laut Christoph Sporidis sind keine Vorkommnisse bekannt. Nacharbeitsprotokolle sind ebenfalls nicht vorhanden und damit ist dieses Projekt mit großer Wahrscheinlichkeit als Kostenbenchmark heranzuziehen. Die Kernkosten liegen laut Abbildung 4.51 bei 51 Prozent von KW Cinar 1.

4.6.6 KW Wanghof

Bei diesem Projekt sind einige Probleme in der Werksmontage aufgetreten. Sobald mehrere Montageverzögerungen anfallen, werden diese von befragter Person protokolliert. In diesem Fall sind wegen größerer Mängel auch Nacharbeitsprotokolle vorhanden.

Durch fehlende Bauteile („Prozessplanung“) ist eine Verzögerung von zwei Prozent, bezogen auf KW Cinar 1, aufgetreten. Wie bereits in der Kostentreiberanalyse Konstruktion, zeigen sich auch hier massive Kostensteigerungen durch einen unerfahrenen Konstrukteur. Der Zusammenbau war prinzipiell nicht stimmig, zudem wurden mit fehlenden Gewinden in den Leitschaukeln (zum Zurückziehen) und zu engen Toleranzen (Korrosionsschutz) zwei wesentliche Zeitverzögerungen in den Protokollen notiert. Die Bestellung der Pressbüchsen verlief äußerst unglücklich. Erste Lieferung entsprach nicht den geforderten Maßangaben und eine neue Bestellung wurde bei einer anderen Firma aufgegeben. Wieder trat derselbe Fehler ein und schlussendlich wurden die Büchsen, wegen des Zeitdrucks, bei Kössler selbst gefertigt („Liefermängel“). Bei der erstmaligen Eigenfertigung der Leitschaukeln wurde auf die Ausgleichsmassen beim Drehen vergessen bzw. aufgrund der mangelnden Erfahrung nicht auf eine auftretende Unwucht geachtet und es entstanden unterschiedliche Längen der Leitschaukeln. Dadurch erfolgte ein zweimaliges Zusammenbauen des Leitapparates. Zudem war ein Rückschlagventil zu groß bzw. das Loch im Laufradsitz zu klein und es musste nachgearbeitet werden („Technologiebeherrschung“). Die ständigen Stempelungen (sehr viele Baugruppen- bzw. Schnittzeichnungen) werden mit ein Prozent der Zeit von Cinar 1 geschätzt. Mit der enormen Auftragssteigerung der letzten Jahre wurden auch die Lieferintervalle im Unternehmen größer. Durch die Lage der Werksmontage (bei der Warenannahme) muss oftmals die Werksmontage unterbrochen bzw. notwendige Teile beiseite geräumt werden und somit stehen nicht immer beide Kräne zur Verfügung. Einer wird für den Maschinenpark und der andere für Umräumarbeiten verwendet („Arbeitsplatzbedingungen“). Die erschwerten Arbeitsplatzbedingungen wirken sich auf *ECO Line* Anlagen nicht so drastisch aus, wie dies bei größeren Werksmontagen zu erwarten ist, da fast alle Teile ohne Kran zu bewegen sind. Die ermittelten Kernkosten betragen 47 Prozent der Kosten des KW Cinar 1.

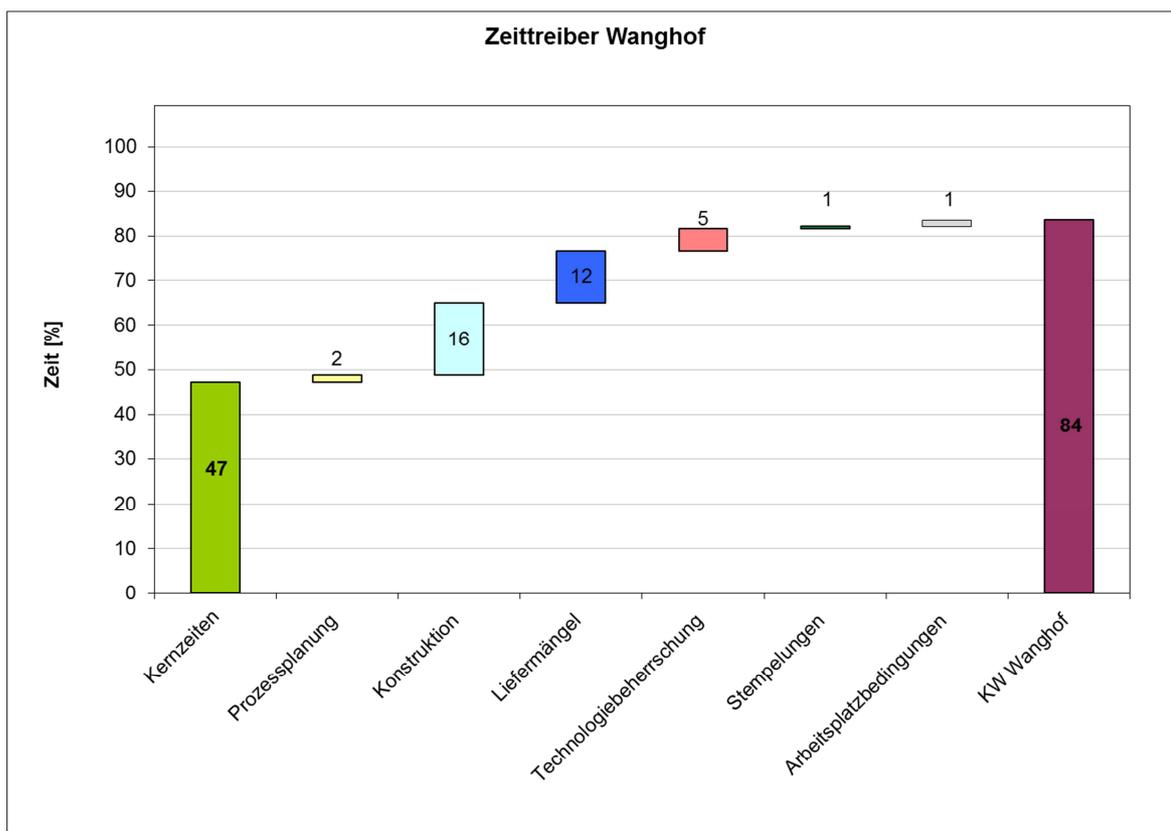


Abbildung 4.52: Kostentreiber Werksmontage KW Wanghof

4.6.7 KW Cinar 1

Da die Deckel nicht bestellt wurden, anschließend gedreht und gebohrt werden mussten, die Verdreherfassung neu gebohrt werden musste und das Leckagegehäuse vier Tage vor Liefertermin gebohrt, gestrahlt und gegen Korrosion geschützt werden musste, kam es zu einer Verzögerung von fünf Prozent („Prozessplanung“). Die Konstruktion sah keine Abdrückgewinde im Spaltring vor und dadurch musste diese von der Werksmontage nachträglich gefertigt werden („Konstruktion“). Probleme bei der Lieferung des Gabelkopfs des Zylinders verursachten eine Verzögerung von drei Prozent („Liefermängel“). Die Probleme des Rückschlagventils bzw. dessen Lösung wurden auf dieses Projekt nicht übertragen und somit musste ein eigentlich gelöstes Problem abermals behoben werden („Kommunikation“). Eine Senkung musste wegen eines Fertigungsfehlers aufgebohrt werden und erzeugte einen Zeitverlust von einem Prozent. Die ständigen Stempelungen und Arbeitsplatzbedingungen verhalten sich gleich wie bei KW Wanghof. Die resultierenden Kernkosten liegen bei 88 Prozent und betragen somit fast die doppelte Zeit von Wanghof.

Durch eine vorausschauende Werksmontage (seitens des Werksmontageteams) konnten Verzögerungen, aufgrund einer vergessenen Ausschreibung der Montagebleche (3 bis 4 Tage Wartezeit) und der Nachbestellung des nicht mitgelieferten Gabelkopfes eines Zylinders (2 Wochen), verhindert werden.

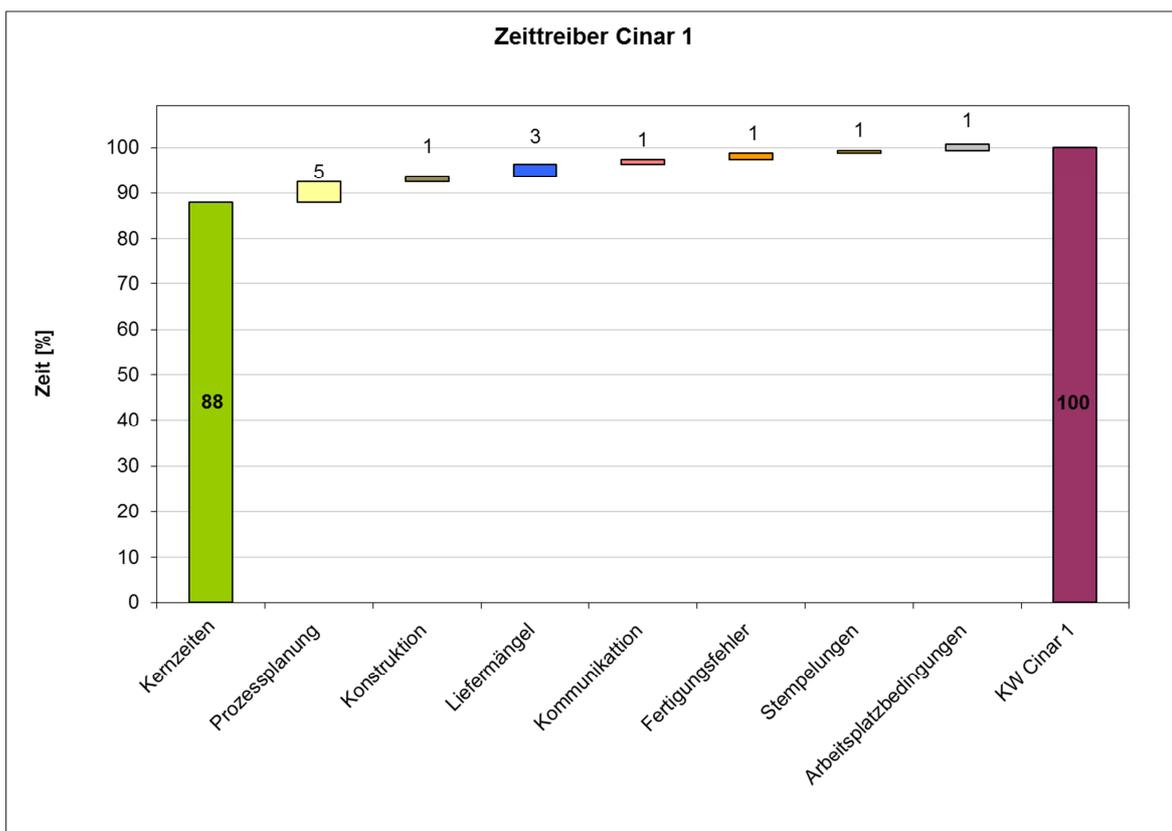


Abbildung 4.53: Kostentreiber Werksmontage KW Cinar 1

4.6.8 Abschätzung der Dauer der Werksmontagezeiten

Es liegen nun drei unterschiedliche Kostenbenchmarks vor. Da es für befragte Person und mich kaum möglich war, die Korrektheit der ermittelten Kernkosten zu prüfen, wurde jedem Arbeitsschritt eine Fertigungs- bzw. Montagedauer zugeordnet. Somit kann einerseits die Plausibilität der Kernkosten geprüft und andererseits abgeschätzt werden, ob ein alternativer Arbeitsschritt eine Kostenreduktion zur Folge hat. Nachfolgende Darstellung zeigt die Dauer jeder verbauter bzw. bearbeiteter Komponente. Auf eine detaillierte Darstellung jeder Komponente wird verzichtet, steht dem Unternehmen allerdings, mit Alternativen Arbeitsschritten, zur Verfügung.

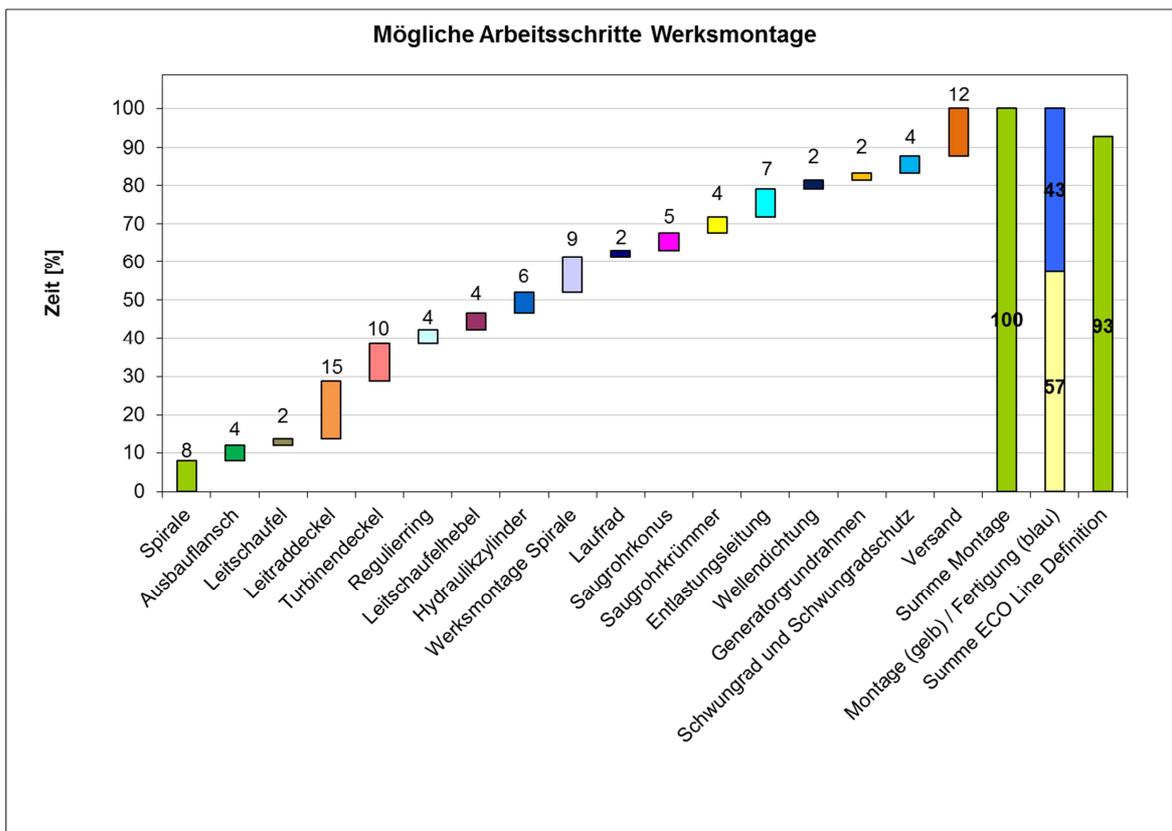


Abbildung 4.54: Mögliche Werksmontageschritte

Oben dargestellte Arbeitszeiten beinhalten sowohl Fertigungszeiten, als auch reine Montagezeiten. Der Balken mit gelb („Montage“) und blau („Fertigung“) zeigt die Prozentuelle Aufteilung der jeweiligen Arbeitszeit. Diese Stunden sind zu erwarten, wenn die Werksmontage durch zwei Mitarbeiter erfolgt. Dabei handelt es sich um Fertigungszeiten die durchschnittlich benötigt werden und Montagezeiten die im Idealfall möglich sind. Zudem beziehen sich die Stunden ausschließlich auf Projekte der Größenordnung *ECO Line* Francis Produktlinie. Die Dauer der Abnahme (Abholen vom Zug, Gespräche etc.) wurde nicht berücksichtigt. Die „Summe Montage“ summierte alle aufgelisteten Zeiten. Der „Summe *ECO Line* Definition“ wird hingegen die Werksmontagezeit der Entlastungsleitung abgezogen.

In Abbildung 4.55 sind die drei ermittelten Kernkosten, die Abschätzung aus Abbildung 4.54, abzüglich nicht notwendiger Komponenten bei KW Breinig, und die dessen Fertigungs- und Montageanteil dargestellt. Bei der „Abschätzung (Breinig)“ wurden die Entlastungsleitung, der Generatorgrundrahmen, die Zeiteinsparung durch die fliegende Lagerung und der Saugrohrkrümmer abgezogen.

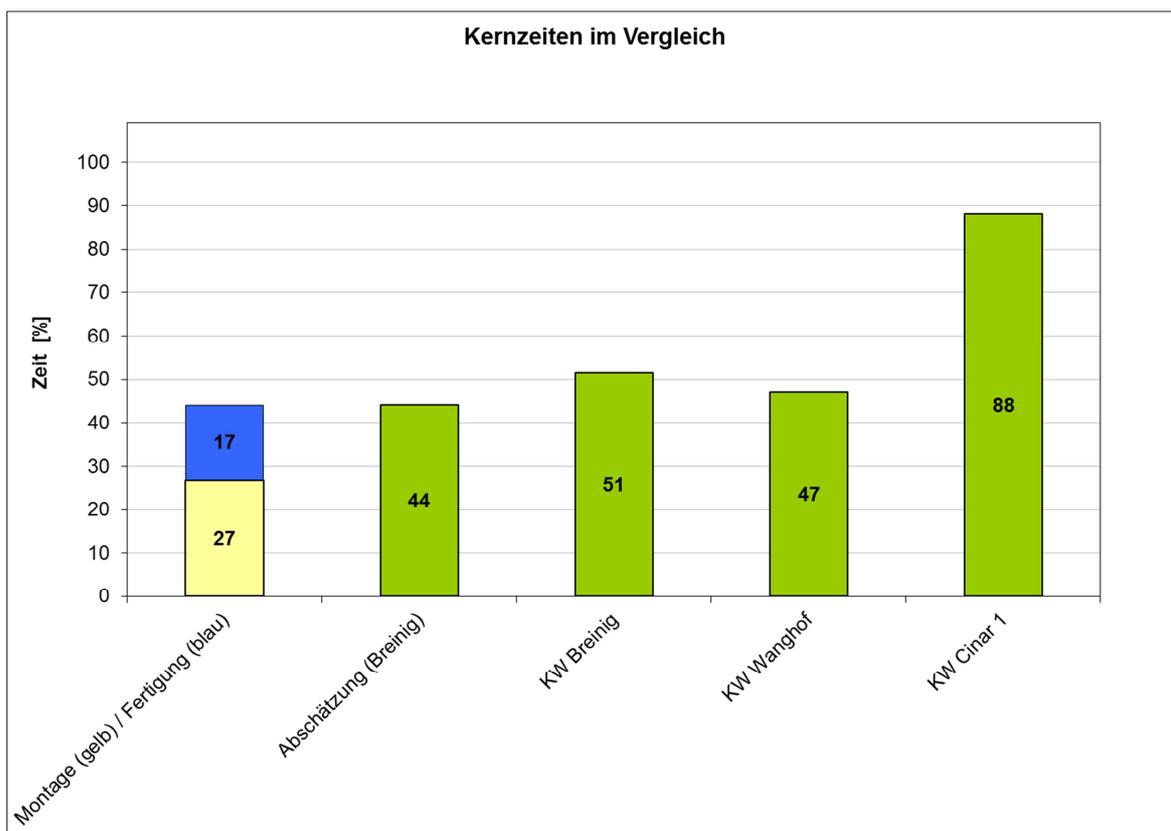


Abbildung 4.55: Kernkosten im Vergleich

Wie bereits bei der Montage liegt der Wert der Abschätzung sehr nahe an der Zeit der ermittelten Kernkosten. Ich bin überzeugt, dass somit die Plausibilität der ermittelten Werte gegeben ist und diese Werte für zukünftige Kalkulationen herangezogen werden können.

4.6.9 Zusammenfassung der Ursachen

Da in den Gesprächen, wie bereits bei der Kostentreiberanalyse Konstruktion, auch andere Ursachen für mögliche Zeitverluste angesprochen wurden, werden diese hier ebenfalls angeführt (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang). Nicht alle Sachverhalte konnten bei den betrachtenden *ECO Line* Projekten gefunden werden. Alle Bemerkungen zu möglichen Ursachen die nachvollziehbar erscheinen, werden hier angeführt.

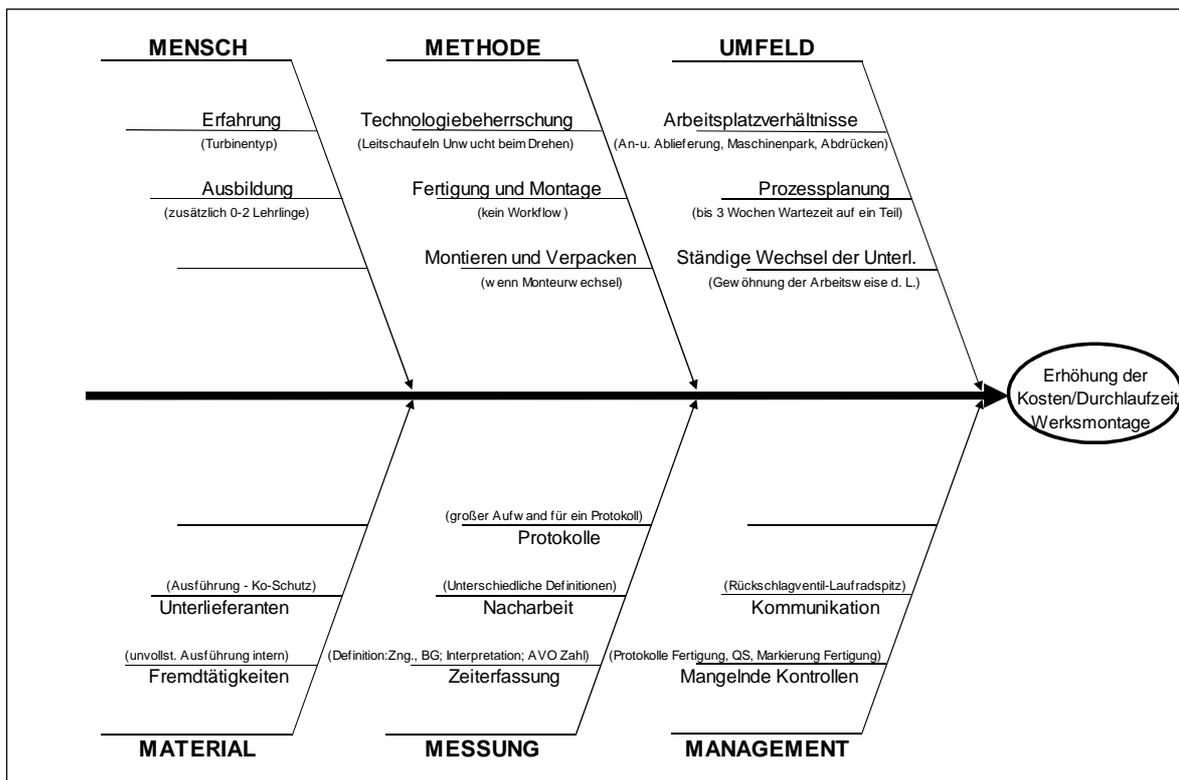


Abbildung 4.56: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Werksmontage

4.7 Spiralgehäuse

Nach einer kurzen Beschreibung zur Datenerhebung erfolgt eine Erläuterung zum Fertigungsprozess des Spiralgehäuses. Die Gegenüberstellung der Kosten zeigt eine neue Kostenaufteilung und die anschließende Kostentreiberanalyse der vier Kernprojekte, veranschaulicht die wesentliche Ursachen der Kostenunterschiede.

4.7.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Die Abrechnungen des Spiralgehäuses dienen als Grundlage der Untersuchungen. Es wurden alle Arbeitszeiten gegenübergestellt und mit Robert Smrcka, Ing. Georg Schoderböck und Christoph Sporidis durchgesprochen. Es zeigten sich einige Unstimmigkeiten in der Zeiterfassung der Arbeitsschritte. Diese wurden gemäß den Abschätzungen befragter Personen zugeordnet. Alle Arbeitszeiten der „allgemeinen Arbeit“ wurden der Werksmontage zugeordnet (vgl. Kapitel 4.6.8). Die notwendige Zeit der Fertigung muss daher, bei Verwendung dieses Datenmaterials, noch gesondert berücksichtigt werden. Der Arbeitsablauf ist aus Abbildung 4.48 ersichtlich.

4.7.2 Abfolge des Arbeitsablaufes

Es erfolgt die Auslegung und Konstruktion der Spirale. Anschließend wird diese bei einem Lohnfertiger gefertigt. Die Bearbeitung des Stützschaufelrings erfolgt in der Regel bei

Kössler. Anschließend wird der Korrosionsschutz aufgebracht (extern) und die Spirale steht der Werksmontage zur Verfügung.

4.7.3 Spiralgehäuse im Vergleich

Die nachfolgende Abbildung zeigt Kostenverläufe der Spiralgehäuse, aufgeteilt in Materialkosten (inkl. Gemeinkosten und Zukaufteile) und Fertigungskosten. Aufgrund der Baugröße (vgl. Tabelle 3.1) erscheint diese Reihenfolge unlogisch. Die Reihenfolge Breinig, Nasswald, Wanghof und Cinar 1 wäre diesbezüglich zu erwarten gewesen. Es sind allerdings sehr unterschiedlichen Kosten der Fertigung und des Materials (vgl. Abbildung 4.59) ersichtlich.

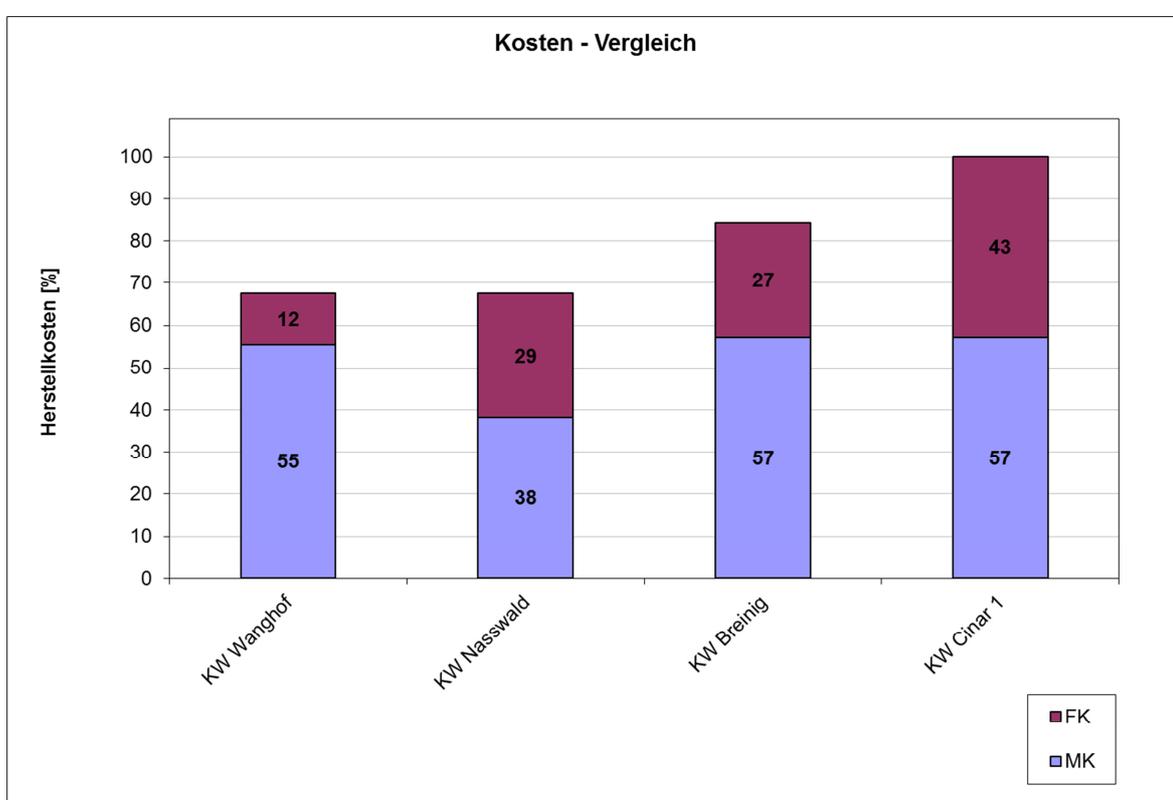


Abbildung 4.57: Kosten des Spiralgehäuses

Tabelle 5.5 zeigt die Ausgangssituation der Zeiterfassung und das Ergebnis nach der Berichtigung der Zeitwerte (NEU).

Ausgangssituation	R	Ko-S	WM	S	V	D	SCHW	SCHL	B	CNC K	K	HB	ZFP	AA	Durchlaufzeit
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
KW Breinig	18		32						7	13	6			6	81
KW Wanghof			38	0,1		1				9				9	57
KW Nasswald				5	9	1				20				5	41
KW Cinar 1	7	5	27	0,4		2	7	3	4	15	9	2	4	15	100

NEU	R	Ko-S	WM	S	V	D	SCHW	SCHL	B	CNC K	K	HB	ZFP	AA	Durchlaufzeit
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
KW Wanghof			0	0		1				9				9	19
KW Nasswald				0	0	1				20				20	41
KW Breinig	0		0						7	13	6			24	49
KW Cinar 1	0	5	0	0,4		2	7	3	4	15	9	2	4	22	73

Tabelle 4.5: Stundenaufteilung Spiralgehäuse

Ein hoher Anteil der Stunden ist auf die Werksmontage (WM) gestempelt. Diese Stunden sind bereits vorher auf die Kostenstelle Werksmontage verbucht worden. Die Werte Reinigung (R), Schleifen (S) und Verpacken (V) wurden in einem ersten Schritt der „allgemeinen Arbeit“ (AA) und diese anschließend der Werksmontage zugeordnet. Somit sind in der Gegenüberstellung der Kosten „NEU“ keine Stunden der allgemeinen Arbeit (AA) mehr inkludiert und keine Tätigkeiten der Werksmontage mitverrechnet (Abbildung 4.58). Die rote Markierung, aus Tabelle 5.5 zeigt den Unterschied der einzelnen Bearbeitungsmethoden. Bei KW Wanghof und KW Nasswald werden die notwendigen Bearbeitungsschritte auf einer Maschine und bei KW Breinig und KW Cinar 1 auf drei Maschinen bearbeitet. Wobei bei KW Cinar 1 noch Zusatzarbeiten anfallen. Diese Unterschiede und die unterschiedlichen Zeitdifferenzen werden in den Kostentreiberanalysen erörtert.

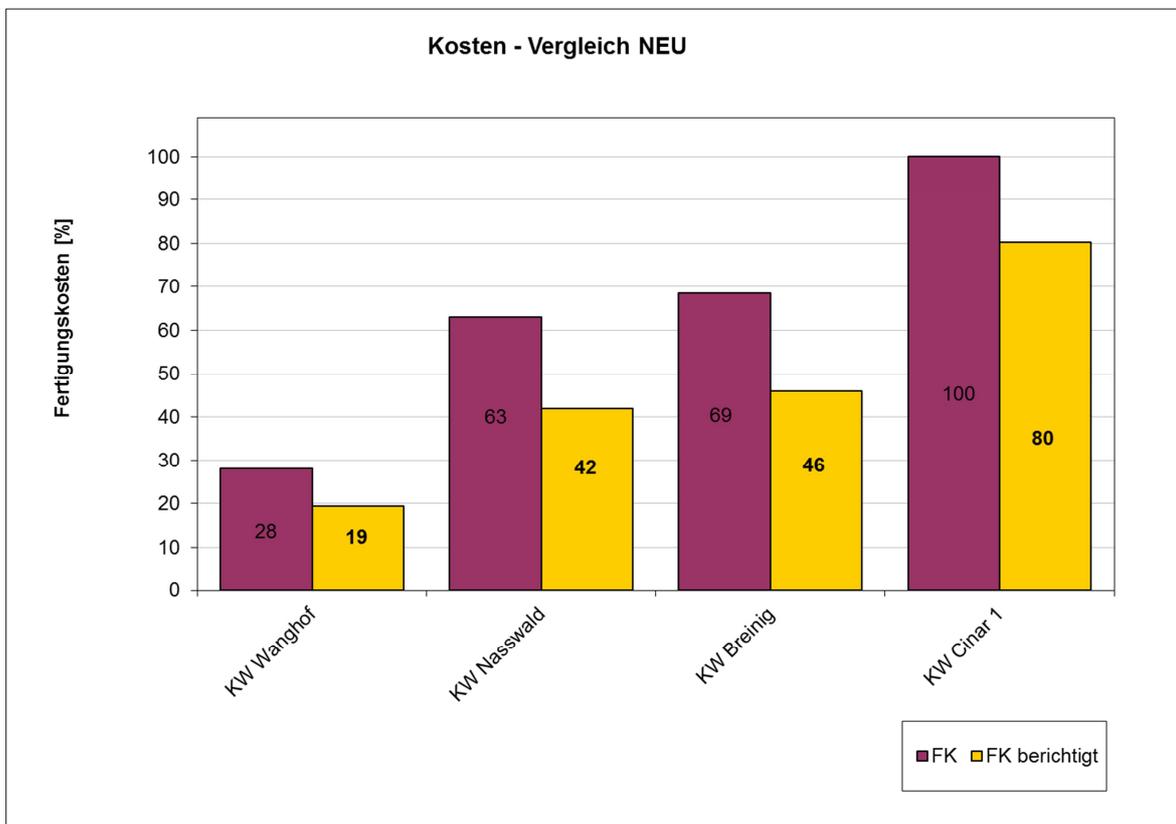


Abbildung 4.58: Kosten des Spiralgehäuses NEU

Nachfolgende Abbildung zeigt das Preisverhalten der Spirale aller bisher ausgeführten Spiralen und einen Trend der *ECO Line* Anlagen. Dabei sind in diesen Preisen lediglich die Kosten der Lohnfertiger (Material plus Fertigung) und keine Kosten der Fertigung im Werk zu sehen. Dieses Preisverhalten hängt einerseits von der aktuellen Marktsituation (Datum der Bestellung) und andererseits vom Gewicht ab. Je geringer die Materialmenge, desto stärker wirken sich die Fixkosten, in der Herstellung (Lieferant), auf das Produkt aus. Zwei Faktoren die nicht zu beeinflussen sind und auch zeigen, dass es ein Trugschluss sein kann, dass kleine Spiralen kostengünstiger in der Anschaffung sind (vgl. Kapitel 4.7.3).

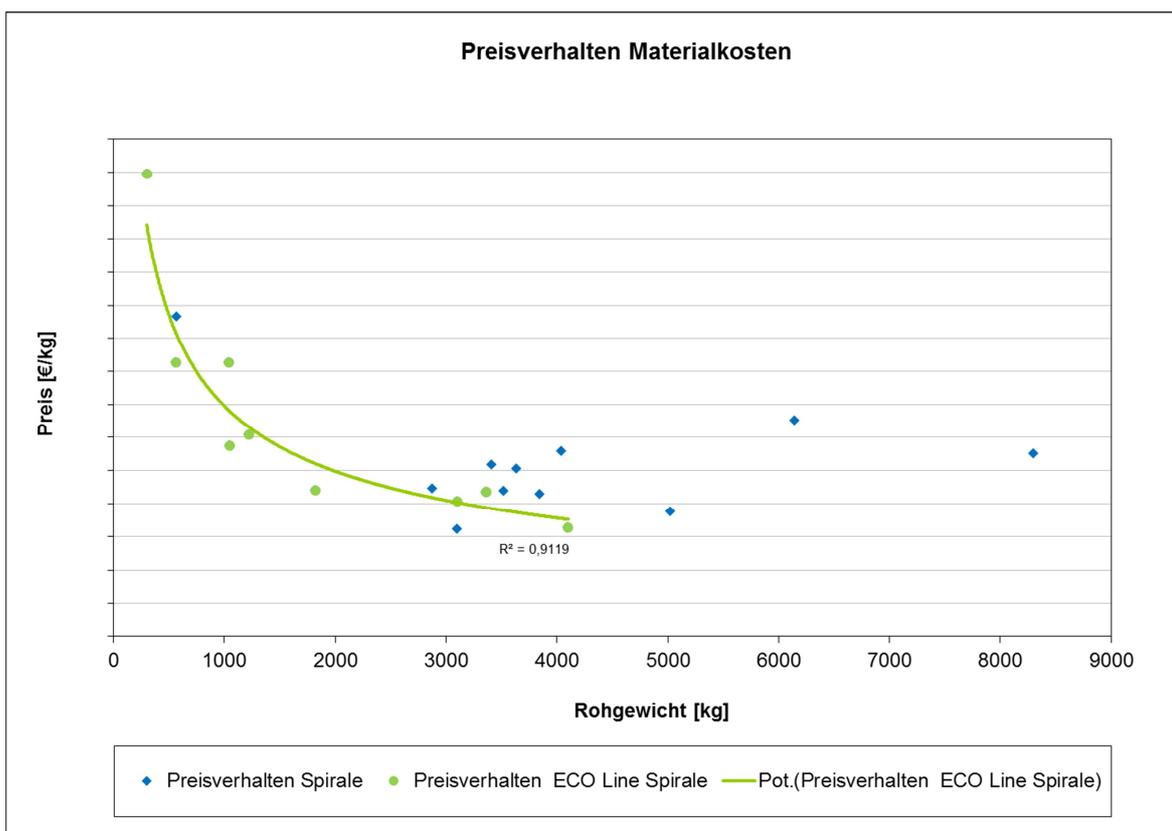


Abbildung 4.59: Spiralgehäuse MK (HW)-Vergleich

4.7.4 KW Wanghof

Die Arbeitszeiten bei KW Wanghof sind am geringsten ausgefallen und diese Zeiten sind laut befragten Personen als Kernkosten zu betrachten und betragen 24 Prozent von KW Cinar 1. Die geringen Kosten basieren auf der Ausführung des Anschlussflansches und der Bearbeitung auf einer Maschine. Lediglich Kleinteile wurden noch zusätzlich gedreht.

4.7.5 KW Nasswald

Der wesentliche Unterschied zum Projekt Wanghof ist die Ausführung des Flansches. In der Regel ist es notwendig den Anschlussflansch als Ausbaufansch auszuführen. Dadurch wird eine (problemlose) Montage/Demontage der Spirale an das Absperrorgan

gewährleistet. In nachfolgender Abbildung ist der Unterschied eines Ausbauflansches zu einem Standardflansch (hier beim Saugrohr) ersichtlich.

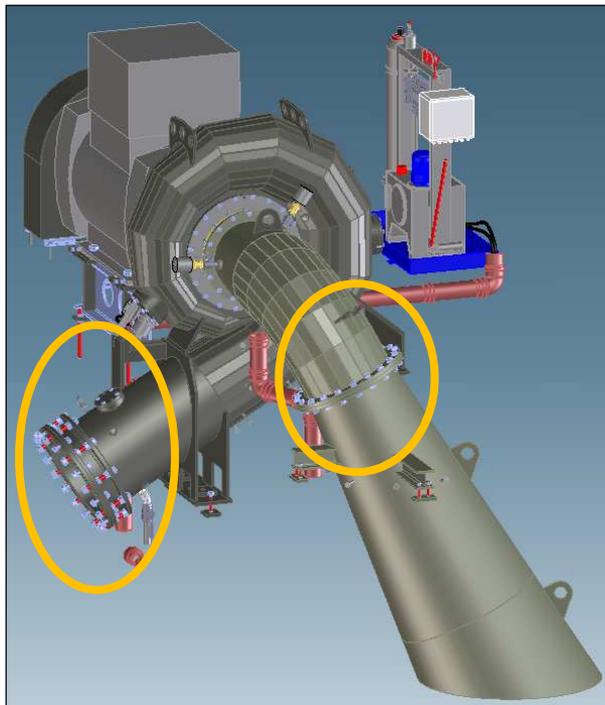


Abbildung 4.60: Darstellung eines Ausbauflansches⁸¹

Die Einbaulage ermöglichte in diesem Fall einen Verzicht des Ausbauflansches und daher ist in dieser Eigenschaft der Grund der Kostensteigerung, im Vergleich zu KW Wanghof, zu finden.

Die Kostenunterschiede beim Spiralgehäuse, im Vergleich zur Konstruktion, Montage und Werksmontage, verhalten sich nicht ident zu den Durchlaufzeitunterschieden. Dies erklärt sich durch die unterschiedlichen Stundensätze der beanspruchten Kostenstellen. Nachfolgende Darstellungen zeigen deshalb beide Abweichungen. Die 100 Prozent-Marke wird an den berechtigten Kosten des KW Cinar 1 gemessen.

⁸¹ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

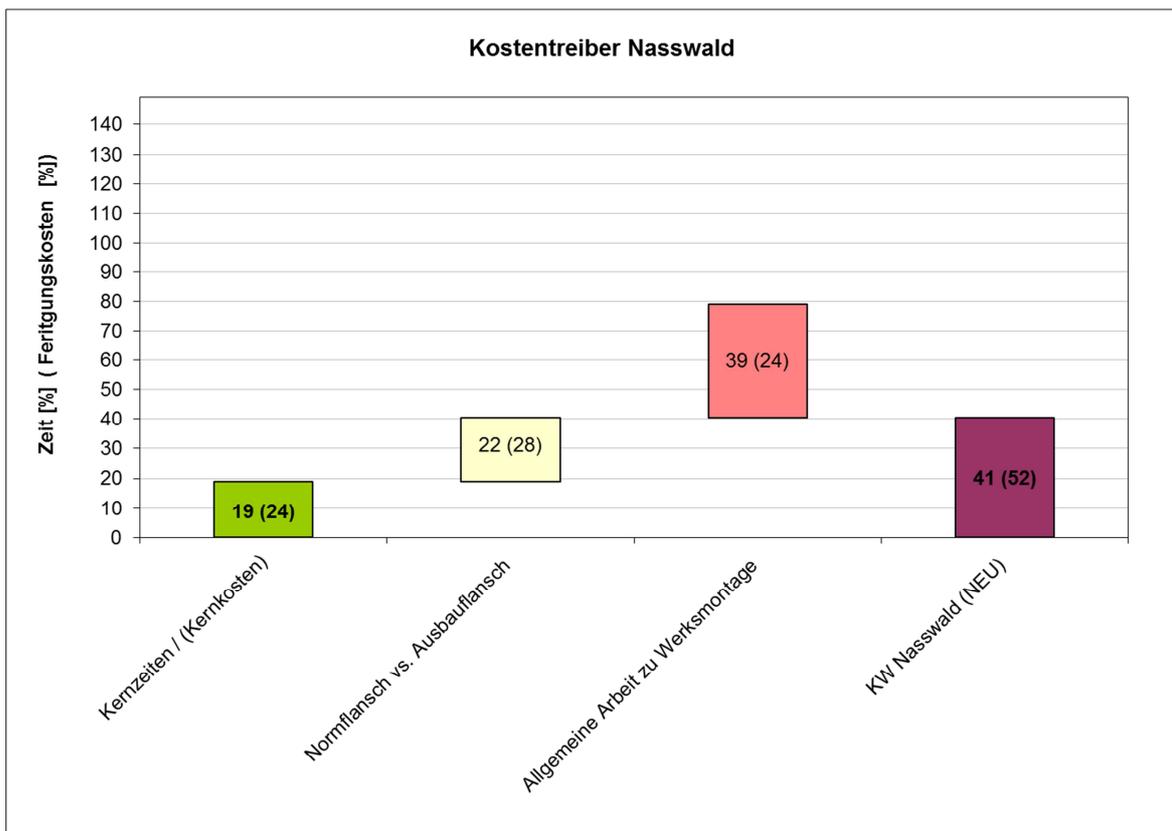


Abbildung 4.61: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Nasswald

Aus Abbildung 4.61 wird ersichtlich, dass nahezu dieselbe Zeit der Spiralgehäusebearbeitung zur Werksmontage verschoben wurde. Gerade einmal sieben Prozent der Zeit wird in der Regel tatsächlich für die Fertigung der Spirale, durch die Werksmontage, aufgewendet. Dadurch wird die unterschiedliche Interpretation bei der Zeiterfassung ersichtlich. Dass dadurch die Kosten nicht der Tatsache entsprechen, muss vermutlich nicht extra erwähnt werden. Auf die gesamten Herstellkosten der Anlage gesehen, bleiben die Kosten annähernd gleich, da in der Regel alle betroffenen Kostenstellen dieselben Stundensätze aufweisen. Die Differenz zu den Kernkosten wurde dem Ausbaufansch zugeordnet. Diese beträgt 54 Prozent der Bearbeitungszeit oder 22 Prozent, bezogen auf KW Cinar 1.

4.7.6 KW Beinig

Bei der Kostentreiberanalyse des KW Beinig wird für die Bearbeitung des Normalflanschs dieselbe Zeit verrechnet, wie in der Kostentreiberanalyse der KW Nasswald ermittelt wurde. Die allgemeine Arbeit wurde der Werksmontage zugeordnet. Somit wurde dem Maschinenwechsel die Differenz zu KW Beinig zugewiesen. Weshalb dieser Wechsel erfolgte, konnte nicht eruiert werden.

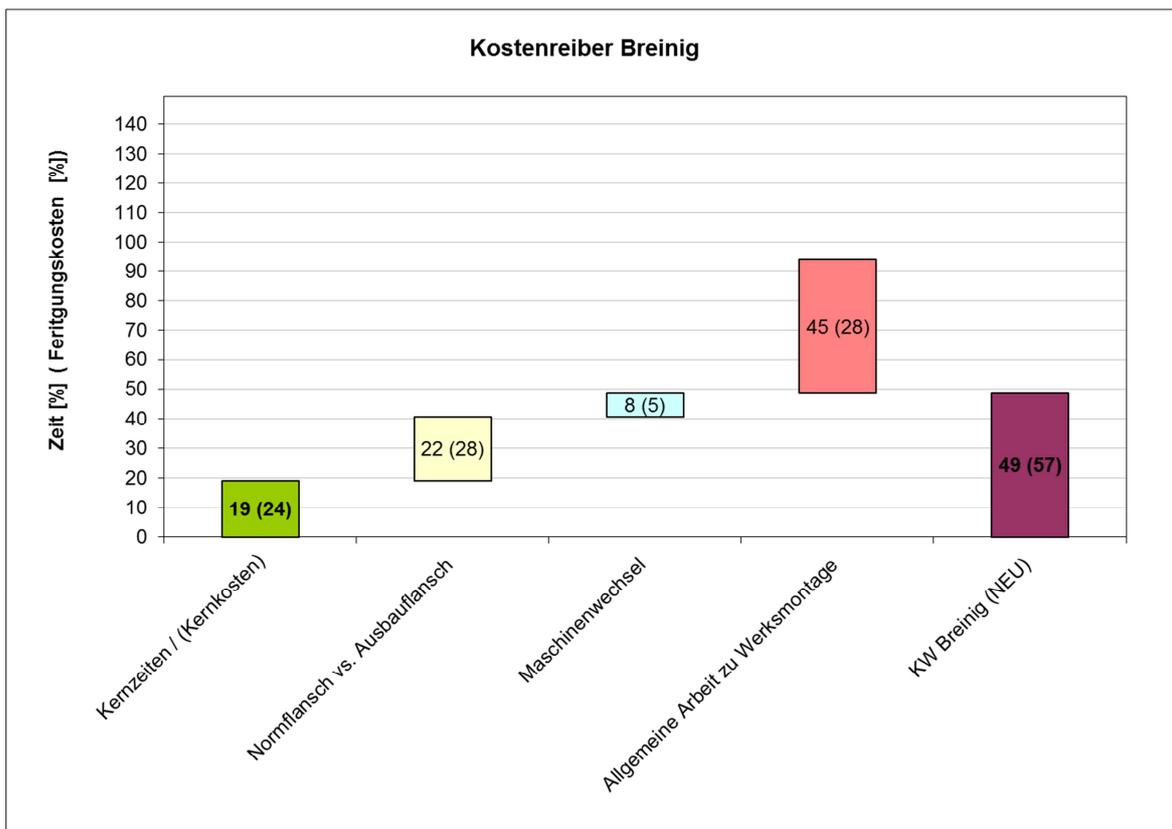


Abbildung 4.62: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Breinig

4.7.7 KW Cinar 1

Die Kostentreiber „Ausbaufansch“, „Maschinenwechsel“ und die „allgemeine Arbeit“ berechnen sich analog zur Kostentreiberanalyse KW Breinig. Die restliche Zeit konnte, aufgrund der Zeiterfassung (Tabelle 5.5), der zusätzlich notwendig gewordenen Arbeit zugeordnet werden. Die Spirale hat nämlich It. Dipl. Ing. Erwin Franz für eine *ECO Line* Anlage untypische Größe und konnte nicht in einem Stück gefertigt werden. Es wurden zuerst die Spirale mit Stützring und anschließend der Ausbaufansch und ein Teil des Rohres der Spirale gefertigt. Dieses Rohr wurde an die Spirale verschweißt und gegen Korrosion geschützt. Der Umstand, dass die Spirale die Maschinengröße bzw. dessen Spannmöglichkeit übertroffen hat, beansprucht eine zusätzlich Durchlaufzeit von zirka einer Woche.

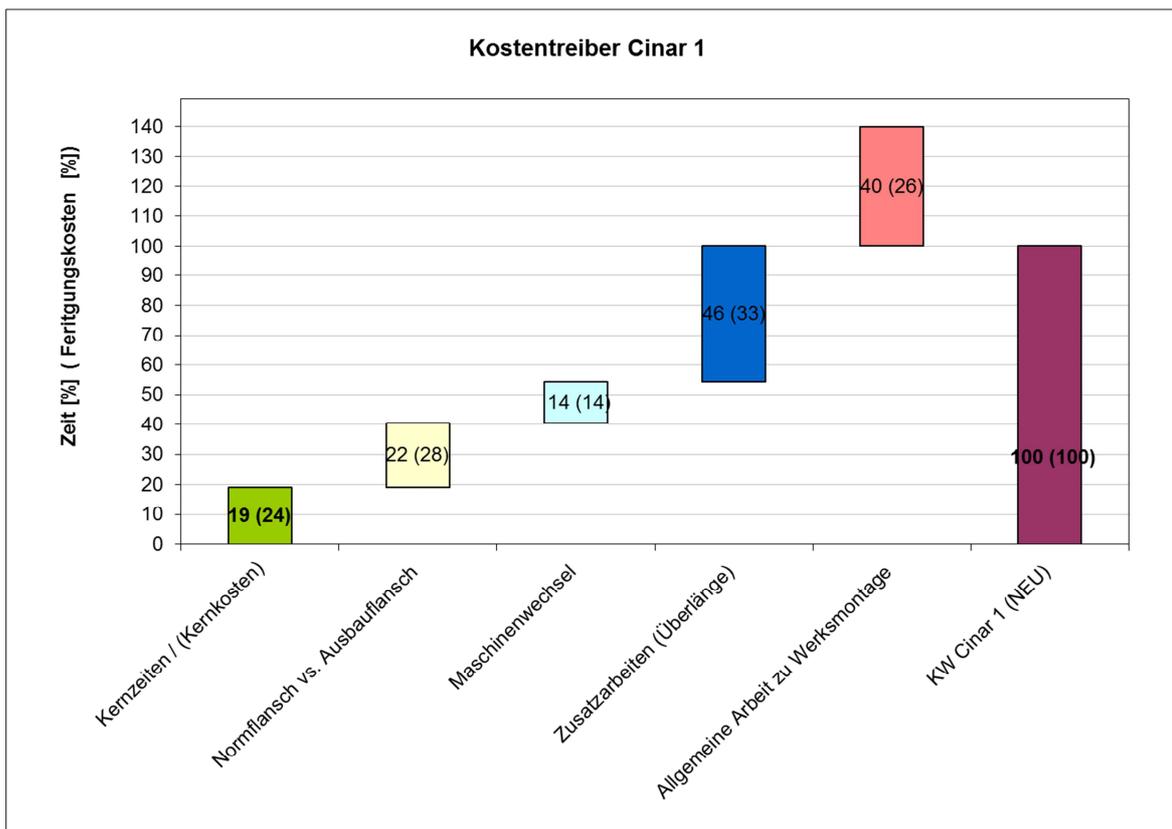


Abbildung 4.63: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Cinar 1

4.7.8 Zusammenfassung der Ursachen

Nachfolgend sind Möglichkeiten der Kosten- bzw. Durchlaufzeiterhöhung eingetragen (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang).

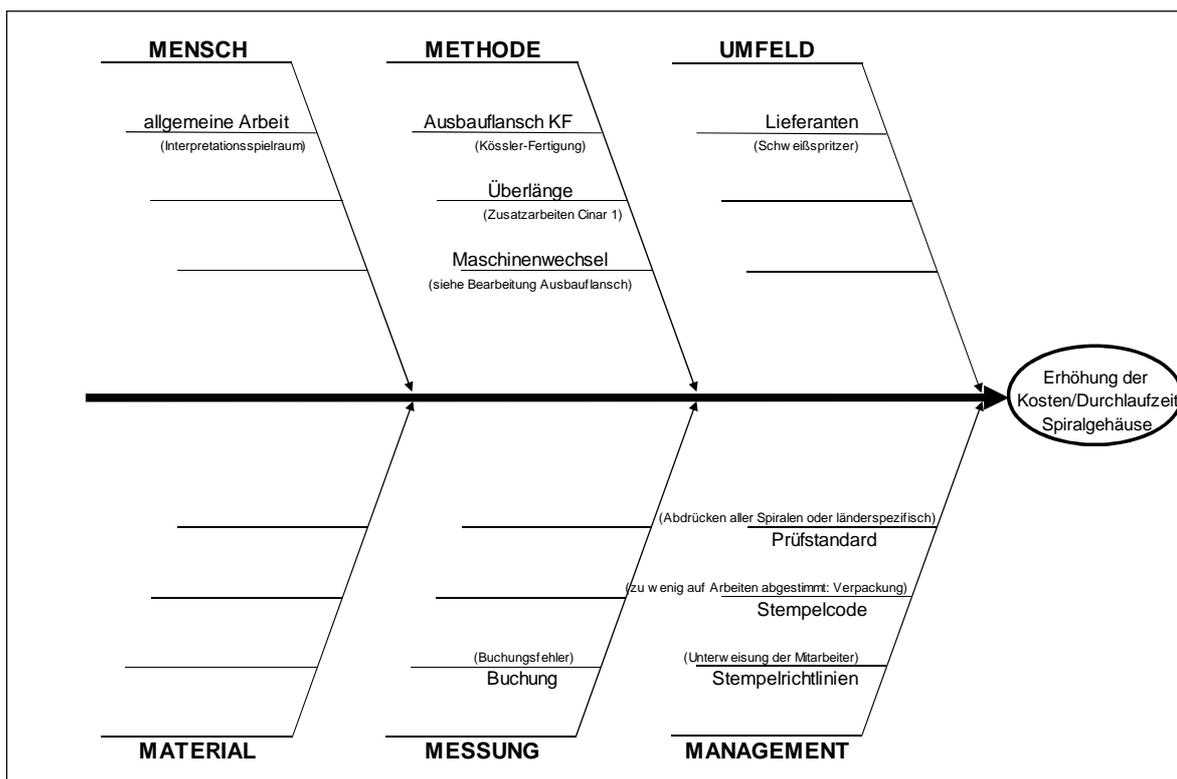


Abbildung 4.64: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Spiralgehäuse

4.8 Leitapparat

Nach der Beschreibung der Vorgehensweise der Datenerhebung, wird kurz der Ablauf der Fertigung der Komponenten beschrieben. Anschließend erfolgen der Versuch einer Kostentreiberanalyse und die Analyse der Kosten des Korrosionsschutzes.

4.8.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Die wesentliche Problematik der Kostentreiberanalyse Leitapparat und seiner Komponenten war, dass keine detaillierten Abrechnungen und Stundenaufzeichnungen in zusammengetragener Form vorhanden waren. Lediglich die Kosten des RKW Nasswald wurden zusammengetragen und somit erfolgte eine Datenauswertung der vier Kernprojekte aus dem Datensystem der Firma Kössler. Aufgrund dieses Datensatzes erfolgten Gespräche mit Robert Smrcka und Dipl. Ing. Erwin Franz. Analog zur Spiralgehäuse-Analyse wurde die „allgemeine Arbeit“ der Werksmontage zugeordnet und die Kostentreiber analysiert. Viele Zeitunterschiede waren nicht feststellbar und konnten nicht zugeordnet werden.

4.8.2 Abfolge des Arbeitsablaufes

Bei der Fertigung der Komponenten wird das Rohmaterial im Maschinenpark der Firma Kössler bearbeitet und jene Bearbeitungsschritte die, wegen der Zugänglichkeit etc., nicht

durchgeführt werden können, von der Werksmontage ausgeführt. Anschließend erfolgt der Korrosionsschutz (extern). Ansonsten erfolgt der Zukauf der Komponenten.

4.8.3 Leitapparat im Vergleich

Abbildung 4.65 zeigt die Gegenüberstellung des Leitapparates der vier Kernprojekte. Dabei wurden die Herstellkosten in Materialkosten (inkl. Zukaufteile) und Fertigungskosten aufgeschlüsselt. Beide Kosten beinhalten Gemeinkosten. Das Kostenwachstum ist beim Vergleich der Baugrößen nachvollziehbar.

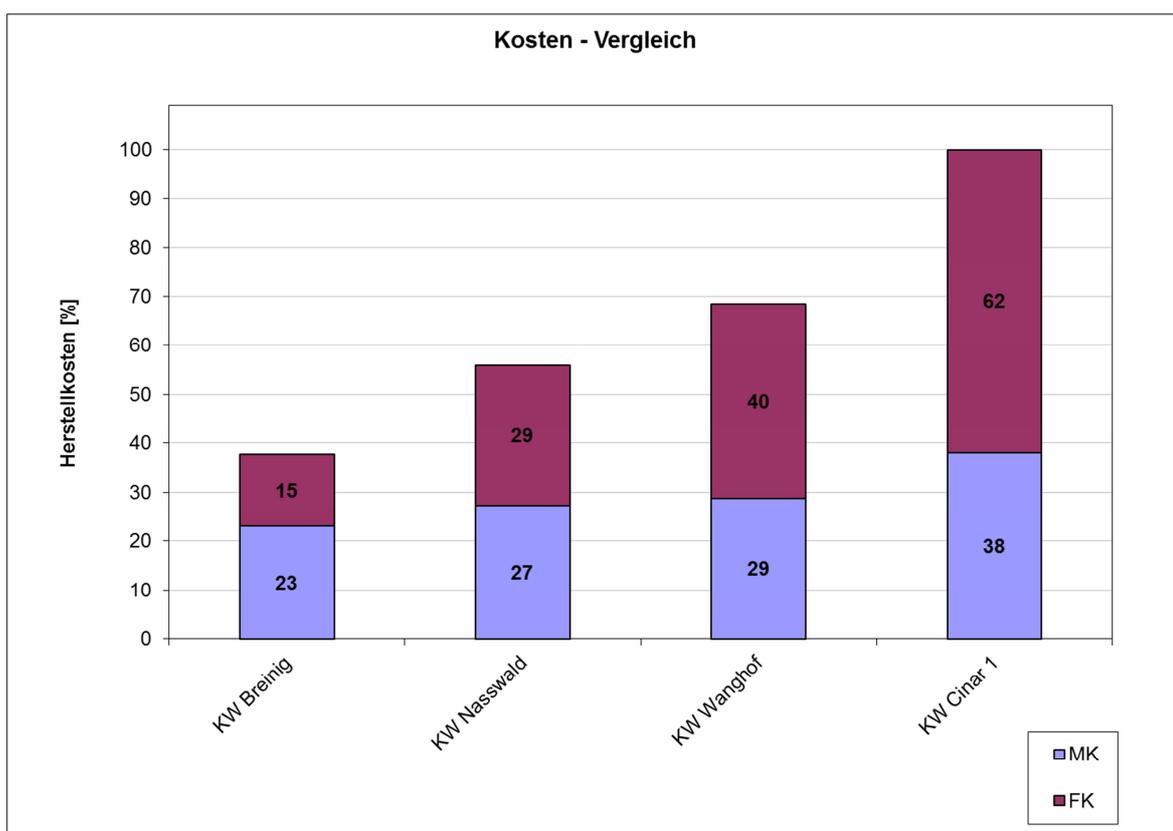


Abbildung 4.65: Leitapparat im Vergleich

In Anlehnung an die Kostenaufschlüsselung des RKW Leitapparates und dessen ABC-Analyse aus Kapitel 3.8 werden in nachfolgender Abbildung die Kosten aller Komponenten gegenübergestellt. Die Kosten werden auf die Herstellkosten des fiktiven Leitapparates des RKW Nasswald bezogen.

Im Vergleich zu bisherigen Darstellungen werden die Materialkosten in Rohmaterial (RM), Zukauf (Zukauf groß + Zukauf klein) und Korrosionsschutz (Ko-Schutz) unterschieden. Einerseits um festzustellen, welche Komponenten reine Zukaufteile sind und andererseits um darzustellen, welche Kosten für den Korrosionsschutz anfallen. Die Gegenüberstellung der Kosten komponentenweise zeigt, dass die Gesamtkosten, vor allem durch die Kosten der Leitschaufeln, hohe Kostensprünge erfahren.

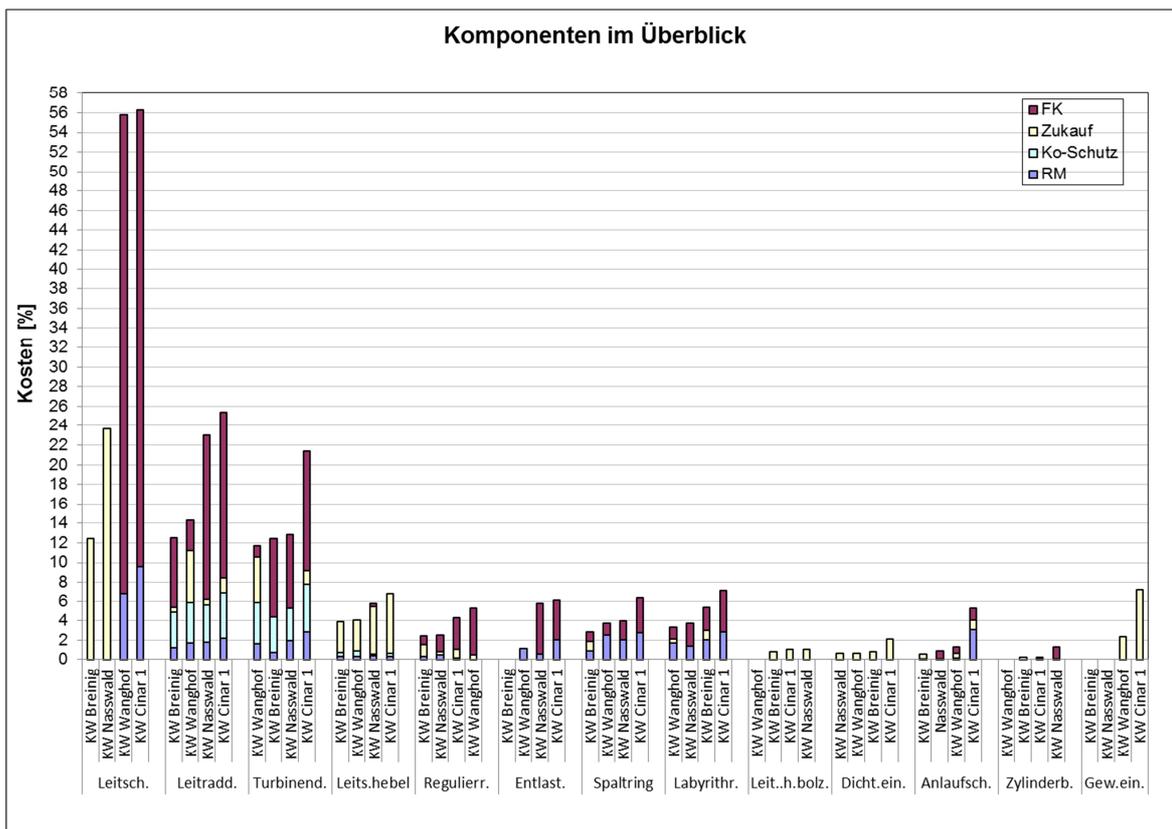


Abbildung 4.66: Komponenten Leitapparat im Vergleich

Eine anschließende Kostentreiberanalyse soll die Ursachen der Unterschiedlichen Kosten aufschlüsseln. Diese wird im Gegensatz zu anderen Kapiteln Komponentenweise vorgenommen

4.8.4 Leitschaufeln

Die Komponente Leitschaufel wurde von Robert Lurger bereits einer intensiven Analyse unterzogen. Die Leitschaufeln, der *ECO Line* Francis Turbinen, werden aufgrund der Marktsituation und der Herstellkosten, bei einer Fertigung durch Kössler, zukünftig zugekauft. Dadurch erübrigt sich die Kostentreiberanalyse der vier Kernprojekte.

Ein Kostentreiber ist vermutlich, dass man die Möglichkeit der Simulationsmöglichkeit der CAM-Programme nicht genutzt hat. Schon nach der Programmierung könnte man eine Simulation durchführen, die Dauer und somit die Kosten abschätzen und mit den Marktpreisen vergleichen.

Die angesprochenen Verbesserungsvorschläge auf Seite 40, beziehen sich auf die Lagerung der Leitschaufeln. Dabei sollte geprüft werden, welche Kosteneinsparungen durch aufgepresste Lagerungen, anstelle der Bearbeitung aus dem Vollen, erzielt werden können. Während der Kostentreiberanalyse wurden von der Konstruktion Untersuchungen in diese Richtung unternommen. Das Ergebnis ist laut Dipl. Ing. Erwin Franz nicht zufriedenstellend. Dadurch wurde diese Analyse nicht mehr aufgegriffen.

4.8.5 Leitraddeckel

Nachfolgend ist die Kostenstruktur des Leitraddeckels dargestellt. Die Prozentsätze beziehen sich auf die Herstellkosten des kostenintensivsten Deckels. Die 100 Prozent bei KW Cinar 1 werden nicht erreicht, da bei dieser Darstellung keine Materialgemeinkosten miteinbezogen sind. Die Abweichungen betragen maximal drei Prozent und sind für diese Gegenüberstellung vernachlässigbar. Die Werte in Klammer, bei den „Ko-Schutz“-Kosten, zeigen den prozentualen Anteil dieser Kosten im Vergleich auf die jeweiligen Herstellkosten. Es ist ersichtlich, dass bis zu 28 Prozent der Herstellkosten für die Wolframkarbidbeschichtung aufgewendet werden. Nachdem Deckelschutzwände für die Firma Kössler keine Alternative darstellen, da sich der Herstellprozess dadurch aufwändiger gestaltet würde, wurden alternative Beschichtungsverfahren recherchiert. Folgende Alternativen zur Wolframkarbidbeschichtung wurden gefunden:

- Vernickeln
- Plattieren
- Chrom Beschichtung
- Keramikbeschichtung
- Härten, Randschichthärten
- Hochwertigeren Stahl für gesamtes Bauteil⁸²
- Lackieren
- Bauteil tauschen⁸³

Durch einen Technologiewechsel wären neue Lernprozesse notwendig und die Erfahrungswerte dieser Beschichtungsmethodik „verloren“. Aufgrund dieser Tatsachen und da dem verwendeten Korrosionsschutz von allen Beteiligten viele Vorteile Herstellungsprozess und im Betrieb der Maschine bescheinigt wurden, sind keine Angebote alternativer Verfahren eingeholt worden. Die Möglichkeit das gesamte Bauteil zu lackieren und bei Bedarf dieses Teil zu tauschen (siehe Kosten Rohmaterial), ist laut Dipl. Ing. Erwin Franz keine Alternative. Einerseits hat Qualität höchste Priorität⁸⁴ und andererseits stellen sich vermutlich Probleme beim Öffnen und Schließen der Leitschaukeln, durch Korrosions- und Erosionsschäden, ein.

Aus Abbildung 4.67 wird ersichtlich, dass sich die Materialkosten annähernd entsprechend der Durchmesser verhalten, der Korrosionsschutz in etwa konstant bleibt und große Unterschiede bei den Fertigungskosten auftreten. Die Kosten für „Zukauf“ beschränken sich bei Breinig, Nasswald und Cinar 1 auf zusätzlich notwendige Kleinteile. Bei Wanghof wurde die Fertigung aufgrund von Kapazitätsproblemen teilweise fremdvergeben und daher müssen die Kosten des Zukaufs Großteils (außer Kleinteile) zu den Fertigungskosten dazugerechnet werden.

⁸² Vgl. Koltze/Souchkov (2011), S 63 ff.

⁸³ Vgl. ebenda.

⁸⁴ Vgl. „Kick Off“ Meeting.

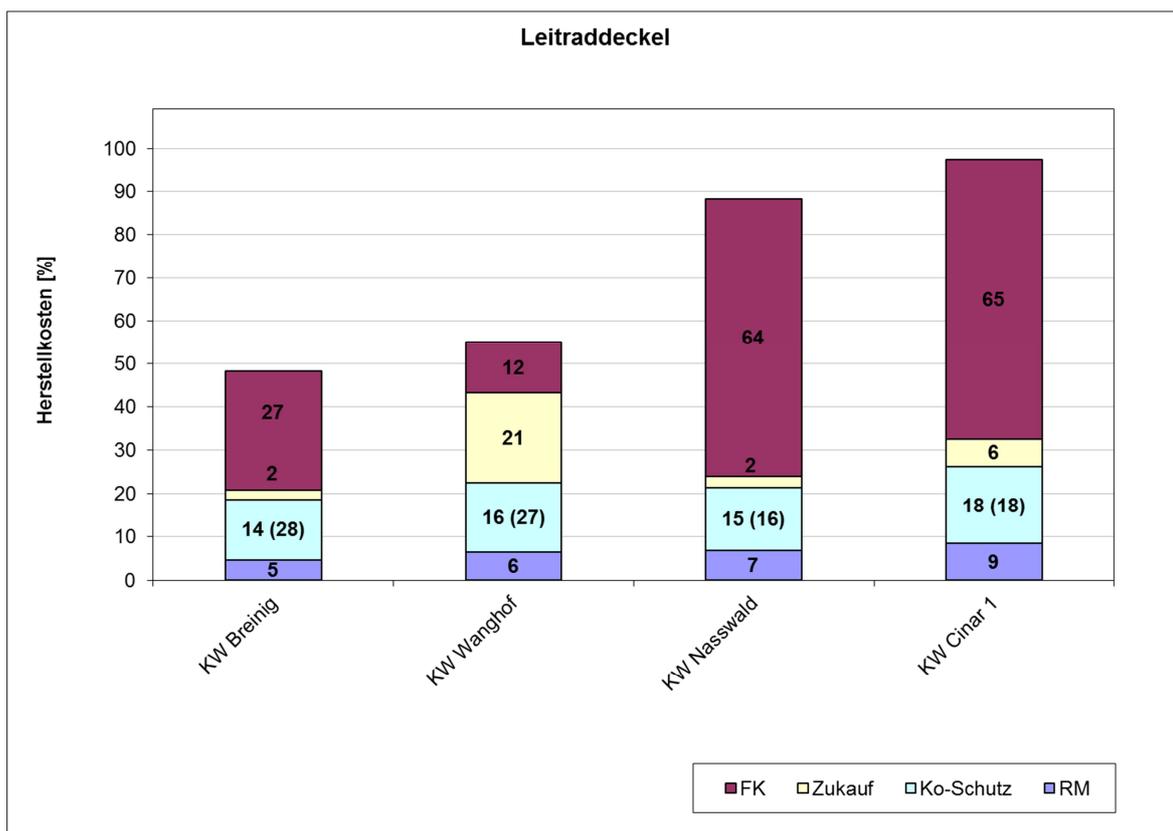


Abbildung 4.67: Kostenvergleich Leitraddeckel

In Abbildung 4.68 sind die Fertigungskosten stundenspezifisch dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass die Kostenschwankungen auch durch unterschiedliche Stundensätze der Maschinenstunden zustande kommen können. Zudem ist erkennbar, dass die Bearbeitung auf einer Maschine möglich ist, aber vermutlich aus dem Grund des Verrechnungssatzes und aus Kapazitätsgründen, auf andere Maschinen ausgewichen wird.

Dass die Stunden von KW Wanghof geringer ausgefallen sind, ist aus vorher beschriebenem Vorgang nachvollziehbar und spiegelt sich in den Kosten des Zukaufs wieder. Warum die Stunden des KW Breinig nur 42 Prozent betragen, konnte nicht eruiert werden.

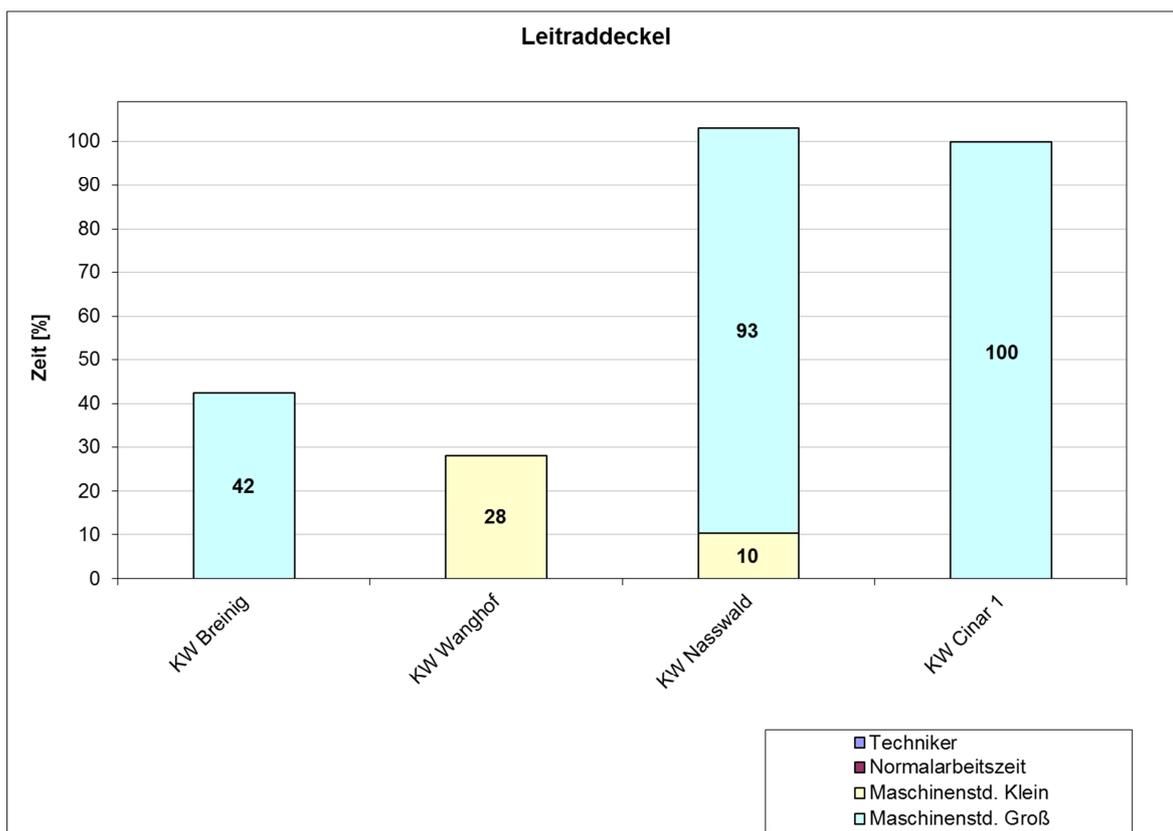


Abbildung 4.68: Stundenvergleich Leitraddeckel

4.8.6 Turbinendeckel

Es erfolgt eine Analoge Darstellung wie beim Leitraddeckel. Ebenfalls werden die hohen Anteile der Wolframkarbidbeschichtung und die geringen Kosten des KW Wanghof ersichtlich. Dies ist wiederum durch eine Fremdvergabe zu erklären. Die Kosten des KW Breinig und Nasswald sind für befragte Person nicht nachvollziehbar. Die erhöhten Kosten bei KW Cinar 1 können nicht exakt zugeordnet werden. Diese setzen sich vermutlich durch den zusätzlichen Aufwand der doppelten Lagerung, der Gewinde für die Gewindeeinstätze, der Größe des Deckels und der Löcher der Entlastungsleitung zusammen. Das mögliche Verrechnungsproblem des Leitraddeckels, aufgrund der unterschiedlichen Stundensätze, ist in diesem Fall vernachlässigbar.

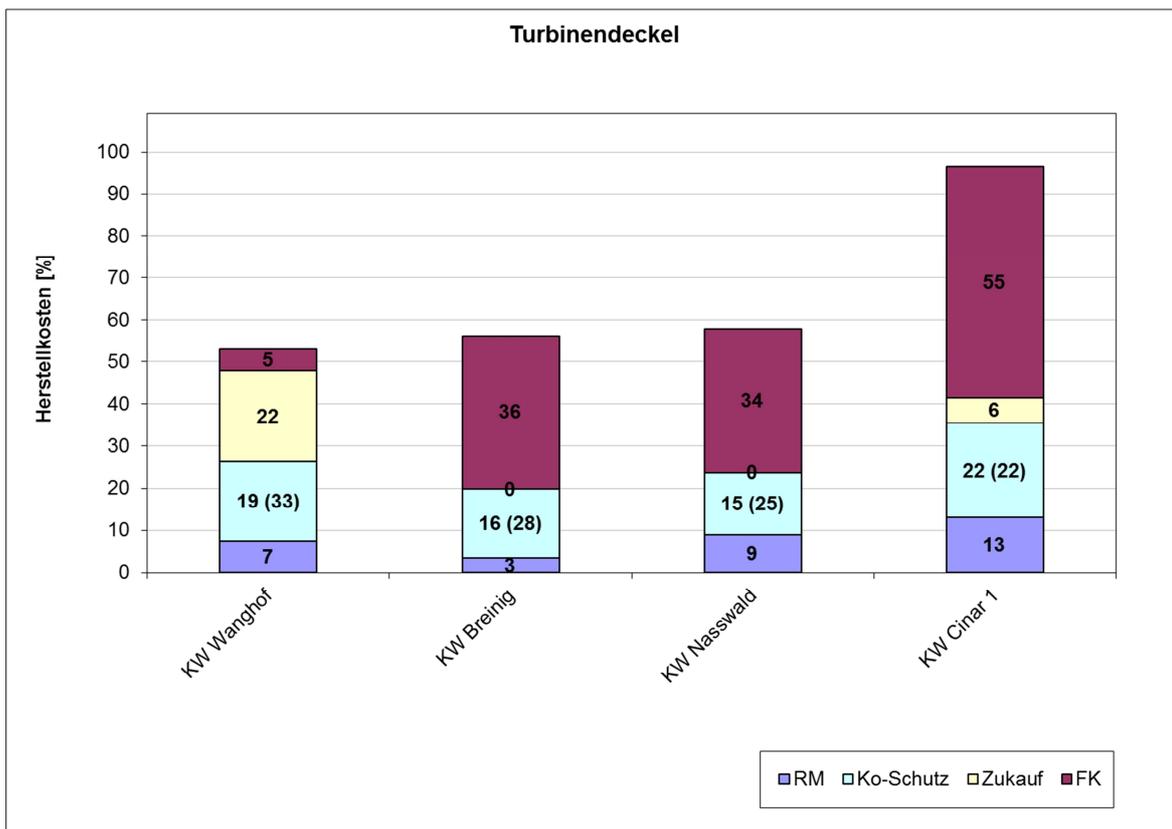


Abbildung 4.69: Kostenvergleich Leitraddeckel

4.8.7 Leitschaufelhebel

Die Leitschaufelhebel sind Zukaufteile. Beim Korrosionsschutz gibt es laut Werksmontage Optimierungspotential, da die Bohrungen häufig nachbehandelt werden müssen. Bei KW Nasswald wurden dadurch zwei Stunden aufgewendet. Ansonsten sind keine Störungen aufgetreten und die Schwankungen resultieren aus Baugröße und Marktpreis des Materials. Mögliche Einsparungen sind vermutlich durch höhere Stückzahlen, bei Größenstufungen der Hebel, alternative Oberflächenbehandlungen, andere Ausführungen oder alternativer Materialien zu erzielen.

4.8.8 Regulierring

Beim Regulierring handelt es sich ebenfalls um ein Zukaufteil. Nachdem ein neues Konzept des Regulierringes eingesetzt wird, sind diese Kosten nur noch bedingt repräsentativ. Die neuen Kosten sind nicht bekannt und sind für diese Untersuchungen nicht von Interesse.

4.8.9 Zusammenfassung der Ursachen

Bis auf die Verrechnungsproblematik und einem bereits behobenen Fehler in der Bestellung der Gewindeinsätze, konnten keine Kosten mit Sicherheit zugeordnet werden. Nachfolgende Abbildung zeigt zusammenfassend alle möglichen Ursachen der

Erhöhung der Kosten und Durchlaufzeit (Anm.: detaillierte Beschreibung der Parameter im Anhang).

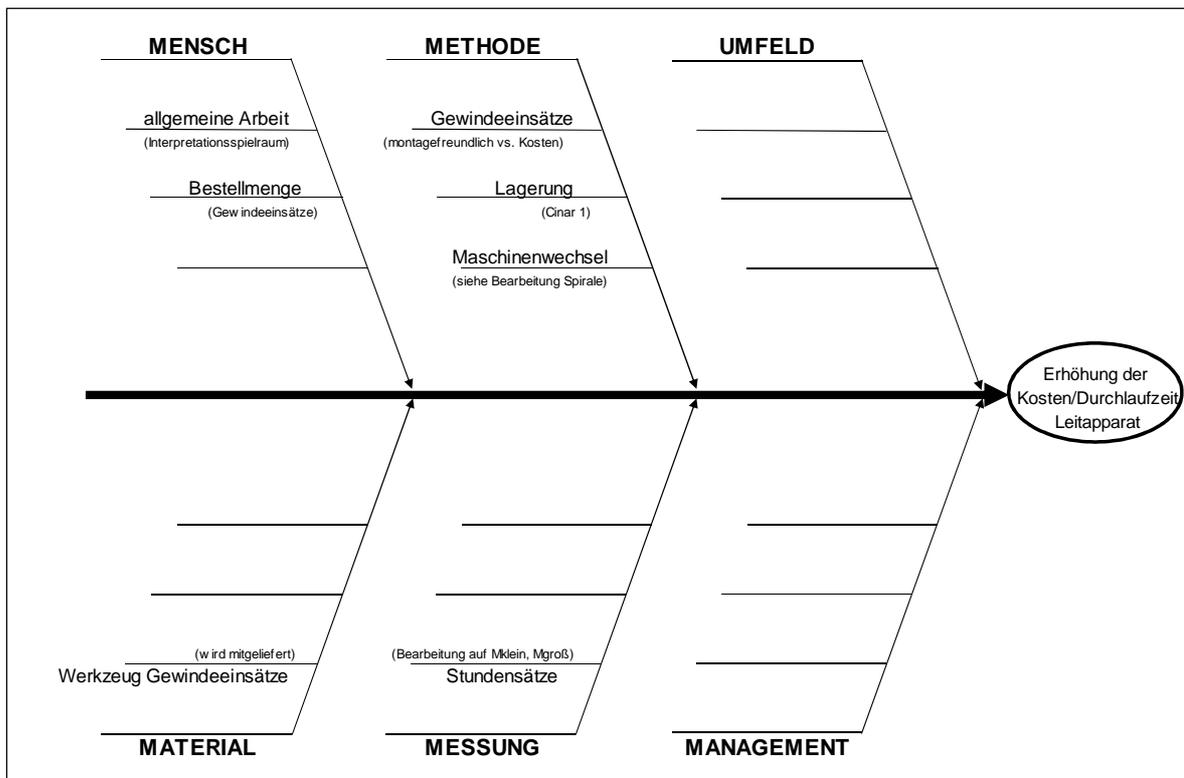


Abbildung 4.70: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Spiralgehäuse

4.9 Einbauplanung

Die Kostentreiberanalyse der Konstruktion und Gespräche mit Ing. Georg Schoderböck zeigten ein mögliches Optimierungspotential der Einbauplanung (EBP), da sich Änderungswünsche meist nur auf das Krafthaus selbst und weniger auf maschinenbauliche Ausstattung beziehen. Dadurch wurden in der Vergangenheit meist mehrere Varianten von Einbauplanungen erforderlich. Zudem interpretiere ich die Planung des Krafthauses, die „Raumplanung“ und im Extremfall dessen Einrichtung, nicht als Handlungsfeld eines Kleinwasserkraftanlagenherstellers und habe mich dazu entschlossen unterschiedliche Ausführungen von Einbauplanungen gegenüber zu stellen. Glücklicherweise war, dank Ing. Georg Schoderböck, eine Einbauplanung eines Mitbewerbers auffindbar. Diese beinhaltet ausschließlich den Maschinenbau, notwendige Fundamente und die Angabe der Fundamentkräfte.

4.9.1 Vorgehensweise der Datenerhebung

Die Befragung zur Kostentreiberanalyse Einbauplanung erfolgte wie die Kostentreiberanalyse Konstruktion. Die Auswertung ergab dasselbe Bild wie in der Konstruktion. Die EBP von Cinar 1 ist nicht verwendbar, da die Gesamtstunden anteilig

auf Cinar 1, 2 und Cinar Pelton aufgeteilt wurden und somit keine vernünftige Aussage möglich ist. Bei den Projekten Breinig und Wanghof wurden irreführende Buchungen durchgeführt und im Endeffekt zeichneten sich dieselben Ursachen wie bei der Konstruktion ab. Daher wird auf die Auswertung der Kostenreiberanalyse EBP verzichtet.

Für die Gegenüberstellung der Einbauplanungsvarianten waren Schätzungen der drei Francis Konstrukteure notwendig. Es wurden unabhängige Schätzungen der Arbeitszeit für eine alternative EBP (wie Mitbewerber) abgegeben und daraus ein Mittelwert gebildet. Zudem wurden zusätzliche Datenerhebungen für ausgewählte Projekte durchgeführt.

4.9.2 Abfolge des Arbeitsablaufes

Das Strukturbild der Konstruktion auf Seite 72 und die Beschreibung in Kapitel 4.2.2 geben einen Überblick über das Handlungsfeld der Einbauplanung.

4.9.3 Einbauplanung im Vergleich

Nachfolgende Abbildungen zeigen verschieden Ausführungen von Einbauplanungen der Firma Kössler. Bei Variante 1 und Variante 3 handelt es sich um Projekte, die keinesfalls die *ECO Line* Anforderungen bestehen würden. Sie dienen als Extrembeispiele einer EBP. Variante 3 zeigt eine Ausführung, die der EPB des beschriebenen Mitbewerbers sehr ähnlich sieht. KW Nasswald (Variante 2) zeigt den derzeitigen Standard der Einbauplanung von *ECO Line* Anlagen.

Bei Variante 1 wurden zwei Krafthäuser nahezu identer Bauweise verwendet. Nahezu deshalb, da unterschiedliche Höhenkoten beider Krafthäuser vorlagen. Der daraus resultierende Aufwand ist laut Befragungen vernachlässigbar klein, da keine unterschiedlichen Maschinensätze erforderlich wurden und somit alle Gegebenheiten übernommen und ausschließlich die Bemaßungen der Einbauhöhe angepasst werden mussten.

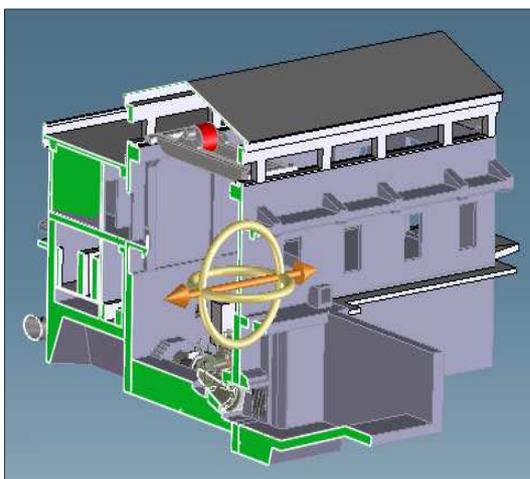


Abbildung 4.71: EBP Variante 1: KW Egemen 1 und Egemen 2⁸⁵

⁸⁵ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

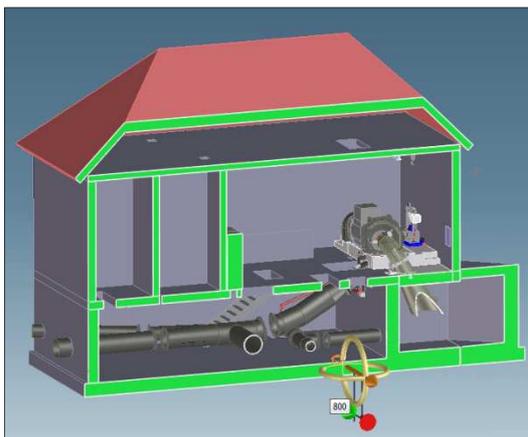


Abbildung 4.72: EBP Variante 2: KW Nasswald⁸⁶

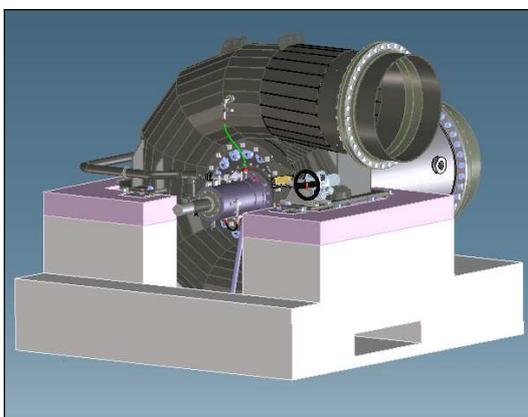


Abbildung 4.73: EBP Variante 3: KW Shanyin⁸⁷

Bei der Betrachtung des KW Egemen in Abbildung 4.71 wird das Ausmaß komplexer Einbauplanungen offensichtlich. Alle drei betrachteten Einbauplanungsvarianten wurden von erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt. Daher sind direkte Vergleiche möglich. Die „Mitbewerber Schätzung“ zeigt die geschätzte Zeit der Konstrukteure (vgl. Kapitel 4.9.1) und somit das Einsparungspotential gegenüber KW Nasswald, also der derzeitigen *ECO Line* Ausführung. Dabei wurde eine durchschnittliche Kostenreduktion um zirka 40 Prozent geschätzt.

Dabei beinhaltet die EBP weiterhin alle betriebsnotwendigen Bauteile, notwendige Fundamente zur Übertragung der Kräfte und die Angabe aller auftretenden und zu bewältigenden Kräfte. Als Referenzbild dient Abbildung 4.73 mit Generator und Schnittzeichnungen.

⁸⁶ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

⁸⁷ Vgl. ebenda.

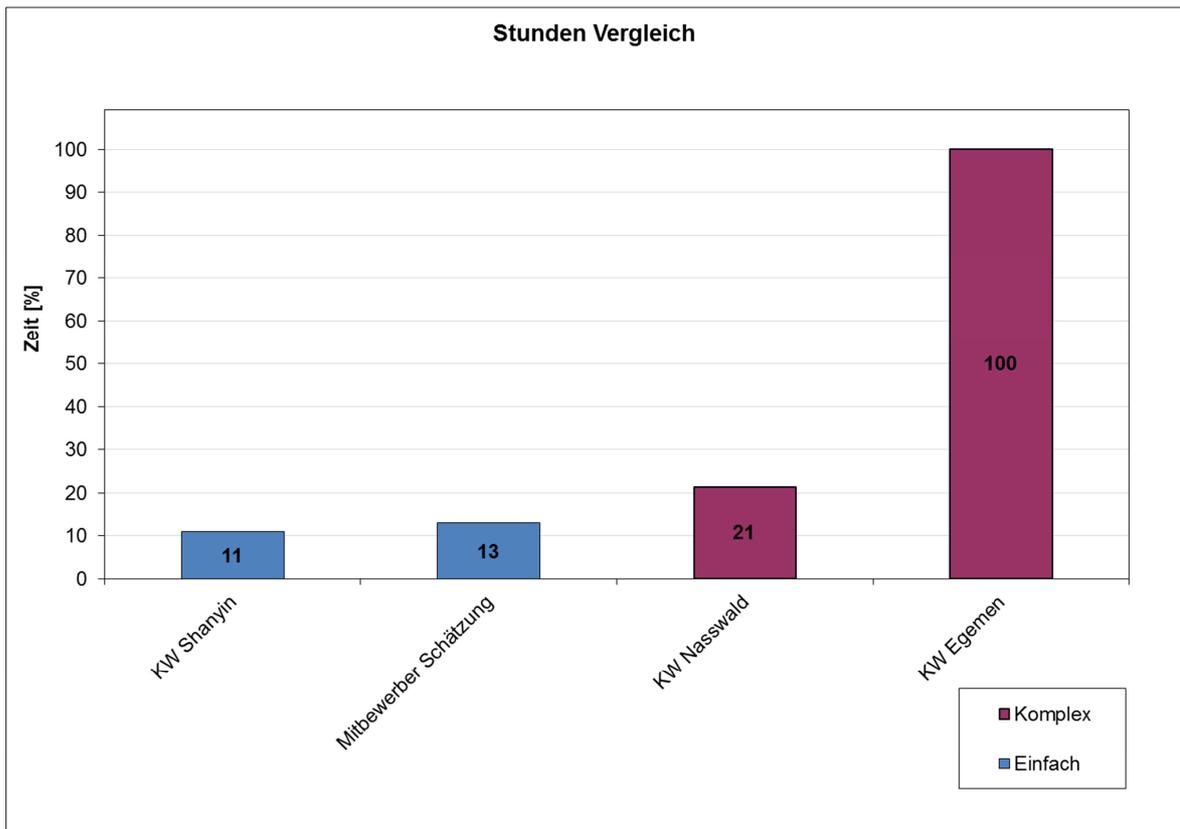


Abbildung 4.74: Arbeitszeit einfacher und komplexer Einbauplanungen

5 Baureihenentwicklung

Zu Beginn wird die Ausgangssituation geschildert und anschließend werden die Rahmenbedingungen der Baureihenentwicklung festgelegt. Im Anschluss daran werden zwei Laufrad-Baureihen dargestellt. Eine Gegenüberstellung dieser Varianten soll die Vor- und Nachteile aufzeigen und es wird eine Variante fixiert. Auf dieser Datenbasis werden Untersuchungen zur Variantenreduktion der Spiralgehäuse unternommen.

5.1 Ausgangssituation

Wie die Analyse der Laufräder bereits gezeigt hat (vgl. Tabelle 4.1), sind sehr viele unterschiedliche Varianten von Durchmessern und spezifischer Drehzahlen vorhanden, die vermutlich mit derselben Geometrie bzw. demselben Durchmesser realisierbar gewesen wären.⁸⁸ Zudem zeigten die Kostenverläufe der Grenzkurven (vgl. Kapitel 4.1.13) reduzierte Kosten in der Fertigung bei höheren Stückzahlen. Derzeit gibt es, aufgrund der Philosophie von Kössler kundenindividuelle Anlagen zu fertigen, viele Varianten von Laufrädern, Spiralen und anderen Bauteilen. In weiterer Folge sind Wiederholungen von bestehenden Projekten ein Produkt des Zufalles. Durch eine Baureihe, die den gesamten Bereich *ECO Line* Francis Turbinen abdeckt, wären die Größen bzw. hydraulischen Geometrien von vornherein bestimmt und es käme zu einem gezielten Aufbau von Baugrößen. Dadurch bräuchte man fertig auskonstruierte und ausgelegte Projekte, mit programmierten CAM-Programmen, sprichwörtlich nur noch aus der Schublade ziehen. Somit käme es zu gezielt angestrebten Lerneffekten und eine ressourcenschonende Abwicklung der Geschäfte wäre garantiert. Aus diesen Gründen ist es in erster Linie das Ziel, eine Bestandsaufnahme aller zur Verfügung stehender Geometrien vorzunehmen, anschließend die Randbedingungen abzuklären und zu prüfen, ob der Einsatzbereich von *ECO Line* Anlagen abgedeckt werden kann.

5.1.1 Hydraulische Geometrien

In nachfolgender Abbildung sind alle zur Verfügung stehenden Geometrien, mit der Drehzahl von 1500 min^{-1} , aufgetragen. Daraus wird ersichtlich, dass einige spezifische Drehzahlen selbe Bereiche abdecken müssen. In Abbildung 5.2 werden die Betriebsbereiche ersichtlich und deutliche Überschneidungen sind erkennbar.

⁸⁸ Vgl. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Helmut Benigni.

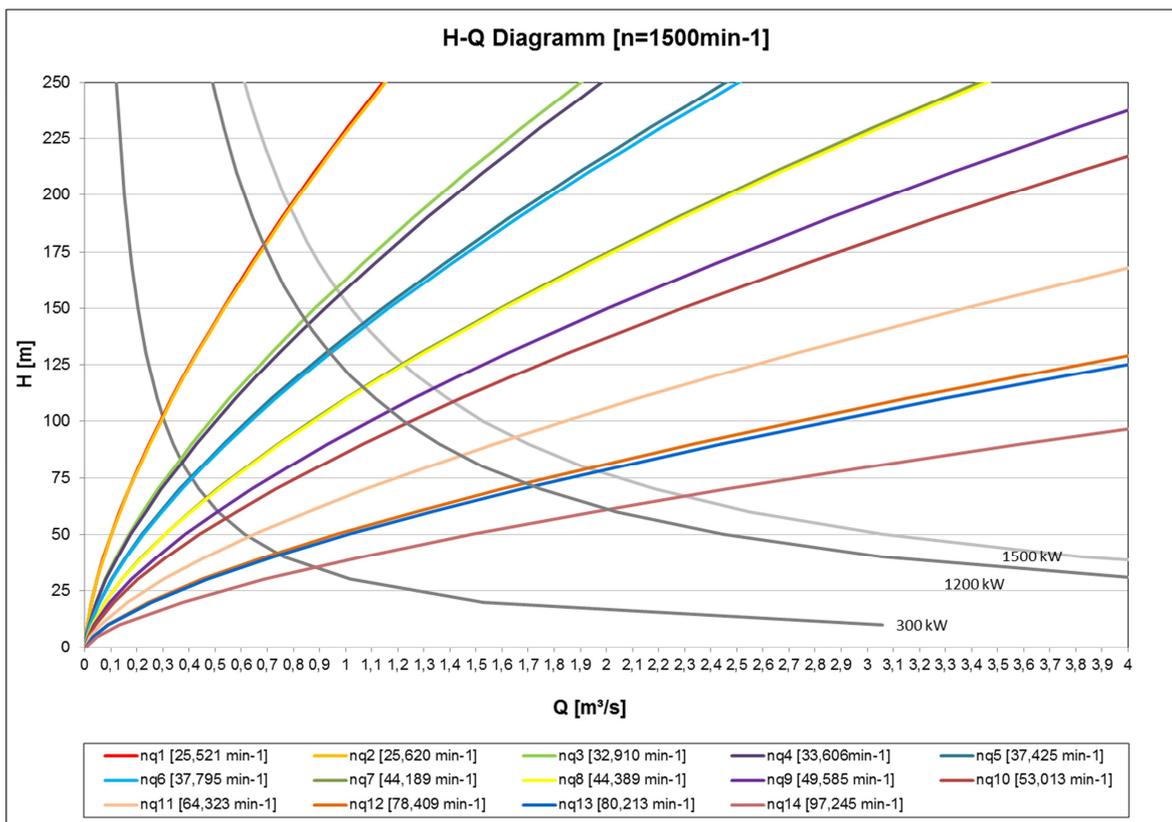


Abbildung 5.1: Spezifische Drehzahlen im $H - Q$ - Diagramm

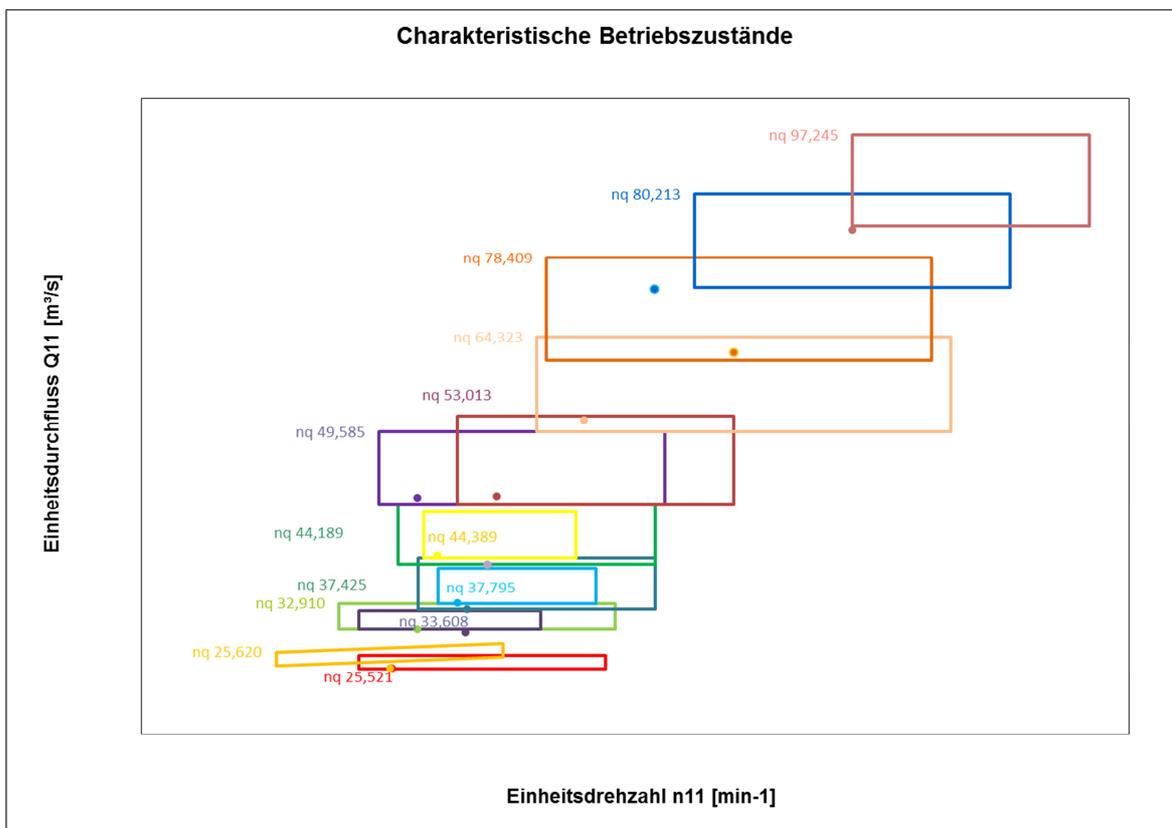


Abbildung 5.2: Spezifische Drehzahlen im $Q_{11} - n_{11}$ - Diagramm

5.1.2 Auswahl der spezifischen Drehzahlen

Um eine gezielte Reduktion spezifischen Drehzahlen vornehmen zu können, werden, aufgrund der Erfahrungen aus der Kostentreiberanalyse Laufrad, Mitarbeiter der Fertigung und Programmierung eingebunden. Es ist das Ziel ausschließlich an Geometrien festzuhalten, die eine wirtschaftliche Fertigung gewährleisten und bei denen die neuen Fertigungsverfahren (zumindest die Fertigung aus zwei Rohlingen) einsetzbar sind. In Tabelle 5.1 werden die Schwierigkeitsgrade zur Fertigung der jeweiligen Geometrie abgeschätzt (Ing. Fritz Neuhauser, Franz Moser) und zeigen erstmals welche Fertigungsverfahren überhaupt möglich sind. Zudem werden das Preisverhalten in der Fertigung, die Anzahl der gefertigten Laufräder (Erfahrungswerte), der Wirkungsgrad (aus Gründen der Geheimhaltung nicht angeführt) und die Schaufelzahl (Zugänglichkeit) berücksichtigt.

Die spezifische Drehzahl wurde in erster Linie nach ihrem Einsatzbereich bzw. dem idealen Zusammenspiel der nächst niederen und nächst höherer spezifischen Drehzahl gewählt. Anschließend wurde auf die Zugänglichkeit und den Wirkungsgrad geachtet. Zu guter Letzt wurden das Preisverhalten und die Möglichkeit einer Fertigung aus dem Vollen (falls Zugänglichkeit zum Schweißen nicht mehr gegeben ist) geprüft. Die markierten spezifischen Drehzahlen wurden in Abstimmung mit Ing. Karl Wieder und Dipl. Ing. Erwin Franz festgelegt. Dabei wurde festgestellt, dass auch die spezifische Drehzahl des Projektes „Bulam“ eingebaut bzw. dessen Einsatzbereichs untersucht werden soll. Diese Hydraulik widerspricht allerdings den Kriterien der *ECO Line* Philosophie.

n _{qopt} [min ⁻¹]	z [#]	η _{opt} [%]	Projekte Kössler [KW Name]	Anzahl Eco Line		Preisverhalten*		Schwierigkeitsgrad (1-5, 0)		
				[#]	[#]	günstig	teuer	1 teilig	2 teilig	3 teilig
25,521	13		-	0	0	x		0	5	0
25,620	25		Bulam	1	0		x	0	5	0
32,910	13		Pilgersteg T2	5	3	x		0	4	5
33,608	17		-	0	0	?	?	0	-	5
37,425	13		Aishihik 3	3	1	x		0	3	5
37,795	13		Breinig	4	1	x		0	3	5
44,189	15		-	0	0	?	?	0	3	4
44,389	13		Oeren, Zall T.	3	0	x		0	3	4
49,585	13		Nasswald, Holl.	8	3		x	0	3	4
53,013	13		Kalkandere, Cin.	4	2		x	0	3	3
64,323	13		Oberlaussa	4	3		x	5	3	3
78,409	13		Laksen	1	0	x		0	3	2
80,213	13		Shanyin	2	1		x	5	3	2
97,245	11		-	0	0		x	0	-	-

1...	sehr einfach
5...	sehr schwer
0...	nicht möglich
-	... keine Untersuchung durchgeführt
	... Auswahl
*	... der Fertigung Laufrad lt. Voith
1 teilig	... Fräsverfahren aus einem Rohling
2 teilig	... Fräsverfahren aus zwei Rohlingen
3 teilig	... Herkömmliche Fertigung

Tabelle 5.1: Auswahl der spezifischen Drehzahl

5.2 Randbedingungen

Mit der Bestimmung des Schwierigkeitsgrades und der Auswahl der spezifischen Drehzahl sind die Grundvoraussetzungen für die Baureihenentwicklung gegeben. In diesem Kapitel werden mögliche Einflussfaktoren analysiert.

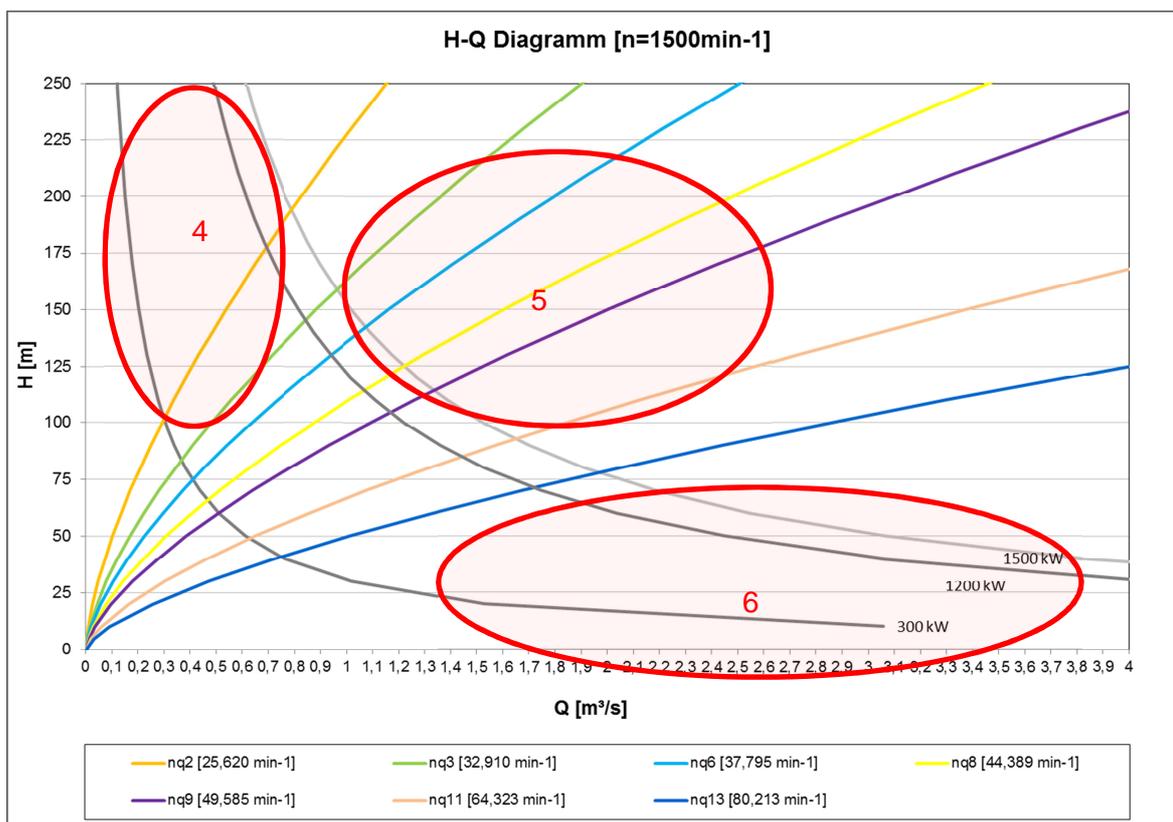


Abbildung 5.3: Randbedingungen (4, 5, 6)

Sechs wesentliche Randbedingungen konnten identifiziert werden:

1...Zulässiger Betriebsbereich

In welchem Bereich kann die Maschine ohne erhebliche Wirkungsgradeinbußen, kavitationsfreiem Betrieb und ohne Schwingungsprobleme eingesetzt werden.

2...Saughöhe

Kavitationsfreier Betrieb soll vorherrschen und die Saughöhe soll über 0,5 Meter liegen.

3...Generatorkosten

Kostenverhalten unterschiedlicher Drehzahlen

4...Notwendige Überdeckung Pelton Bereich

Welche hydraulischen Geometrien bzw. welche Drehzahlen sind notwendig.

5...Wirtschaftliche Größen

Welche Größen lassen sich problemlos bzw. ohne Zeitverzug fertigen.

6...Notwendige Überdeckung Kaplan Bereich

Welchen Bereich decken Kaplan Maschinen ab.

5.2.1 Zulässiger Betriebsbereich

Um die Einsatzbereiche festlegen zu können, sind die charakteristischen Betriebszustände jeder Maschine zu analysieren. Nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft ein Muscheldiagramm und die wesentlichen Eigenschaften jeder Hydraulik:

- zulässige Einsatzbereich (rote Linie(n))
- Bemessungspunkt (Fadenkreuz)
- Kavitations- bzw. Schwingungsgrenzen (schwarze Linien)
- Wirkungsgrade (grüne Linien)
- Verläufe der Sigma-Werte (hellblaue Linien)

Aufgrund dieser Muscheln wurden nach Kapitel 2.1.4, mit den Zusammenhängen von Seite 133f, die Betriebsbereiche in ein H-Q Diagramm (vgl. Abbildung 5.5) umgerechnet und die Durchmesser in die Betrachtungen miteinbezogen.

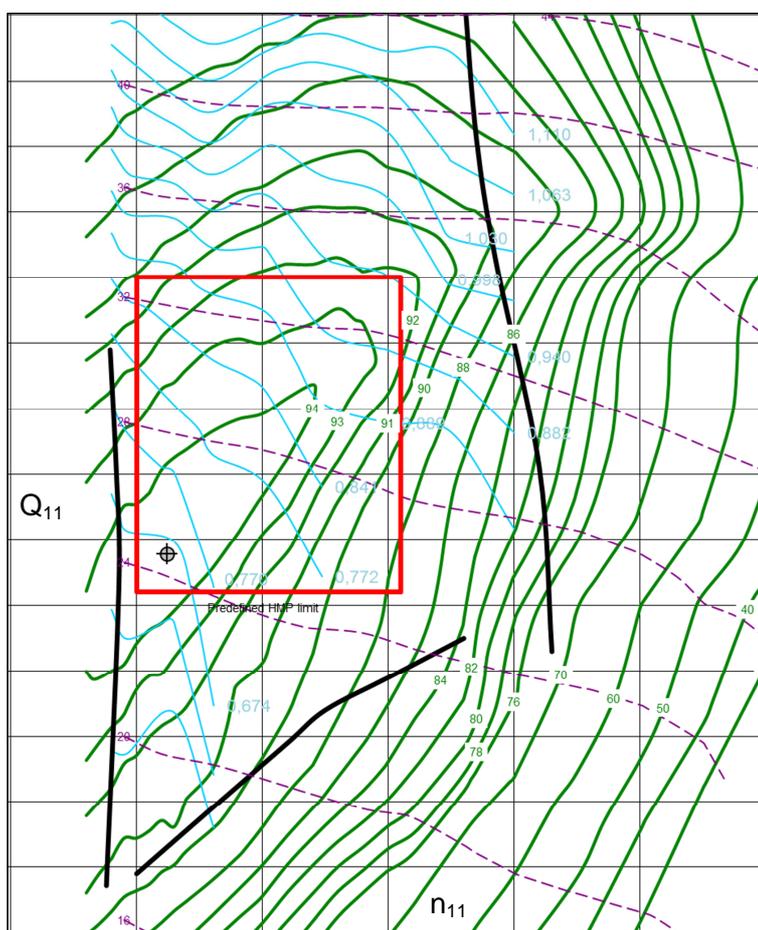


Abbildung 5.4: Muscheldiagramm⁸⁹

$$H_{min} = \left(n * \frac{D}{n_{11max}} \right)^2 \quad [m]$$

(5.1)

⁸⁹ Vgl. Kössler GmbH & Co KG.

$$H_{max} = \left(n * \frac{D}{n_{11min}}\right)^2 \quad [m] \quad (5.2)$$

$$Q_{min \text{ bei } H_{min}} = Q_{11min} * \sqrt{H_{min}} * D^2 \quad [m^3/s] \quad (5.3)$$

$$Q_{min \text{ bei } H_{max}} = Q_{11min} * \sqrt{H_{max}} * D^2 \quad [m^3/s] \quad (5.4)$$

$$Q_{max \text{ bei } H_{min}} = Q_{11max} * \sqrt{H_{min}} * D^2 \quad [m^3/s] \quad (5.5)$$

$$Q_{max \text{ bei } H_{max}} = Q_{11max} * \sqrt{H_{max}} * D^2 \quad [m^3/s] \quad (5.6)$$

Daraus wird ersichtlich, dass prinzipiell zwei Größen variiert werden können. Die Drehzahl und der Durchmesser. Die Einheitsgrößen bleiben für jede spezifische Drehzahl unverändert. Durch Festlegung der Drehzahl und anschließender Variation der Durchmesser ergeben sich die Grafiken auf den Seiten 140, 141 und 142.

Die Idee hinter der Festlegung und Aneinanderreihung dieser Bereiche liegt darin, dass die Kundenparameter (Nettofallhöhe, Nettodurchfluss) in die Diagramme eingetragen werden können und die entsprechende Baugröße inklusive Generatordrehzahl festgelegt ist.

5.2.2 Saughöhe

Die Saughöhe wurde, wie in Kapitel 2.1.5 beschrieben, berechnet. Dazu wurden die Thoma-Werte (Sigma-Werte), analog zum Auslegungsprogramm von Kössler, aus den Muscheldiagrammen ausgelesen, eine Sicherheit von zehn Prozent einberechnet (Rundungsfehler, Interpolationsfehler etc.) und die zulässige Saughöhe auf eine vereinbarte Meereshöhe von 1000 Metern (Unterwasser) und einer Wassertemperatur von 20 °C⁹⁰ berechnet. Für die Wassertemperatur wurde bewusst ein möglichst hoher Wert angesetzt, um eine entsprechend negative Saughöhe zu erreichen, sprich eine möglichst hohe Sicherheit für einen positiven Einbau zu gewährleisten (vgl. Kapitel 2.1.5). Bei der Berechnung der Saughöhen wurde ein für Kössler übliches „Power Safety“ analog zum Auslegungsprogramm berücksichtigt. Aus nachfolgender Abbildung werden beispielhaft die untersuchten Punkte einer Baugröße, bei der Drehzahl 1500 min⁻¹, dargestellt.

⁹⁰ geodz.com (12.07.2012).

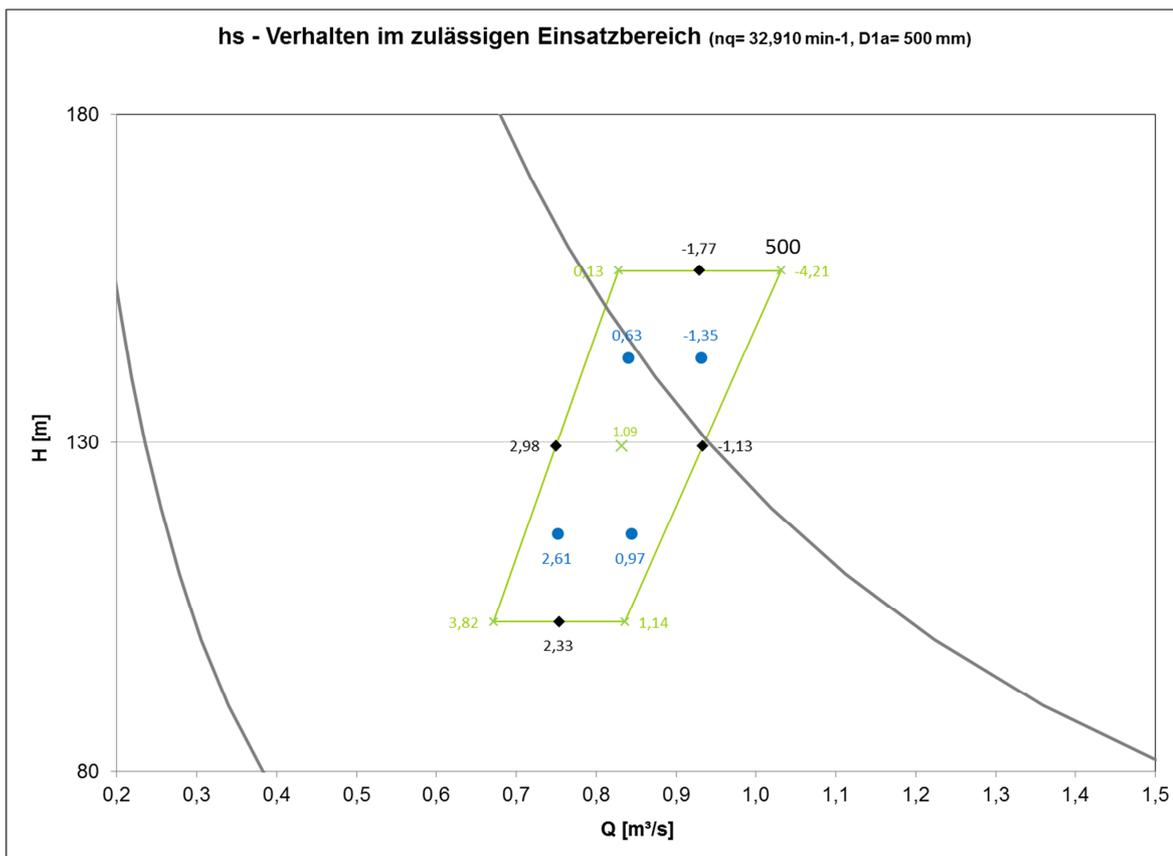


Abbildung 5.5: Saughöhe Bemessungspunkte

Zur Vorauswahl bzw. zur Abschätzung der Baugrößen wurden ausschließlich die Eckpunkte und vor allem der Extrempunkt (H_{\max} , Q_{\max}) untersucht. Bei der detaillierten Baureihenentwicklung aus Kapitel 5.3 wurde allerdings ersichtlich, dass mit diesen vier Punkten, aufgrund der Sigma-Wert-Verläufe (vgl. Abbildung 5.4), keine vernünftigen Aussagen getroffen werden können und somit wurden die Untersuchungspunkte auf 13 Punkte erhöht.

Um ein rationelles Arbeiten zu gewährleisten, wurde ein Excel-Programm zur Kontrolle der Saughöhe erstellt. Dieses ermöglicht die Eingabe verschiedene Durchmesser (Abbildung 5.6), liest die Sigma-Werte automatisch aus der jeweiligen Muschel aus und berechnet die Saughöhen. Dabei wurde die Berechnungsweise analog zum Auslegungsprogramm von Kössler durchgeführt. In Tabelle 5.2 sind beispielhaft die Baugrößen der spezifischen Drehzahl $32,910 \text{ min}^{-1}$, bei 1500 min^{-1} , dargestellt.

Die orange Markierung aus Tabelle 5.2 zeigt die Punkte aus Abbildung 5.5. Rot Markiert sind Punkte die unter 0,5 Metern liegen, grün markiert Punkte darüber. Erste Reihe zeigt Werte ohne und zweite Reihe Saughöhen mit Berücksichtigung des „Power Safety“.

Hydraulik [min ⁻¹]		25,620	32,910	37,795	44,390	49,585	64,320	80,210
gewählte Größen [m]	0	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380
	1	0,400	0,400	0,400	0,420	0,400	0,400	0,400
	2	0,440	0,440	0,440	0,450	0,440	0,440	0,440
	3	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470	0,470
	4	0,500	0,500	0,500		0,500	0,500	0,500
	5	0,530	0,530	0,530	0,540	0,530	0,530	0,530
	6	0,570	0,570	0,570	0,580	0,570	0,570	0,570
	7	0,610	0,610	0,610	0,620	0,610	0,605	0,610
	8	0,650	0,650	0,650	0,390	0,650	0,650	0,650
	9	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690
	10	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740	0,740
	11	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790	0,790
12	0,840	0,840	0,840	0,870	0,840	0,840	0,840	
						0,635	0,670	
						0,650		
Sondergrößen								
		37,425	540-1000		1500 min ⁻¹		600 min ⁻¹	
		53,013	560-1000,750,600		0,380		0,500	
		bereits gefertigt, besser wäre 575					0,530	
		bereits gefertigt und verwendet in Baureihe					0,570	
		530 entweder mit 520 oder 540 realisieren					0,605	
		geänderter Wert im Vgl. zu Voith					0,650	
		... im Eingaberahmen					0,690	
		... verwendete Größen					0,740	
							0,790	

Abbildung 5.6: Eingabemaske Baureihenentwicklung

32,910		1500		Werte Application Range														
xmin	xmin	xmax	xmax	xmin	xmitte	1	2	3	4	5	6	7	8					
ymin	ymin	ymin	ymin	ymin	ymitte	oben	rechts	unten	links	rechts oben	rechts unten	links unten	links oben					
400	0,344	0,424	0,528	0,428	0,344	0,426	0,48	0,48	0,39	0,38	0,48	0,43	0,38	0,43				
65,74	100,00	100,00	65,74	65,74	82,87	100,00	82,87	65,74	82,87	91,44	74,31	74,31	91,44					
6,52	4,09	1,75	4,60	6,52	4,80													
6,37	3,94	1,60	4,45	6,37	4,65													
5,62	3,26	0,48	3,90	5,62	3,87	2,04	2,45	4,66	5,08	2,31	3,80	4,84	3,57					
440	0,458	0,564	0,703	0,570	0,458	0,567	0,63	0,64	0,51	0,51	0,63	0,57	0,51	0,57				
79,55	121,00	121,00	79,55	79,55	100,27	121,00	100,27	79,55	100,27	110,64	89,91	89,91	110,64					
6,03	3,08	0,25	3,70	6,03	3,94													
5,86	2,91	0,08	3,53	5,86	3,77													
4,95	2,09	-1,27	2,87	4,95	2,83	0,61	1,11	3,79	4,29	0,94	2,74	4,01	2,47					
470	0,558	0,688	0,857	0,694	0,558	0,691	0,77	0,78	0,63	0,62	0,77	0,70	0,62	0,70				
90,76	138,06	138,06	90,76	90,76	114,41	138,06	114,41	90,76	114,41	126,24	102,59	102,59	126,24					
5,62	2,26	-0,97	2,96	5,62	3,24													
5,44	2,08	-1,15	2,78	5,44	3,06													
500	0,671	0,828	1,031	0,836	0,671	0,832	0,93	0,93	0,75	0,75	0,93	0,84	0,75	0,84				
102,72	156,25	156,25	102,72	102,72	129,49	156,25	129,49	102,72	129,49	142,87	116,10	116,10	142,87					
5,19	1,38	-2,27	2,18	5,19	2,50													
4,99	1,19	-2,46	1,99	4,99	2,31													
3,82	0,13	-4,21	1,14	3,82	1,09	-1,77	-1,13	2,33	2,98	-1,35	0,97	2,61	0,63					
550	0,800	0,986	1,228	0,996	0,800	0,991	1,11	1,11	0,90	0,89	1,11	1,00	0,90	1,00				
115,42	175,56	175,56	115,42	115,42	145,49	175,56	145,49	115,42	145,49	160,53	130,45	130,45	160,53					
4,73	0,45	-3,65	1,35	4,73	1,71													
4,52	0,25	-3,85	1,14	4,52	1,50													
3,20	-0,94	-5,82	0,19	3,20	0,13	-3,08	-2,36	1,53	2,26	-2,60	0,01	1,84	-0,39					
570	0,995	1,227	1,528	1,239	0,995	1,233	1,38	1,38	1,12	1,11	1,38	1,25	1,11	1,24				
133,50	203,06	203,06	133,50	133,50	168,28	203,06	168,28	133,50	168,28	185,67	150,89	150,89	185,67					
4,07	-0,87	-5,62	0,16	4,07	0,58													
3,86	-1,09	-5,84	-0,05	3,86	0,36													
2,33	-2,46	-8,11	-1,15	2,33	-1,23	-4,94	-4,11	0,39	1,23	-4,39	-1,37	0,75	-1,82					
610	1,219	1,504	1,873	1,518	1,219	1,511	1,69	1,70	1,37	1,36	1,69	1,53	1,37	1,52				
152,89	232,56	232,56	152,89	152,89	192,73	232,56	192,73	152,89	192,73	212,64	172,81	172,81	212,64					
3,37	-2,29	-7,73	-1,10	3,37	-0,63													
3,14	-2,52	-7,96	-1,34	3,14	-0,87													
1,39	-4,10	-10,56	-2,60	1,39	-2,68	-6,94	-5,98	-0,83	0,14	-6,30	-2,85	-0,41	-3,37					
650	1,475	1,819	2,266	1,837	1,475	1,828	2,04	2,05	1,66	1,65	2,05	1,85	1,65	1,84				
173,60	264,06	264,06	173,60	173,60	218,83	264,06	218,83	173,60	218,83	241,45	196,21	196,21	241,45					
2,62	-3,81	-9,98	-2,46	2,62	-1,92													
2,37	-4,06	-10,23	-2,71	2,37	-2,17													
0,39	-5,84	-13,18	-4,14	0,39	-4,23	-9,07	-7,98	-2,14	-1,04	-8,35	-4,42	-1,66	-5,01					

Tabelle 5.2: Kontrollfeld Saughöhe

5.2.3 Generatorkosten

In Abbildung 5.7 sind die Zukaufkosten bisher angefragter Generatoren dargestellt. Ein Wert ist nicht im Diagramm ersichtlich, beeinflusst allerdings den Trend der Drehzahl 600 min^{-1} : Wert bei 1450 kVA und 184.000 Euro.

Alle gezeigten Generatoren sind projektbezogene Anfragen und können Schwungräder enthalten oder sonstige speziellen Spezifikationen aufweisen. Eine Auswertung der Generatoren mit ausschließlich *ECO Line* Standard hätte zu wenige Daten enthalten.

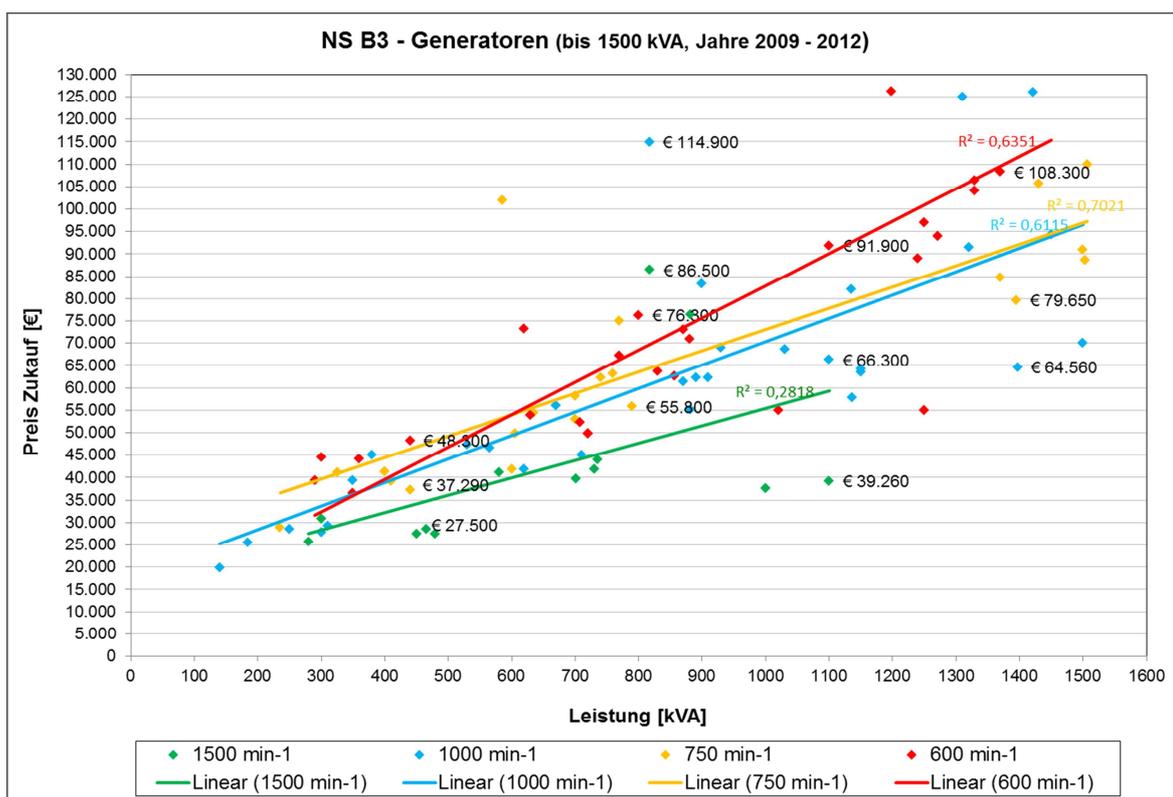


Abbildung 5.7: Generatorkosten

Es wird ersichtlich, dass Generatoren gleicher Leistung hohe Differenzen in der Anschaffung aufweisen können und tendenziell Generatoren mit hoher Drehzahl günstiger zu erwerben sind. Im unteren *ECO Line* Bereich befinden sich die Drehzahlen 1000, 750 und 600 min^{-1} auf einem ähnliche Preisniveau. Die Drehzahl 1500 min^{-1} ist dem Trend zufolge, die preiswerteste Ausführung und würde der Theorie entsprechen, dass die Polpaarzahl entscheidend für die Generatorkosten ist.

Aufgrund der erhobenen Daten wird eine Baureihe angestrebt, die ausschließlich mit den drei höchsten Drehzahlen realisiert ist. Vorab kann gesagt werden, dass in Abstimmung mit der Geschäftsführung und einem Expertenteam⁹¹, auch die Drehzahl 600 min^{-1} für die spezifische Drehzahl 64 min^{-1} eingesetzt wird (vgl. Abbildung 5.12)

⁹¹ Ing. Walter Hromecek, Ing. Wieder Karl, Dipl. Ing. Erwin Franz.

5.2.4 ECO Line Pelton

Um den Einsatzbereich dieser Produktlinie berücksichtigen zu können, wurden in nachfolgender Abbildung alle vorhandenen *ECO Line* Größen und deren Betriebsbereich dargestellt.

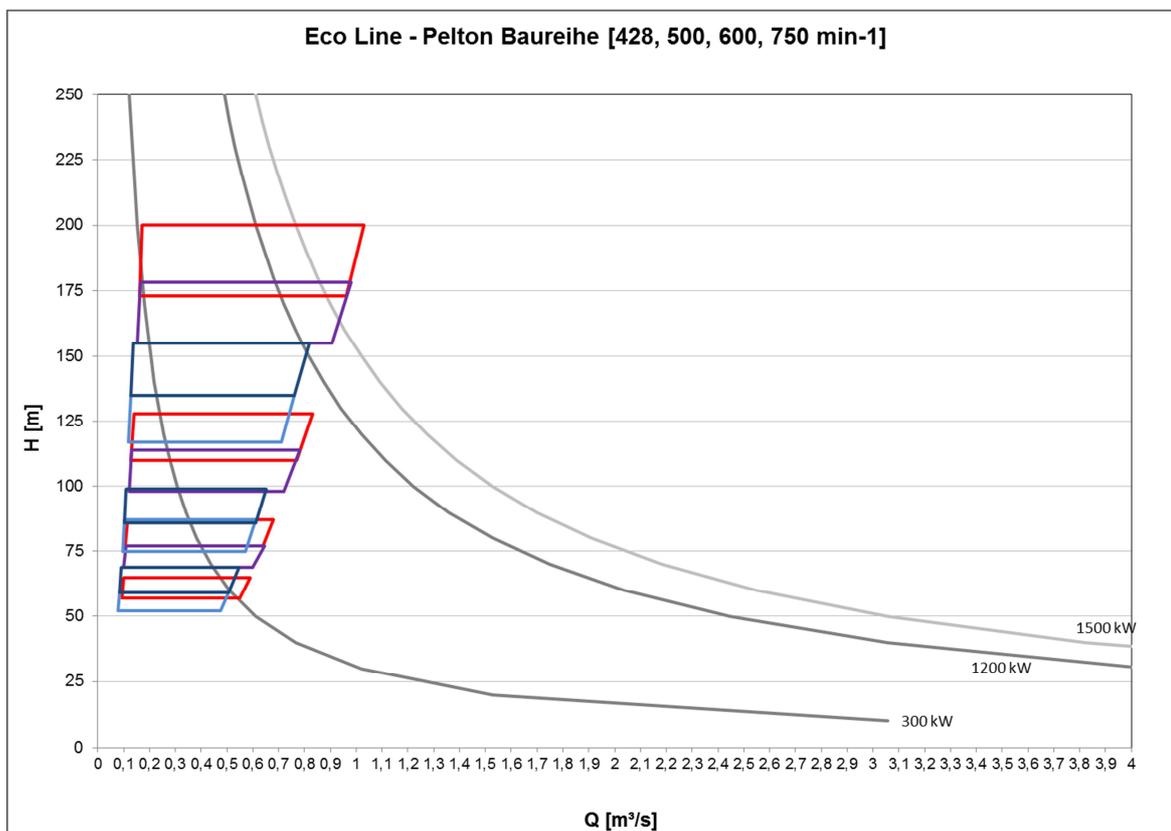


Abbildung 5.8: ECO Line Pelton

5.2.5 Wirtschaftliche Größen

Die Kostentreiberanalyse Spiralgehäuse offenbarte Kostenerhöhungen und Durchlaufzeiterhöhungen (vgl. Abbildung 4.63) von zirka einer Woche, bei Überschreitung der Maschinengröße. Daher ist es das Ziel, Größen zu vermeiden, die Zusatzarbeiten erfordern und dadurch die Lieferzeit verzögern. Aus diesem Grund wurden von der Konstruktion Durchmesser (D_{1a}) definiert, die als Grenzwerte des aktuellen Maschinenparks zu sehen sind. Dabei wird ersichtlich, dass die Zusatzkosten der Cinar 1-Spirale vermutlich vermeidbar gewesen wären.

nq [min ⁻¹]	D_{1aMax.} [mm]	zusätzliche Infos [-]
32,910	880	
37,795	890	
44,389	820	
49,585	770	
53,013	700	
64,323	650	
80,213	620	bis max. 850 fertigbar

Tabelle 5.3: Maximale Laufraddurchmesser

Nach einem Erstentwurf wurde von der Geschäftsführung und dem ausgewählten Expertenteam von Kössler entschlossen, die Priorität auf die Reduktion der Baugrößen zu legen und diese Randbedingung nicht als Einschränkung zu sehen.

5.2.6 ECO Line Kaplan

Es ist entscheidend, wie weit der Bereich 6, aus Abbildung 5.3, überdeckt werden muss, da sich je nach Abdeckungsgrad, auch die Anzahl der Baugrößen bzw. Drehzahlen erhöhen kann. Bei der Auswahl der spezifischen Drehzahl wurde bereits auf die schnellläufigste Geometrie verzichtet, da diese ausschließlich im Kaplan Bereich arbeiten würde und dieser Maschinentyp bessere Lösungen bietet. Die Abdeckung aus Abbildung 5.11 ist für die Geschäftsführung und das Expertenteam zufriedenstellend und daher wurden keine zusätzlichen Größen erforderlich.

5.3 Baureihen Laufrad

Die Randbedingungen aus Kapitel 5.2 geben die Rahmenbedingungen der Baureihenentwicklung klar vor. Nun ist es entscheidend, welche Prioritäten bei der Festlegung der Größen gewählt werden. Einerseits ist es von Interesse eine möglichst geringe Anzahl von Baugrößen zu erreichen und andererseits sind möglichst große Überschneidungen der Betriebsbereiche erwünscht, um in Grenzbereichen der Einsatzbereiche alternative Größen wählen zu können. Aus diesem Grund werden in den Kapiteln 5.3.2 und 5.3.3 zwei Varianten vorgestellt, die diese Punkte behandeln. Im Anschluss erfolgt ein Vergleich beider Varianten.

In nachfolgendem Kapitel werden die Grundsätzlichen Entwicklungsschritte, anhand der Variante 1, dargestellt.

5.3.1 Vorgehensweise Baureihenentwicklung

Zu Beginn der Größenfestlegung wurden verschieden Baugrößen (je nach Variante unterschiedlich) bei einer Drehzahl von 1000 min⁻¹ ausgewählt, um den gesamten Bereich, 300 bis 1200 kW, optional bis 1500 kW, lückenlos abzudecken. Das Resultat ist

in Abbildung 5.9 zu sehen. Ein Versuch Überschneidungen der Betriebsbereiche automatisiert zu kontrollieren (Excel), wurde, aufgrund der unterschiedlichen Geometrien der Einsatzbereiche und der maximalen Anzahl von sieben angrenzenden Betriebsbereichen, nicht weiter verfolgt. Einem enormen Aufwand wäre ein relativ ungenaues Ergebnis gegenübergestanden. Daher habe ich mich entschieden, die Überschneidungen visuell zu kontrollieren.

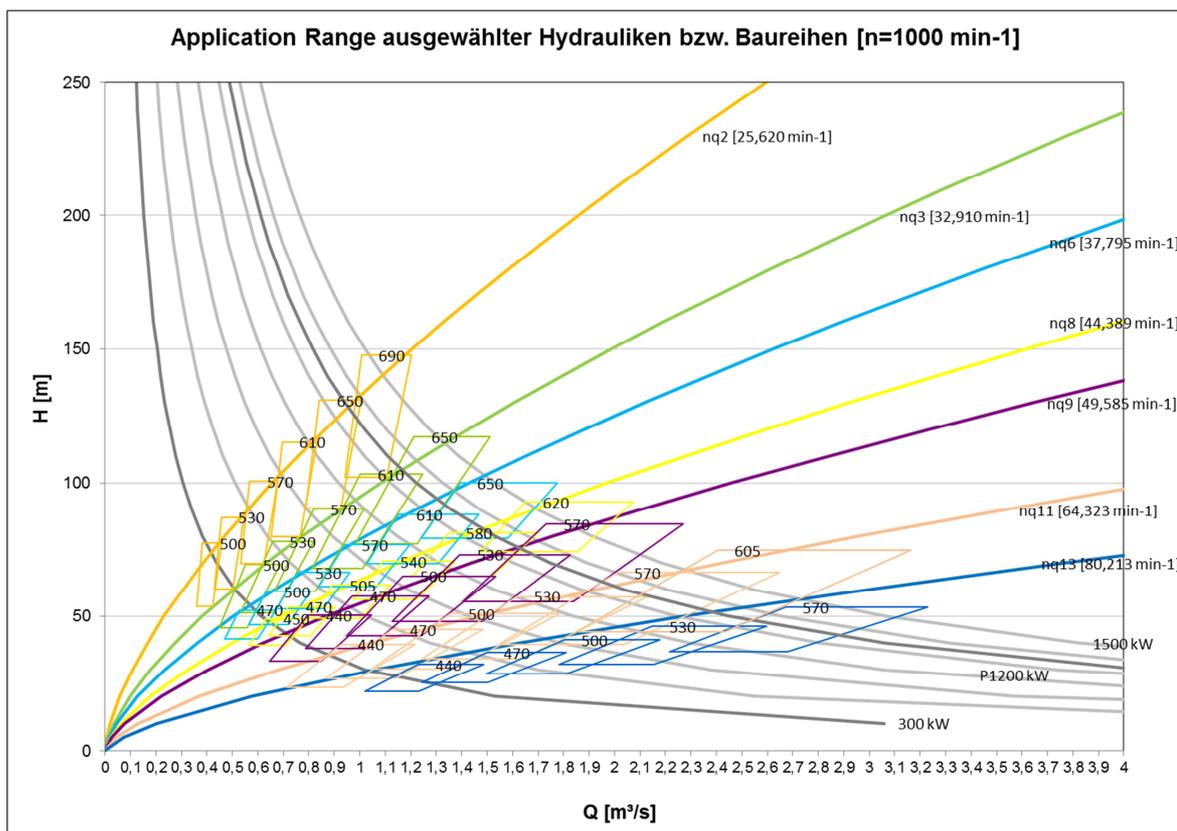


Abbildung 5.9: Baugrößen 1000 min^{-1}

Anschließend wurde das Verhalten dieser Größen bei den Drehzahlen 1500 min^{-1} und 750 min^{-1} untersucht und festgestellt, dass zusätzliche Größen zur Abdeckung des Bereichs notwendig werden. Diese sind in nachfolgenden Abbildungen mit strichlierten Einsatzbereichen dargestellt. In Abbildung 5.10 ist zudem zusätzlich der Bereich der *ECO Line* Pelton Anlagen dargestellt und es wird offensichtlich, dass die spezifische Drehzahl, $25,620 \text{ min}^{-1}$ („Bulam“), eine Spezialmaschine ist. Die Überschneidungen der Schnellläufigkeit $32,910 \text{ min}^{-1}$, in den Bereich der Pelton-Anlagen sind ausreichend und daher wird die spezifische Drehzahl $25,620 \text{ min}^{-1}$ nicht in die Betrachtungen der *ECO Line* Baureihe einfließen.

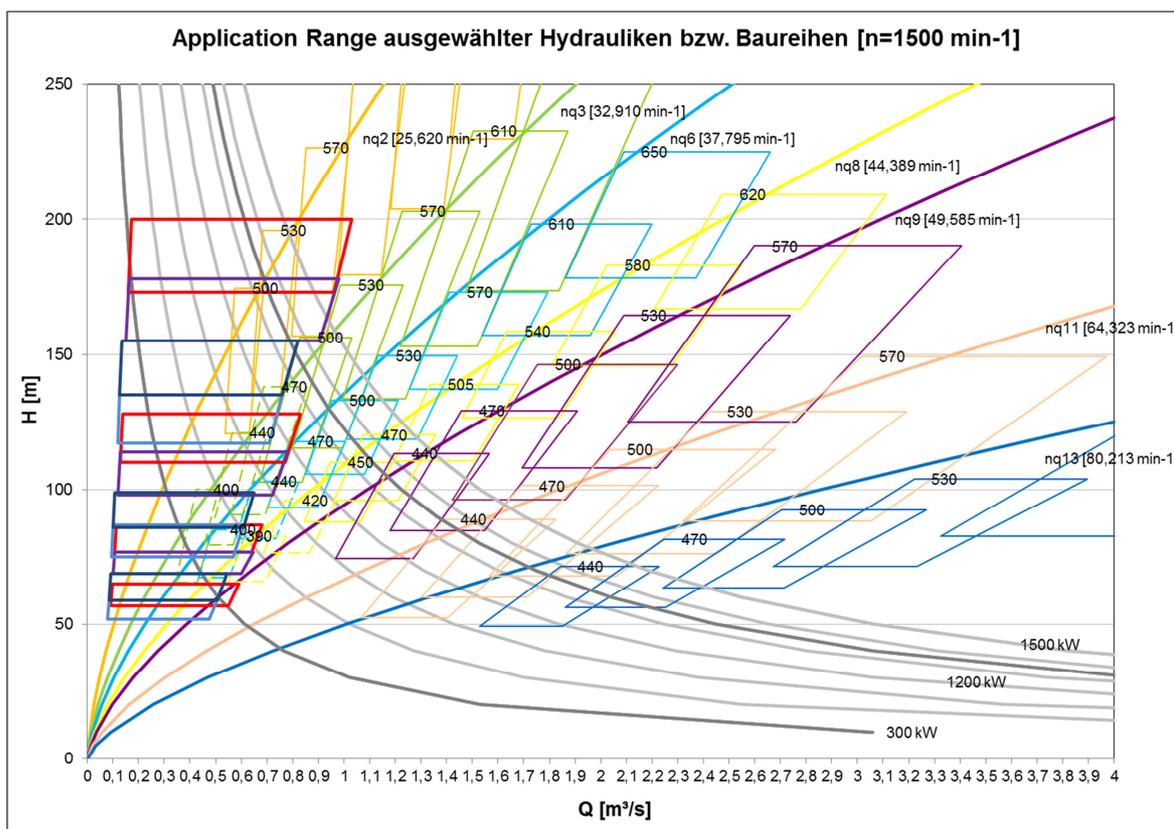


Abbildung 5.10: Baugrößen 1500 min^{-1}

Die Überschneidung des *ECO Line* Kaplan Bereichs ist, mit der Drehzahl 750 min^{-1} und der Schnellläufigkeit $80,213 \text{ min}^{-1}$, für die Geschäftsführung und das Expertenteam zufriedenstellend. Lediglich das empfindliche Betriebsverhalten der Maschine stimmte bedenklich. Daher sollte untersucht werden, ob eine Substitution dieser spezifischen Drehzahl mit der Schnellläufigkeit $64,323 \text{ min}^{-1}$, bei einer Drehzahl von 600 min^{-1} , möglich ist. Die Generatorkosten werden in diesem Fall als unwesentlich erachtet. Die Untersuchungen ergaben, dass mit der zusätzlichen Drehzahl die Substitution erfolgreich durchgeführt werden kann. Allerdings wird eine weitere Größe bei der Schnellläufigkeit $64,323 \text{ min}^{-1}$ erforderlich. Durch den Wegfall der vier Größen der spezifischen Drehzahl $80,213 \text{ min}^{-1}$ kommt es zu einer Reduktion von drei Größen.

Aufgrund der Einschränkung des Leistungsbereichs, werden alle Größen außerhalb dieses Bereichs aus der Betrachtung ausgeschlossen. Durch Kontrolle der Überschneidungen und der Berücksichtigung der Saughöhen werden die Größen, je nach Variante (vgl. Kapitel 5.3.2 und 5.3.3) festgelegt.

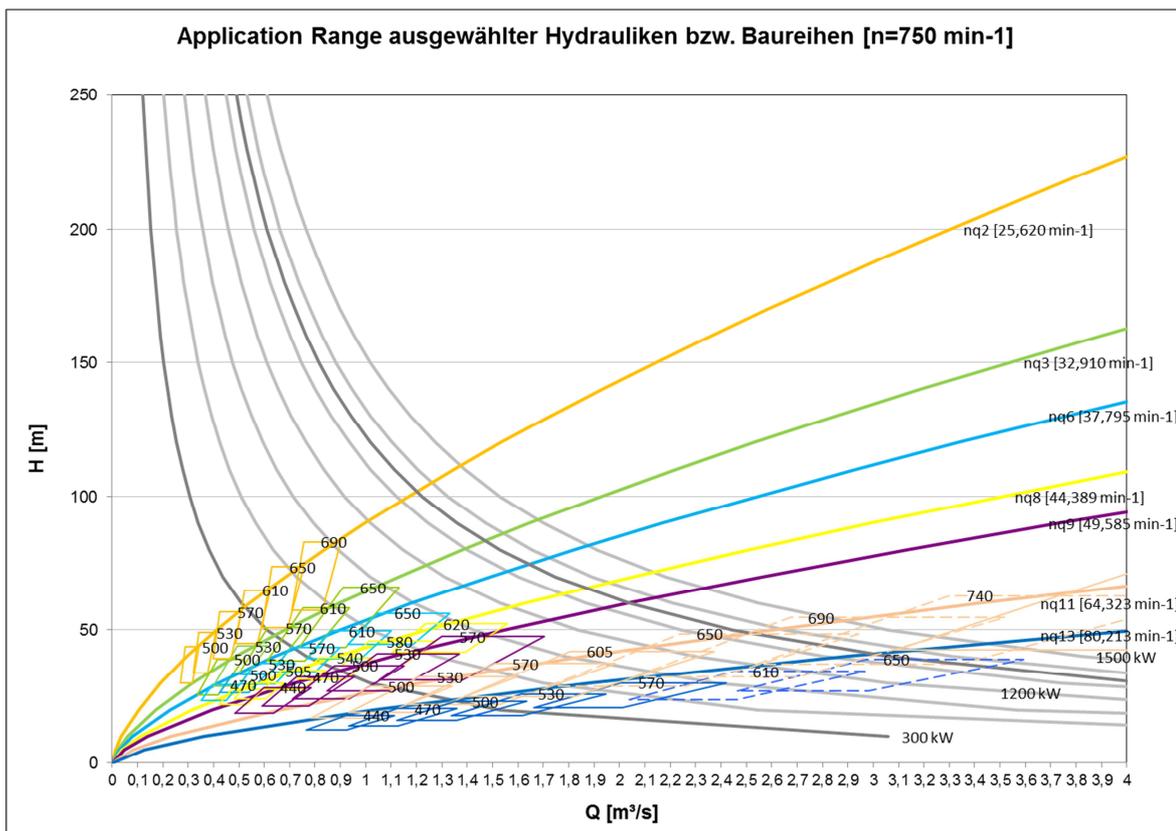


Abbildung 5.11: Baugrößen 750 min⁻¹

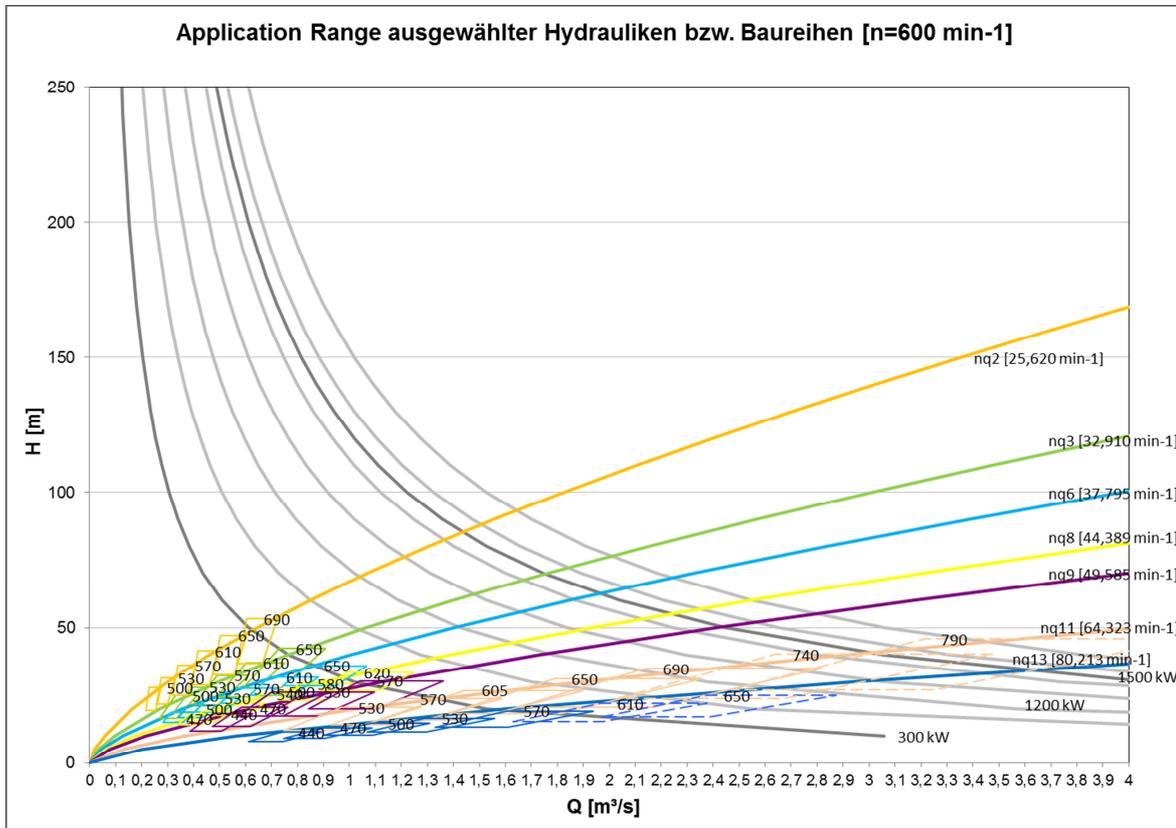


Abbildung 5.12: Baugrößen 600 min⁻¹

5.3.2 Variante 1

Diese Variante zielt darauf ab, eine minimale Anzahl an Baugrößen zu entwickeln und dabei Größenstufungen der Voith-Reihe einzuhalten. Ursprünglich war geplant, eine weitere Variante, nach der Normreihe DIN 323 (vgl. Kapitel 2.3.5) einzuführen. Eine Analyse der Voith-Reihe ergab, dass es sich dabei um eine modifizierte DIN 323 Normreihe handelt und keine zusätzliche Variante notwendig ist. Bei der Größenfestlegung wurden bei manchen Größen (Abbildung 5.6) von der Normreihe abgewichen und Mittelwerte nach Kapitel 2.3.5 gebildet, um Abdeckungslücken zu auszuschließen.

Die Abbildungen auf Seite 146 und 147 zeigen die verwendeten Baugrößen und deren Drehzahl. Dabei muss beachtet werden, dass die Größe 400, der spezifischen Drehzahl $32,910 \text{ min}^{-1}$, Probleme bei der Fertigung verursacht hat, eine erneute Fertigung dieser Größe fraglich ist und eine Entscheidung erst nach erfolgreicher Inbetriebnahme erfolgen kann. Diese Größe wurde aufgenommen, da sie bereits verwendet wurde und daher keine Konstruktions- und Programmierkosten anfallen.

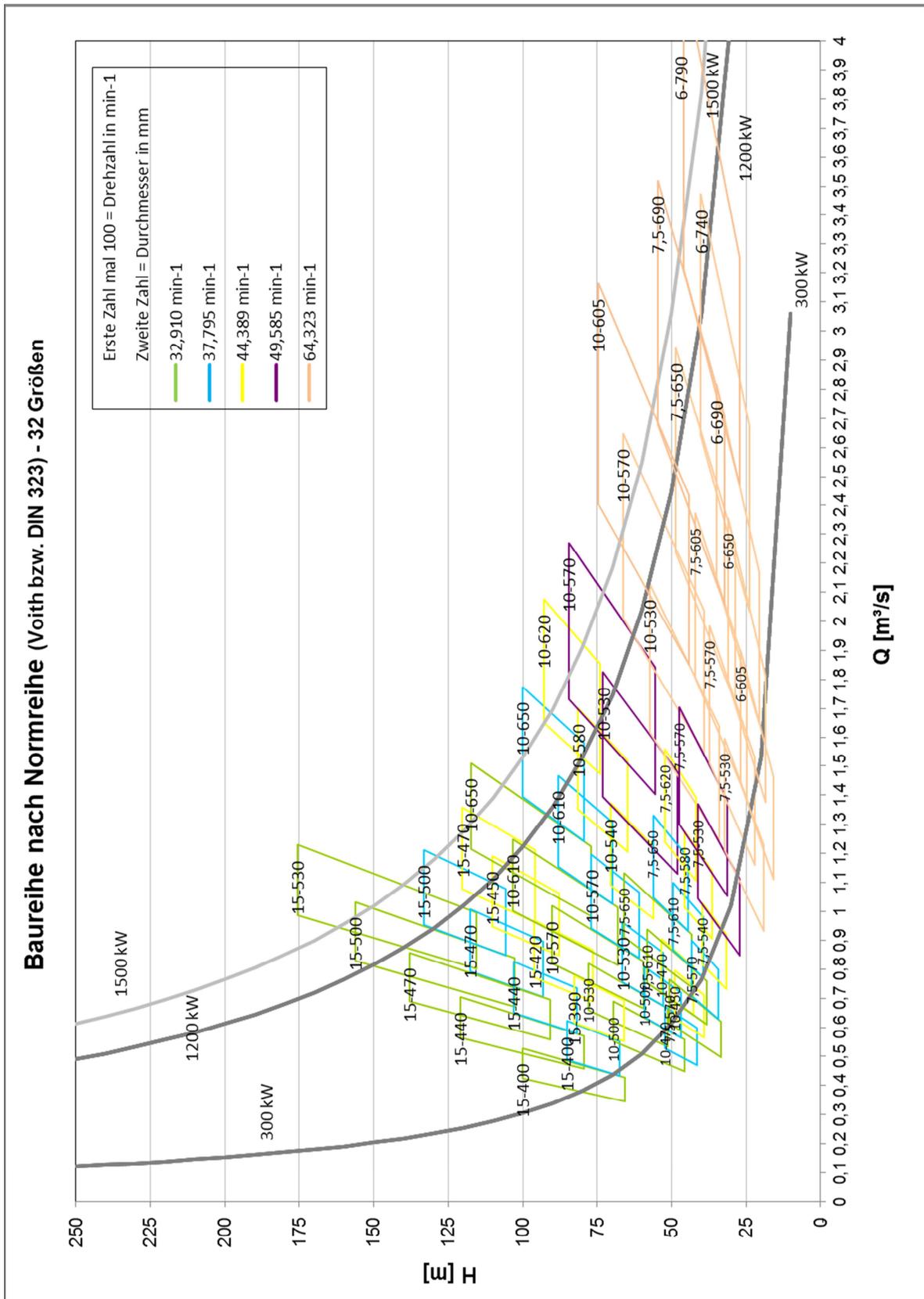


Abbildung 5.13: Baureihe Variante 1

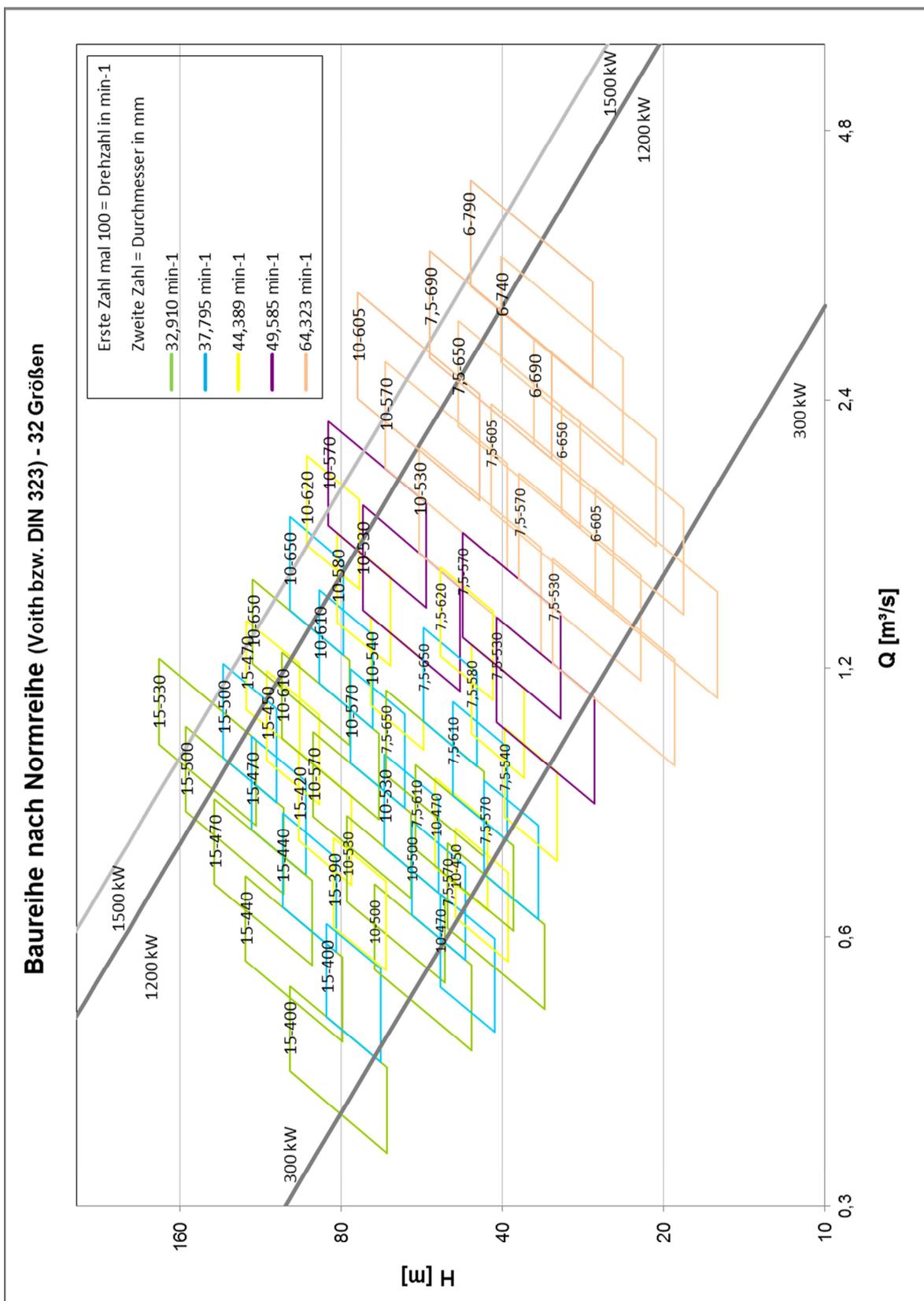


Abbildung 5.14: Baureihe Variante 1 – logarithmische Achsen

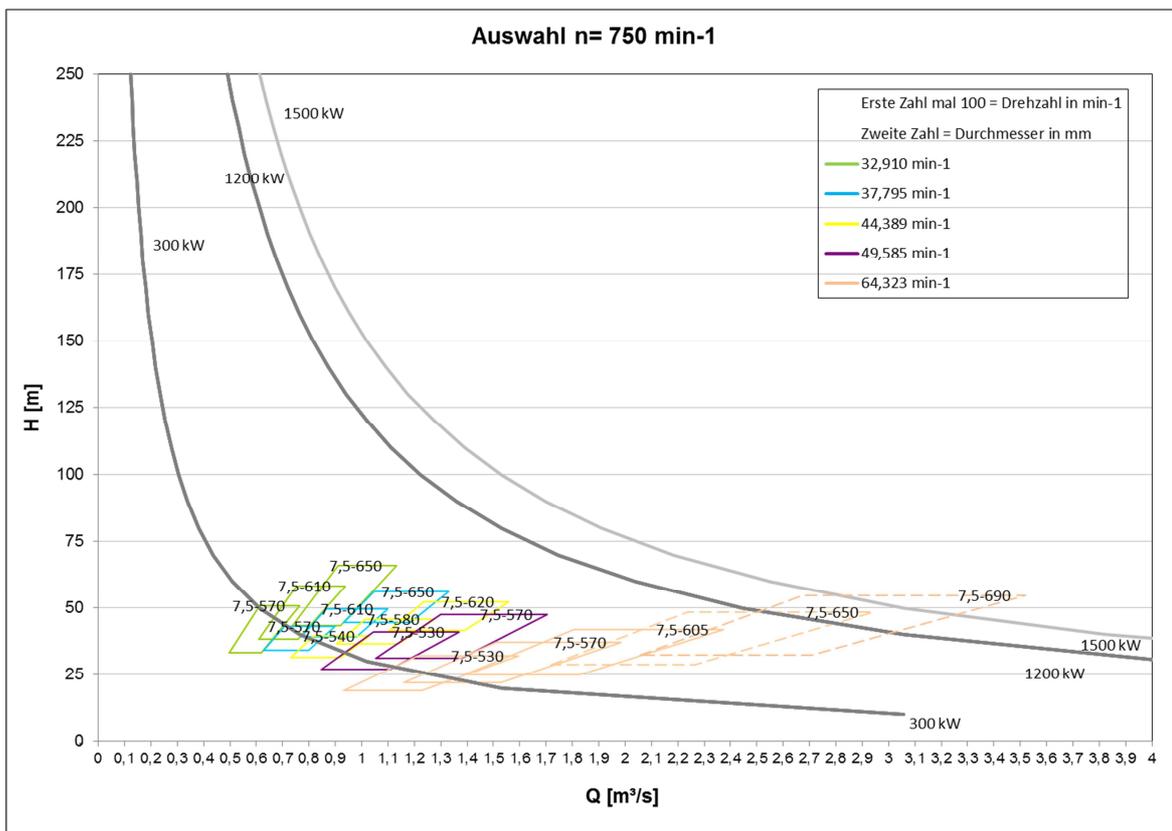


Abbildung 5.17: Verwendete Baugrößen bei 750 min⁻¹

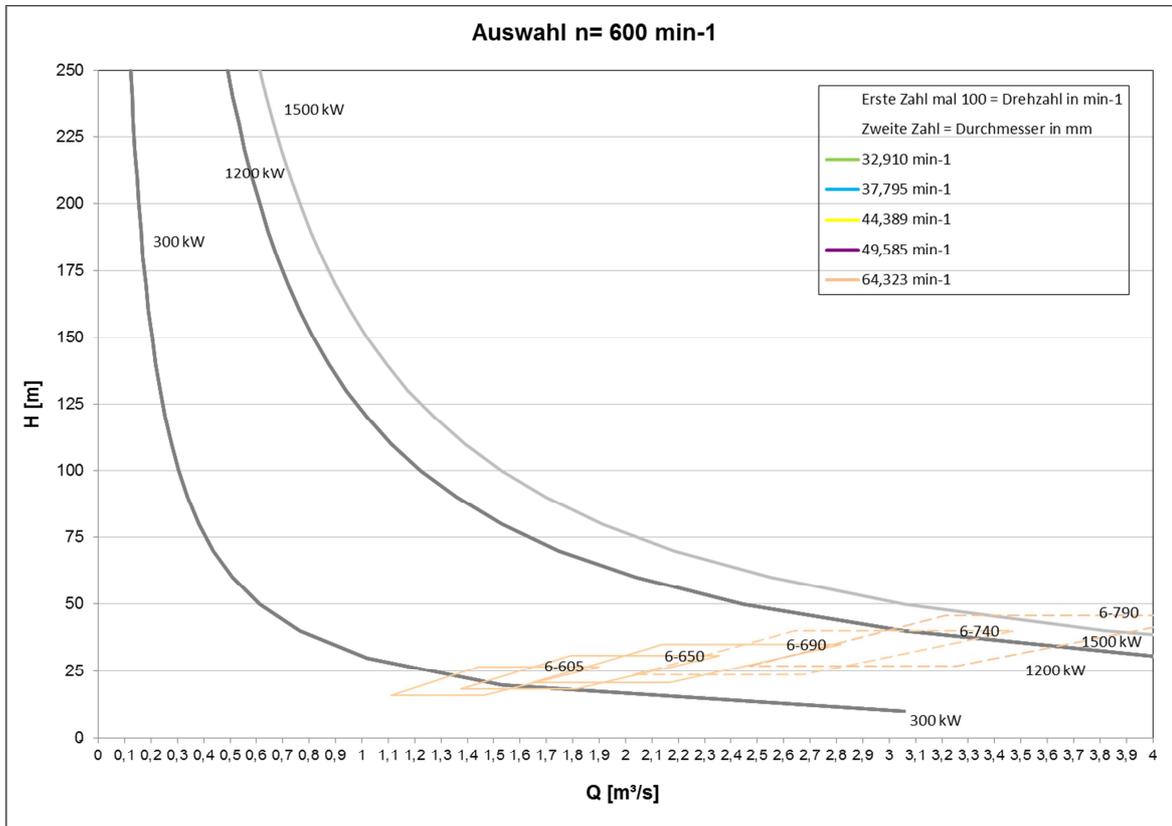


Abbildung 5.18: Verwendete Baugrößen bei 600 min⁻¹

5.3.3 Variante 2

Priorität dieser Variante hat die Anzahl der Baugrößen. Es soll keine Normreihe berücksichtigt werden und die Betriebsbereiche sollen möglichst geringe Überschneidungen aufweisen.

Es gibt unzählige andere Varianten, die eine vollständige Abdeckung ergeben. Nach zahlreichen Versuchen erschien nachfolgende Baureihe als beste Alternative zu Variante 1. Es wurde darauf geachtet, dass fünf Millimetersprünge nicht unterschritten werden. Im Gegensatz zur ersten Variante sind geringere Überschneidungen erkennbar. Allerdings ist auch eine unregelmäßige Überdeckung feststellbar

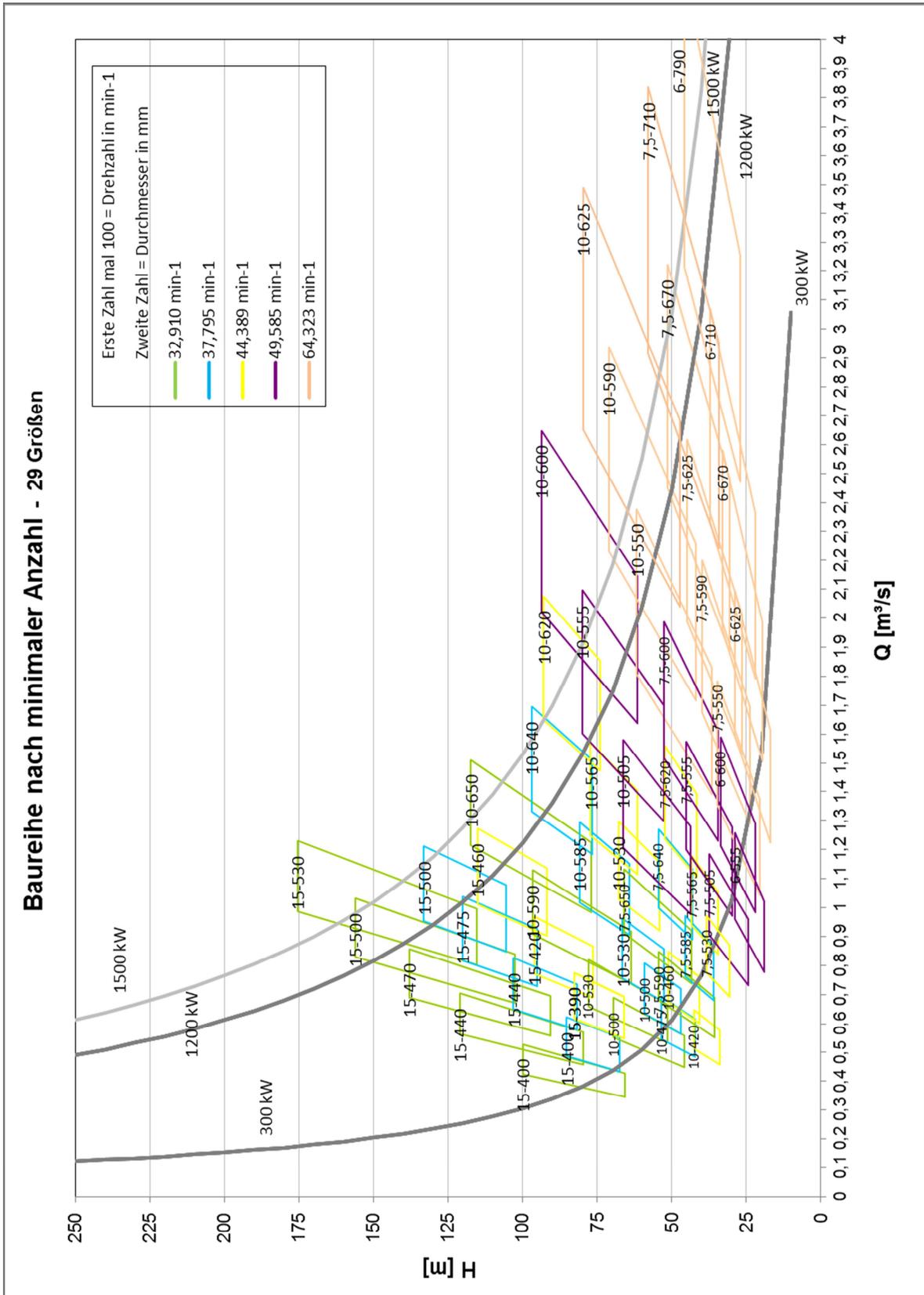


Abbildung 5.19: Baureihe Variante 2

5.3.4 Gegenüberstellung Variante 1 und Variante 2

In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile beider ermittelten Varianten gegenübergestellt und anschließend eine Variante festgelegt. Nachfolgende Tabelle zeigt die wesentlichen Aspekte auf:

Auswahlkriterien	Normreihe (n)	Minimale Anzahl	Wertung
	Variante 1	Variante 2	
Baugrößen	32	29	Variante 2
Bereits vorhanden	6	4	Variante 1
Ersetzbar	1	1	-
Zu fertigen	25	24	Variante 2
Flexibilität durch größere Überdeckung (h_s, η_{Turb})			Variante 1
Homogenere Verteilung			Variante 1
Normreihe			Variante 1

Tabelle 5.4: Pro- und Kontra Baureihenvarianten

Für Variante 2 spricht die geringere Anzahl an Baugrößen. Bei der Baureihenentwicklung wurde zusätzlich versucht, bereits gefertigte Größen einzubauen. Bei Variante 1 konnten sechs und bei Variante 2 vier Größen implementiert werden. Dieser Punkt spricht für Variante 1. Weiteres wurden bereits produzierte Anlagen untersucht, die nicht der Auswahl der spezifischen Drehzahlen aus Tabelle 5.1 entsprechen. Dabei konnte für beide Varianten eine Größe gefunden werden, die eine Größe der Baureihe ersetzen könnte. Für Variante 1 sprechen zusätzlich eine homogenere Überdeckung der Einsatzbereiche und dadurch eine höhere Flexibilität in der Auswahl der Maschine. Zudem sind mit der Normreihe als Grundlage eher Vorteile bei einer möglichen Baureihenentwicklung von Hebeln und sonstigen Komponenten zu erwarten.⁹²

Meiner Meinung nach sind vor allem die Vorteile der homogenen Überdeckung, der Variante 1 stärker zu werten, als die Kosteneinsparung durch die Reduktion einer Größe bei Variante 2. Zudem sind grenzwertige Überdeckungen bei Variante 2 zu finden. Daher empfehle ich Variante 1 zu implementieren.

5.4 Baureihe Spirale

Da im vorherigen Kapitel die Realisierbarkeit der Baureihe Laufrad klar aufgezeigt wurde und dadurch nur noch bestimmte Dimensionen verwendet werden, ist es naheliegend, auch weitere Komponenten auf eine Variantenreduktion zu untersuchen. Bei den Spiralgehäusen ist laut Dipl. Ing. Erwin Franz zu untersuchen, ob alle verwendeten

⁹² Vgl. Pahl / Beitz (2007), S. 636.

Lauftrad-Größen durch vier bis fünf Spiralengehäuse-Größen abgedeckt werden können. Dabei wurden die Randbedingungen wie folgt angegeben: $D_{1a} \mp 10\%$, $b_0 \mp 7\text{ mm}$

Größe	nq_{opt}	b_{0-7}	b_0	b_{0+7}	-10%	D_{1a}	10%	D_d/D_{1a}	b_0/D_{1a}	Basis
[-]	[min^{-1}]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	
1	44,389	69	76	83	351	390	429	0,972	0,196	x
	32,910	49	56	63	360	400	440	0,816	0,139	
	37,795	59	66	73	360	400	440	0,904	0,165	
	44,389	75	82	89	378	420	462	0,972	0,196	
	32,910	54	61	68	396	440	484	0,816	0,139	
	37,795	66	73	80	396	440	484	0,904	0,165	
2	44,389	81	88	95	405	450	495	0,972	0,196	x
	32,910	58	65	72	423	470	517	0,816	0,139	
	44,389	85	92	99	423	470	517	0,972	0,196	
	32,910	63	70	77	450	500	550	0,816	0,139	
3	32,910	67	74	81	477	530	583	0,816	0,139	x
	37,795	71	78	85	423	470	517	0,904	0,165	
	37,795	76	83	90	450	500	550	0,904	0,165	
4	37,795	80	87	94	477	530	583	0,904	0,165	x
	32,910	72	79	86	513	570	627	0,816	0,139	
	32,910	78	85	92	549	610	671	0,816	0,139	
5	32,910	83	90	97	585	650	715	0,816	0,139	x
	37,795	87	94	101	513	570	627	0,904	0,165	
	37,795	94	101	108	549	610	671	0,904	0,165	
6	44,389	99	106	113	486	540	594	0,972	0,196	x
	37,795	100	107	114	585	650	715	0,904	0,165	
	44,389	106	113	120	522	580	638	0,972	0,196	
7	44,389	114	121	128	558	620	682	0,972	0,196	x
	53,013	120	127	134	477	530	583	1,344	0,240	
	53,013	130	137	144	513	570	627	1,344	0,240	
8	64,323	143	150	157	477	530	583	1,425	0,283	x
9	64,323	154	161	168	513	570	627	1,425	0,283	x
10	64,323	164	171	178	545	605	666	1,425	0,283	x
11	64,323	177	184	191	585	650	715	1,425	0,283	x
12	64,323	188	195	202	621	690	759	1,425	0,283	x
13	64,323	202	209	216	666	740	814	1,425	0,283	x
14	64,323	217	224	231	711	790	869	1,425	0,283	x

Tabelle 5.5: Baureihe Spiralgehäuse

Die Untersuchung liefert 14 Größen. Bedenkt man, dass durch oben gezeigte Gruppierung auch variable Stützschaufelringe konstruiert und entwickelt werden müssen, ist die Wirtschaftlichkeit stark anzuzweifeln und daher werden, in Absprache mit den Betreuern und der Geschäftsführung, keine weiteren Untersuchungen vorgenommen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Nach der Zusammenfassung der Kostentreiberanalyse, werden die Vor- und Nachteile der Baureihe gegenübergestellt und alle Einsparungen zusammengefasst dargestellt.

6.1 Kostentreiberanalyse

Die Kostentreiberanalyse untermauert teilweise bekannte Phänomene, wie die Kostensteigerung durch Einschulung, zeigte allerdings auch Kostensteigerungen durch bisher unbekannte Phänomene. So zeigen die Auswertungen erstmals Kostenzuwächse durch die Drehrichtung der Laufräder auf. Weiters wurden erheblich Schwachstellen in der Zeiterfassung und daraus folgenden Kostensteigerungen in Verwaltung und Vertrieb identifiziert. Optimierungspotentiale in der Abwicklung von Geschäftsprozessen (Einbauplanung) konnten aufgezeigt und großteils auch bereits umgesetzt werden (Konstruktion). Durch die Darstellung der Kostentreiber wurden irrtümlich eingeführte Schweißstandards identifiziert und somit können zukünftig unnötige Ausgaben vermieden werden. Dieser Punkt führte dazu, dass auch Prüfstandards anderer Komponenten überdacht wurden und diese Standards zukünftig auf die länderspezifischen Bedingung angepasst werden (Druckprobe Spirale). Durch die notwendige Schaffung von Transparenz der Abläufe ist ein Überblick über die wesentlichen Handlungsfelder der Produktlinie Francis Turbinen vorhanden und möglicherweise wird dadurch neuen Mitarbeitern die Einarbeitung in die Geschäftsabläufe der Kössler GmbH & Co KG erleichtert. Diese Ablaufpläne zeigten die Variantenvielzahl der Laufradfertigung, ermöglichten eine Kosten- und Durchlaufzeitgegenüberstellung und die Ermittlung einer Grenzkurve. Dadurch sind Entscheidungshilfen zur Verfahrensauswahl für die *ECO Line* Francis Laufradfertigung vorhanden.

Die wesentlichsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind allerdings die ermittelten Kernkosten und die dazugehörigen Teilkosten für einzelne Bearbeitungsschritte und Komponenten. Dadurch stehen dem Verkauf erstmals interne Benchmarks für undurchsichtige Abläufe, wie der Werksmontage, Montage oder Konstruktion zur Verfügung. Weiters kann abgeschätzt werden, mit welchen Kostensteigerungen bei bestimmten Szenarien zu rechnen ist. Dies ermöglicht eine zügigere Einarbeitung neuer Mitarbeiter im Verkauf und ermöglicht ein Kostenbenchmarking mit Mitbewerbern bzw. anderen Voith Hydro Töchtern. Aufbauend auf den ermittelten Kostentreibern ist es der Geschäftsführung möglich, gezielte Maßnahmen zur Vermeidung oder Reduktion dieser Ursachen, durchzuführen. Empfehlungen sind in Form eines Maßnahmenkatalogs im Anhang zu finden (Anm.: Diese Daten sind nur der Firma Kössler zugänglich).

6.2 Baureihenentwicklung

Eine erste Abschätzung der notwendigen Größenzahl und eine grobe Abschätzung der Saughöhen (positive Saughöhe), zur Abdeckung des *ECO Line* Leistungsbereichs, ließen kritische Stimmen bezüglich der Umsetzbarkeit verstimmen und rückten das aussichtreiche Einsparungspotential (mind. acht Prozent auf HK), bei einem Produkt, das bereits auf die notwendigsten Komponenten reduziert wurde (Definition *ECO Line* Standard), in den Vordergrund. Durch die Baureihenentwicklung der Komponenten ist es gelungen, eine Baureihe mit 32 Größen zu verwirklichen. Weiters konnten die spezifischen Drehzahlen von 14 auf 5 reduziert und die Variantenvielfalt in der Angebotsphase minimiert werden. Zudem ist die *ECO Line Francis Baureihe* die Grundlage für eine weitere Reduktion der Produktkomplexität.

Natürlich sind auch negative Aspekte zu vermerken und diese werden nachfolgend den Vorteilen gegenübergestellt.

• Nachteile Firma Kössler & Kunde

- Eingeschränkte Größenwahl
- Einsatzbereich nicht immer im Optimum

• Vorteile Firma Kössler

- Reduktion der Variantenvielfalt
- Generierung von Lerneffekten in allen Bereichen des Unternehmens⁹³
- Reduktion der notwendigen Ressourcen in V&V (ca. 50%)
- Reduktion der Konstruktionszeiten (mind. 70%)
- Wirtschaftlichere Fertigung (Gesenke, Programmierung)
- „Es ist eher eine hohe Qualität erreichbar“⁹⁴
- Preiswerte Produkte unter 300 kW

• Vorteile Kunde

- Kurze Lieferzeit
- Preiswertes Produkt mit höchster Qualität
- Zuverlässige Aussagen durch Referenzprodukte

Es ist festzustellen, dass die Vorteile klar überwiegen und die Nachteile werden, vor allem im *ECO Line* Bereich, von den Experten der Kössler GmbH & Co KG und des Instituts für hydraulische Strömungsmaschinen als unwesentlich, bezogen auf die produzierten Energiemenge, erachtet.

Bei der Baureihenentwicklung der Spirale musste allerdings festgestellt werden, dass sich eine Größenfestlegung, vor allem bei hydraulischen Maschinen, nicht immer realisieren lässt.

⁹³ Vgl. Habermellner (2002), Kap. 2-S. 83.

⁹⁴ Pahl (2007), S. 628.

6.3 Einsparungspotential

Unten angeführt sind die wesentlichen Einsparungen bzw. Einsparungspotentiale die durch die Baureihenentwicklung und die Kostentreiberanalyse im ECO Line Bereich identifiziert werden konnten.

Einsparung durch Baureihe		DLZ	Kosten
		[%]	[%]
Konstruktion	mind.	70	5,5%
Vertrieb	mind.	50	0,4%
Programmierung (P)		100	2,1%
Gesenke (G)		100	2,9%
Lerneffekte		25 - 30	
Einkauf			
Arbeitsvorbereitung			
	(P)		8,0%
	(G)		8,8%
Einsparung durch EBP		DLZ	Kosten
		[%]	[%]
Einbauplanung	mind.	40	
	(P) / (G)	40	0,8%
Einsparung durch Schweißen		DLZ	Kosten
		[%]	[%]
Laufradfertigung	mind.	12	
	(G)	12	1,3%
Einsparung durch F-Rahmen		DLZ	Kosten
		[%]	[%]
Montage	mind.	12	
	(G)	12	0,9%
GESAMTEINSPARUNG ECO Line		DLZ	Kosten
		[Wochen]	[%]
	SUMME (P)	9	9,62%
	SUMME (G)	11	11,68%
DLZ [%] ... bezogen auf jeweilige Kostenstelle			
Kosten [%] ... bezogen auf Herstellkosten RKW Nasswald			

Tabelle 6.1: Aufschlüsselung Kostenreduktion

Im Wesentlichen sind Einsparungen in der Konstruktion und in der Programmierung der CAM-Programme bzw. der Fertigung des Gesenks (Bezug: Pilgersteg T1) zu erwarten. Die Programmierung und das Gesenk werden miteinbezogen, da sie im Gegensatz zur heutigen Situation gezielt wiederverwendet werden und ein erneuter Einsatz, nicht ein Produkt des Zufalls sind. Es wurden bewusst keine Lerneffekte, Einsparungen im Einkauf, der Arbeitsvorbereitung oder Einsparungspotentiale durch zusätzliche Baureihenentwicklungen eingerechnet und somit ist die Ausgangsbasis der Einsparungen ersichtlich und es ist eine höhere Kostenreduktion wahrscheinlich.

Mit den zukünftigen Einsparungen in der Einbauplanung, der Schweißung bei herkömmlicher Fertigung und der Einführung des Fundamentrahmens konnte eine Reduktion der Herstellkosten um 9,6 bis 11,7 Prozent, bei einer Durchlaufzeitverkürzung von mindestens 9 bis 11 Wochen, realisiert werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Entwicklung Kössler GmbH & Co KG	1
Abbildung 2.1: Einsatzbereiche verschiedener Turbinenarten ($H - Q$)	5
Abbildung 2.2: Einsatzbereiche verschiedener Turbinenarten ($H - nq$)	6
Abbildung 2.3: Francis Laufräder	7
Abbildung 2.4: Francis Turbine	8
Abbildung 2.5: ECO Line Francis Anlage	8
Abbildung 2.6: Muscheldiagramm	9
Abbildung 2.7: Saughöhe h_s	10
Abbildung 2.8: Thoma Beiwert	11
Abbildung 2.9: Erweiterter Problemlösungszyklus.....	13
Abbildung 2.10: Kostentreiberanalyse und Benchmark	15
Abbildung 2.11: Zeittreiberanalyse und Benchmark	16
Abbildung 2.12: Ishikawa Diagramm.....	17
Abbildung 2.13: Produktstrukturierungsmöglichkeiten.....	21
Abbildung 2.14: Ähnlichkeitsbeziehungen.....	22
Abbildung 2.15: Normzahlenreihe nach DIN 323 - Auszug	23
Abbildung 2.16: Anwendungsbeispiel Normreihe	24
Abbildung 2.17: Auswahlkennfeld einer Spiralgehäusepumpen-Baureihe.....	25
Abbildung 3.1: Kostenstruktur Referenzkraftwerk Nasswald	27
Abbildung 3.2: ABC-Analyse Referenzkraftwerk Nasswald	28
Abbildung 3.3: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Nasswald	31
Abbildung 3.4: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Breinig.....	32
Abbildung 3.5: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Wanghof.....	33
Abbildung 3.6: Kostenvergleich RKW Nasswald und KW Cinar 1	34
Abbildung 3.7: Kostenvergleich Laufräder.....	36
Abbildung 3.8: Durchlaufzeitenvergleich Laufräder	38
Abbildung 3.9: Kostenstruktur RKW Nasswald: Leitapparat	39
Abbildung 3.10: ABC-Analyse RKW Nasswald: Leitapparat.....	40
Abbildung 3.11: Gegenüberstellung der fünf Kostenstrukturen	41
Abbildung 4.1: Legende der Flussdiagramme	43
Abbildung 4.2: Herkömmliche Fertigung	44
Abbildung 4.3: Fräsen aus zwei Rohlingen	45
Abbildung 4.4: Fräsen aus einem Rohling.....	46
Abbildung 4.5: Fertigungsprozesse Gegenüberstellung	47
Abbildung 4.6: Laufradvarianten im Überblick	48
Abbildung 4.7: Kostenvergleich Laufräder.....	51
Abbildung 4.8: Stundenvergleich Laufräder	52
Abbildung 4.9: Kostenvergleich MK/FK Laufräder.....	53
Abbildung 4.10: Kostenvergleich MK/FK Komponenten.....	54
Abbildung 4.11: Stundenvergleich MK/FK Komponenten.....	55

Abbildung 4.12: Kostentreiber Laufrad KW Nasswald	56
Abbildung 4.13: Kostentreiber Laufrad KW Cinar 1	57
Abbildung 4.14: Kostentreiber Laufrad KW Wanghof	58
Abbildung 4.15: Kostentreiber Laufrad KW Pilgersteg T1	59
Abbildung 4.16: Kostentreiber Laufrad KW Pilgersteg T2	60
Abbildung 4.17: Kernkosten Laufradfertigung	62
Abbildung 4.18: Kernkosten-Durchlaufzeit Laufradfertigung.....	63
Abbildung 4.19: Fertigungsverfahren im Vergleich.....	64
Abbildung 4.20: Kostenverlauf herkömmliche Laufradfertigung.....	66
Abbildung 4.21: Fehlerermittlung Laufradfertigung.....	68
Abbildung 4.22: Grenzkurven Laufradfertigung	69
Abbildung 4.23: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Laufrad	70
Abbildung 4.24: Strukturbild RKW/KW Nasswald (inkl. Stunden)	72
Abbildung 4.25: Stunden-Vergleich der Konstruktion	73
Abbildung 4.26: Zeittreiber Konstruktion KW Nasswald	74
Abbildung 4.27: Strukturbild KW Cinar 1	75
Abbildung 4.28: Zeittreiber Konstruktion KW Cinar 1	76
Abbildung 4.29: Strukturbild Konstruktion KW Breinig.....	77
Abbildung 4.30: Zeittreiber Konstruktion KW Breinig.....	78
Abbildung 4.31: Strukturbild Konstruktion KW Wanghof.....	79
Abbildung 4.32: Zeittreiber Konstruktion KW Wanghof.....	80
Abbildung 4.33: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Konstruktion.....	81
Abbildung 4.34: Ablaufplan Montage	82
Abbildung 4.35: Kosten der Montage	85
Abbildung 4.36: Kostenstruktur Montage	86
Abbildung 4.37: Stundenvergleich Montage.....	87
Abbildung 4.38: Personaleinsatz im Vergleich	88
Abbildung 4.39: Zeittreiber Montage KW Nasswald	89
Abbildung 4.40: Mögliche Montageschritte.....	91
Abbildung 4.41: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Montage.....	93
Abbildung 4.42: Hydraulikleitung Variante 1	94
Abbildung 4.43: Hydraulikleitung Variante 2 bzw. 3	95
Abbildung 4.44: Alternative Hydraulik Variante 1	99
Abbildung 4.45: Alternative Hydraulik Variante 2	99
Abbildung 4.46: Alternative Hydraulik Variante 4	99
Abbildung 4.47: Alternative Hydraulik Variante 3	100
Abbildung 4.48: Ablaufplan Werksmontage Teil 1	101
Abbildung 4.49: Ablaufplan Werksmontage Teil 2.....	102
Abbildung 4.50: Kosten der Montage	103
Abbildung 4.51: Kosten der Montage NEU.....	104
Abbildung 4.52: Kostentreiber Werksmontage KW Wanghof	106
Abbildung 4.53: Kostentreiber Werksmontage KW Cinar 1	107
Abbildung 4.54: Mögliche Werksmontageschritte.....	108

Abbildung 4.55: Kernkosten im Vergleich.....	109
Abbildung 4.56: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Werksmontage.....	110
Abbildung 4.57: Kosten des Spiralgehäuses.....	111
Abbildung 4.58: Kosten des Spiralgehäuses NEU.....	112
Abbildung 4.59: Spiralgehäuse MK (HW)-Vergleich.....	113
Abbildung 4.60: Darstellung eines Ausbauflansches.....	114
Abbildung 4.61: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Nasswald.....	115
Abbildung 4.62: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Breinig.....	116
Abbildung 4.63: Kernzeiten/Kernkosten Spirale KW Cinar 1.....	117
Abbildung 4.64: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Spiralgehäuse.....	118
Abbildung 4.65: Leitapparat im Vergleich.....	119
Abbildung 4.66: Komponenten Leitapparat im Vergleich.....	120
Abbildung 4.67: Kostenvergleich Leitraddeckel.....	122
Abbildung 4.68: Stundenvergleich Leitraddeckel.....	123
Abbildung 4.69: Kostenvergleich Leitraddeckel.....	124
Abbildung 4.70: Ursachen-Wirkungs-Diagramm Spiralgehäuse.....	125
Abbildung 4.71: EBP Variante 1: KW Egemen 1 und Egemen 2.....	126
Abbildung 4.72: EBP Variante 2: KW Nasswald.....	127
Abbildung 4.73: EBP Variante 3: KW Shanyin.....	127
Abbildung 4.74: Arbeitszeit einfacher und komplexer Einbauplanungen.....	128
Abbildung 5.1: Spezifische Drehzahlen im $H - Q$ - Diagramm.....	130
Abbildung 5.2: Spezifische Drehzahlen im $Q_{11} - n_{11}$ - Diagramm.....	130
Abbildung 5.3: Randbedingungen (4, 5, 6).....	132
Abbildung 5.4: Muscheldiagramm.....	133
Abbildung 5.5: Saughöhe Bemessungspunkte.....	135
Abbildung 5.6: Eingabemaske Baureihenentwicklung.....	136
Abbildung 5.7: Generatorkosten.....	137
Abbildung 5.8: ECO Line Pelton.....	138
Abbildung 5.9: Baugrößen 1000 $min - 1$	140
Abbildung 5.10: Baugrößen 1500 $min - 1$	141
Abbildung 5.11: Baugrößen 750 $min - 1$	142
Abbildung 5.12: Baugrößen 600 $min - 1$	142
Abbildung 5.13: Baureihe Variante 1.....	144
Abbildung 5.14: Baureihe Variante 1 – logarithmische Achsen.....	145
Abbildung 5.15: Verwendete Baugrößen bei 1500 $min - 1$	146
Abbildung 5.16: Verwendete Baugrößen bei 1000 $min - 1$	146
Abbildung 5.17: Verwendete Baugrößen bei 750 $min - 1$	147
Abbildung 5.18: Verwendete Baugrößen bei 600 $min - 1$	147
Abbildung 5.19: Baureihe Variante 2.....	149
Abbildung 5.20: Baureihe Variante 2 – logarithmische Achsen.....	150

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Projekte im Zeitraum 2008 bis 2012	30
Tabelle 4.1: Laufradauswahl	49
Tabelle 4.2: Projektübersicht Francis Turbinen	90
Tabelle 4.3: Gegenüberstellung der Kosten	96
Tabelle 4.4: Kostenstruktur Hydraulik	98
Tabelle 4.5: Stundenaufteilung Spiralgehäuse	112
Tabelle 5.1: Auswahl der spezifischen Drehzahl	131
Tabelle 5.2: Kontrollfeld Saughöhe	136
Tabelle 5.3: Maximale Laufraddurchmesser	139
Tabelle 5.4: Pro- und Kontra Baureihenvarianten	151
Tabelle 5.5: Baureihe Spiralgehäuse	152
Tabelle 6.1: Aufschlüsselung Kostenreduktion.....	155

Formelverzeichnis

(2.1).....	6
(2.2).....	10
(2.3).....	10
(2.4).....	10
(3.1).....	37
(4.1).....	65
(5.1).....	133
(5.2).....	134
(5.3).....	134
(5.4).....	134
(5.5).....	134
(5.6).....	134

Literaturverzeichnis

actuators.schiebel.com: http://actuators.schiebel.com/d/prod_s_fs.asp?ID=87, Stand: 05.07.2012.

Angermeier, Georg: <http://www.projektmagazin.de/glossarterm/5-m-methode>, Stand: 13.01.2012.

auma.com: http://www.auma.com/uploads/media/sp_import2/betriebsanleitungen/antriebe_mit_steuerung/linearantriebe_mit_variomatic/ba_als1_25_75_vmmc1_de.pdf, Stand: 05.07.2012.

Bauer Ulrich: *Kosten- und Erfolgsrechnung*, Graz, 2008.

Bohl, Willi: *Strömungsmaschinen 1-Aufbau und Wirkungsweise*, 8. Auflage, Würzburg, 2002.

Duden.com: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Prozess>, Stand: 1.09.2012.

Franke, Hans-Joachim u.a.: *Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung*, München/Wien, 2002.

geodz.com: <http://www.geodz.com/deu/d/W%C3%A4rmehaushalt>, Stand: 12.07.2012.

Giesecke, Jürgen/Monsonyi, Emil: *Wasserkraftanlagen-Planung, Bau und Betrieb*, 5. Auflage, Berlin/Heidelberg, 2009.

Grote, Karl-Heinrich/Feldhusen, Jörg: *Doppel-Taschenbuch für den Maschinenbau*, 23. Auflage, Berlin/Heidelberg, 2011.

Grünig Thomas: *Prozesskostenrechnung und Kostentreiberanalysen*, Hamburg, 2010.

Haberfellner, Reinhard u.a.: *Projekt Management-Auf Basis des System Engineering*, 11. Auflage, Zürich, 2002.

Haberfellner, Reinhard: *Unternehmensführung und Organisation*, Graz, 2010.

Höfler, E./Širok, B./Bergant A.: *Forsch Ingenieurwes (2011) 75:197–208*, DOI 10.1007/s10010-011-0145-4, 2011.

invest.gov.tr: <http://www.invest.gov.tr/de-DE/sectors/Pages/EnvironmentalTechnologies.aspx>, Stand: 14.08.2012.

Jaberg, Helmut: Einführung in die Industrie Hydraulischer Strömungsmaschinen, 8. und 9.2.2007, Graz, 2007.

koessler.com-a: <http://www.koessler.com/de/geschichte>, Stand: 15.08.2012.

koessler.com-b: <http://www.koessler.com>, Stand: 15.08.2012.

Koltze, Karl/Souchkov, Valeri: *Systematische Innovation-TRIZ-Anwendung in der Produkt- und Prozessentwicklung*, München/Wien, 2011.

Kostka, Claudia/Kostka, Sebastian: *Der Kontinuierliche Verbesserungsprozess*, 3. Auflage, München, 2007.

KSB: *Auslegung von Kreiselpumpen, Frankenthal (Pfalz)*, 2005.

lbcconsulting.de: <http://www.lbcconsulting.de/de/leistungen/prozessmapping.html>, Stand: 19.09.2012.

Ökostromgesetz 2012: *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 75. Bundesgesetz-Teil I*, 2011.

Pahl, Gerhard/Beitz, Wolfgang/Feldhusen, Jörg/Grote, Karl-Heinrich: *Konstruktionslehre-Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung – Methoden und Anwendung*, 7. Auflage, Aachen/Magdeburg, 2007.

ps-automation.com: http://www.ps-automation.com/files/download_files/TD_PSQ1002_GER_120810.pdf, Stand: 05.07.2012.

raco.de: http://www.raco.de/pdf/raco_pm.pdf, Stand: 05.07.2012.

Ramsauer Christian: *INDUSCRIPT Value Management (Wertanalyse)*, Auflage 2012, Graz, 2012.

Rieg, Peter: *Kostenwachstumsgesetze für Baureihen*, Dissertation, Darmstadt, 1982.

Schilling, Rudolf u.a.: *Praktikerkonferenz Wasserkraft*, Graz, 21./22. September 2011.

Schuh, Günther: *Produktkomplexität managen-Strategien-Methoden-Tools*, 2. Auflage, München/Wien, 2005.

Ultsch, Alfred: *Eine Begründung der Pareto-80/20 Regel und Grenzwerte für die ABC-Analyse*, Marburg, 2001.

uni-magdeburg.de: http://www.uni-magdeburg.de/bwl6/logedugate/pwl_abcanalyse/content/pw_abc03.htm, Stand: 12.01.2012.

Wikipedia.org: http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ursache_Wirkung_Diagramm_allgemein.svg&filetimestamp=20090408130948, Stand: 13.01.2012.

wirtschaftslexikon24.net: <http://www.wirtschaftslexikon24.net/d/abc-analyse/abc-analyse.htm>, Stand: 12.01.2012.

Wohinz, Josef u. a.: *Industriebetriebslehre*, 24. Auflage, Graz, 2010.

Anhang

Aufgrund des großen Umfangs der Daten, befinden sich alle kaufmännischen Auswertungen auf beigelegtem Datenträger.

Anhang 1: Maßnahmenkatalog

Anhang 2: Beschreibung der Ursachen-Wirkungs-Diagramme

Anhang 3: Kaufmännische Auswertungen

Anhang 1: Maßnahmenkatalog⁹⁵

(Anm.: Diese Daten sind nur der Firma Kössler zugänglich)

⁹⁵ Vgl. www.arnstadt.de (01.09.2012).

Anhang 2: Beschreibung der Ursachen-Wirkungs-Diagramme

Laufrad

MENSCH

- Die Erfahrung der Mitarbeiter ist ein entscheidendes Kriterium. Dies trifft besonders auf das Schweißen und Schleifen zu.
- Zudem spielt es eine wesentliche Rolle, welche Hand als Führungshand verwendet werden kann. Für Rechtshänder ist die Bearbeitung rechtsdrehender Laufräder in der Regel einfacher. Es muss mit 20 Prozent Zeitunterschied, bei einer falschen Konstellation der Händigkeit und Drehrichtung, gerechnet werden.
- Der „Faktor Mensch“ ist ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Die Konstanz von Maschinen wird man nicht erreichen können.

METHODE

- Es sind neun verschiedene Fertigungsvarianten vorhanden. Die Auswahlmöglichkeiten und in weiterer Folge die Koordination unterschiedlicher Prozesse erfordert einen hohen Verwaltungsaufwand. Dies widerspricht der Definition der *ECO Line* Produktlinie, die parallel zu derzeitigen Geschäften erfolgen soll.
- Die kundenspezifische Fertigung ermöglicht kaum Wiederholungen. Lerneffekte könnten durch eine Baureihe und einer daraus resultierenden Wiederholungsrate gezielt generiert werden.
- Auf der Suche nach neuen Verfahren und dem Wechsel der Hydraulik im Jahr 2008, sind fast ausschließlich „Prototypen“ hergestellt worden.

UMFELD

- Aufwändige Prüfverfahren erhöhen naturgemäß die Durchlaufzeit. Dies wird in Zukunft durch Standardprüfverfahren ohnehin verhindert.

MATERIAL

- Materialfehler erfordern eine Nacharbeit.
- Die Kombination von kleinem Durchmesser und langsam läufigerer Maschine behindert die Bearbeitung wesentlich bzw. machen eine Bearbeitung aufgrund der Zugänglichkeit unmöglich.
- Aufgrund der neuen Geometrie gingen einige Erfahrungswerte in der Fertigung (Pressen) verloren oder machen Fertigungsschritte unmöglich.

MESSUNG

- Die Aufzeichnung der neuen Verfahren erfolgte sehr ungenau. Doch gerade eine nachträgliche Bewertung der Wirtschaftlichkeit erfordert möglichst genau Werte.
- Prinzipiell ist das Zeiterfassungssystem von Kössler zu genaueren Aufzeichnung in der Lage. Doch scheint keine Einschulung und Bewusstseinsbildung in die Wichtigkeit dieser

Daten erfolgt zu sein. Es werden des Öfteren Tätigkeiten gestempelt, die für ein bestimmtes Verfahren nicht erforderlich sind (z.B. Pressen bei Pilgersteg T2)

MANAGEMENT

- Was unter Nacharbeit zu verstehen ist, scheint nicht klar definiert zu sein und daher gehen viele Erkenntnisse über Störzeiten verloren.
- Unklare Anweisungen von Voith führten zu irrtümlich eingeführten Schweißstandards.
- Welche Prüfstandards prinzipiell notwendig sind, sollte länderspezifisch aufgestellt werden.

Konstruktion

MENSCH

- Aufgrund der Auftragslage und des schnellen Wachstums des Unternehmens wurden in den letzten Jahren viele neue Mitarbeiter eingestellt. Wie die Auswertungen der vier Kernprojekte zeigen, ist dies die Hauptursache für die Explosion der Konstruktionszeiten.
 - Zusätzlich haben beispielsweise HTL Absolventen in der Regel kein vertieftes Wissen im Bereich von hydraulischen Strömungsmaschinen und benötigen dadurch eine intensivere Betreuung, als dies vielleicht in anderen Branchen erforderlich ist.
- Mangelnde Begabung als Konstrukteur führte zur größten Kostenexplosion aller vier Kernprojekte. Diese ziehen sich, wie der sprichwörtliche rote Faden, durch den gesamten Herstellungsprozess.

METHODE

- Das DDS (vgl. 4.2.2) beinhaltet aus sicherheitstechnischen Gründen (dass dieses Sheet nicht versehentlich an den Kunden gelangt) nicht alle Winkel bzw. Betriebspunkte und korreliert oftmals nicht mit den Daten alter PDS, weil sich beispielsweise die Auslegung aktueller Projekte, im Vergleich zu vergleichbarer Projekte der Vergangenheit, etwas geändert hat oder die Daten einfach grundsätzlich nicht übereinstimmen (beim Vergleich mit aktuellen DDS: z.B. andere Winkelangaben). Aus diesem Grund müssen bei zirka jedem dritten Projekt (Bsp. Osen) Rücksprachen gehalten werden, welche Daten gültig sind. Dies ist oftmals nicht sofort feststellbar, bedarf Abstimmungsgespräche mit der „Brunnenmühle“ in Heidenheim und der Auslegungsabteilung bei Kössler (Ing. Walter Hromecek bzw. Ing. Karl Wieder) und kann laut Schätzungen betroffener Personen, in der Konstruktion bis zu 40 Stunden in Anspruch nehmen. Somit werden einerseits die Konstruktion und andererseits der Vertrieb im allgemeinen Arbeitsablauf aufgehalten. Dadurch entstehen unnötige Kosten im Ablauf (Vertrieb und Konstruktion) und eine Verlängerung der Abwicklung des Projektes und somit der Lieferzeit.
- Durch mangelnde bzw. ungenaue Hinweise im Werksauftrag in der Vergangenheit, welche Komponenten (Dichtungstyp etc.) keine Standardspezifikationen aufweisen, ist das Vertrauen in die Angaben gesunken und es bedarf regelmäßiger Recherchen im Vertrag und Rücksprachen. Durch eine verlässliche Angabe, was „Nicht Standard“ ist, könnten lt. Schätzungen 20 bis 40 Stunden eingespart werden.

- Geringe Auswirkungen, im Vergleich zum Nutzen in anderen Geschäftsprozessen, zeigen die Auswirkungen durch die gestiegene Anzahl an Konstruktionszeichnungen.

UMFELD

- Kundenänderungen in später Projektphase (Höhenänderungen) verzögern Projekte. Dies kommt sehr selten vor, aber in diesem Fall hat der Konstrukteur bzw. Projektabwickler 50 bis 60 intensive Stunden für die Änderungen aufzubringen. Dies verzögert die Lieferzeit und Folgeprojekte gleichermaßen.
- Fehler in der Fertigung und mangelhafte Produkte der Unterlieferanten wirken sich auf die Konstruktion nur in geringem Maß aus, behindern allerdings den Projektfortschritt.
- Welche Zeitspannen für Kontrollen und Einschulungen aufgewendet werden müssen, ist aus der Kostentreibanalyse der vier Kernprojekte ersichtlich.

MATERIAL

- Es sind keine klaren Konstruktionsrichtlinien (Dateinamen, Zeichnungsbenennung, Bemaßungsrichtlinien (Must have, Nice to Have: Fasen bemaßen etc.)) vorhanden bzw. sind diese nicht detailliert niedergeschrieben. Dadurch wird neuen Mitarbeitern der Einstieg erschwert und es bedarf einer Betreuung bzw. einem ständigem Vergleich bereits bearbeiteter Projekte, was einerseits erfahrenen Konstrukteure behindert und andererseits die schnelle Integration in vorhandene Abläufe verzögert.
- Die vorhandenen Berechnungstools sind nicht selbsterklärend (keine Eingabemaske, keine Beschreibung, keine Skizzen, abwechselnd in Deutsch und Englisch). Teilweise sind Doppeleingaben notwendig und die Berechnungstools sind auch für erfahrenere Mitarbeiter schwer nachvollziehbar. Dies verzögert die Bearbeitung von Problemstellungen und macht es neuen Mitarbeitern nahezu unmöglich sich selbst in die Programme einzuarbeiten.

MESSUNG

- Mangelnde Definition, was in die Bereiche Einbauplanung, Konstruktion oder Abwicklung verbucht gehört, führt unweigerlich zu unterschiedlichen Interpretationen in der Verbuchung.
- Zudem führen die Rundungen der Stunden zu zusätzlicher Ungenauigkeit. Im Vergleich zur Verbuchung der Stunden in der Fertigung, ist dieser Fehler sicherlich vernachlässigbar.

MANAGEMENT

- Die Kommunikation kleiner Veränderungen wird bemängelt (Bsp. Drehzahlerfasser), allerdings wird auch festgehalten, dass größere Veränderungen immer sofort kommuniziert werden.
- Ob die Konstruktion der Verrohrung des Kühlwassersystems, die Auslegung des Kühlers und der Ölpumpe zu den Kernkompetenzen eines Turbinenherstellers gehört, ist wohl eine Frage der Firmenphilosophie. „Ausschlaggebend für die Ausführung dieser

Tätigkeiten sind sicherlich auch die Marktpreise.“⁹⁶ Unbestritten bleibt, dass durch ein Outsourcing dieses Handlungsfeldes dringend benötigte Ressourcen in der Konstruktion frei werden würden.

- Auffassungsunterschiede des Zuständigkeitsbereichs von Projektleiter und Konstrukteur erzeugen Unmut bei der Abwicklung von Projekten. So werden Probleme mit Lieferanten oder Kunden oftmals über die Konstruktion abgewickelt. Dies erzeugt Unterbrechungen und Verzögerungen im Projektfortschritt.

Montage

MENSCH

- Gerade in der Montage ist es entscheidend, welche Erfahrung vorhanden ist und wie auf unerwartete Ereignisse (fehlendes Werkzeug etc.) reagiert wird.
- Die Teamzusammenstellung wird in der Regel so gewählt, dass harmonisierende Personen zusammen arbeiten. Gelingt dies nicht, sind unmotivierte Arbeiter die Folge.
- Fehler sind menschlich und im Fall von KW Nasswald auch eingetreten (siehe KW Nasswald).

METHODE

- Die Auswirkung der Wahl der Hydraulikleitungen sind aus Abbildung 4.40 ersichtlich.
- Die Verwendung des definierten Generatorkonzepts, wirkt sich positiv auf die Montage aus.
- Durch die Verwendung eines Fundamentrahmens (vgl. Kapitel 4.3.9) sind Zeiteinsparungen bei der Montage möglich.

UMFELD

- Witterungsbedingungen beeinflussen entscheidend, ob eine Montage möglich ist oder nicht. Trifft Letzteres ein, ist besonders im Ausland mit erhöhten Kosten zu rechnen.
- Parallele Bauarbeiten behindern die Montage und verzögern somit den Arbeitsfortschritt.
- Die benötigte Zeit für die Positionierung der Bauteile, wird von der Lage der Krafthauses und dessen Zugänglichkeit mittels Kran bestimmt.

MATERIAL

- In der Regel ist die Werkzeugkiste vollständig am Montageort. Trifft das Gegenteil ein, verzögert sich die Montage um die Zeit, die für die Nachlieferung bzw. den Erwerb dieses Werkzeug nötig ist.

MESSUNG

- Die Kostentreiberanalyse des KW Cinar 1 zeigte, dass diese Werte für zukünftige Projekte nicht als Vergleich dienen können. Dies ist rätselhaft, da die Mitarbeiter der Montage Protokolle führen.

⁹⁶ Ing. Lampl Josef, MBA.

MANAGEMENT

- Welche Philosophie bei der Verrohung verwendet wird oder welche Komponenten (Entlastungsleitung im Werk oder vor Ort) von Kössler Monteuren gefertigt werden, beeinflusst die Montagezeit und in weiterer Folge die Montagekosten entscheidend.
- Bei Projekten im Inland wird die Philosophie verfolgt, die zur Verfügung stehenden Monteure einzusetzen. Im Ausland ist jedem Projekt ein spezielles Montage-Team zugeordnet. Ersteres verursacht höherer Durchlaufzeiten bei der Montage.

Werksmontage

MENSCH

- Es ist entscheidend, ob ein Mitarbeiter bereits die Gelegenheit hatte, eine *ECO Line* Anlage zusammenzubauen und somit Lerneffekte generieren konnte.
- Wie viele Lehrlinge bei den Projekten mitgearbeitet haben, ist nicht bekannt. Dies war schon bei der Konstruktion sehr schwer ermittelbar. Bei der Werksmontage erschien eine Untersuchung dieses Sachverhaltes nicht zielführend. Es kann lt. Christoph Spordis allerdings davon ausgegangen werden, dass nicht immer nur die zwei notwendigen Mitarbeiter daran gearbeitet haben.

METHODE

- Siehe Kostentreiberanalyse KW Wanghof (vgl. Kapitel 4.6.6).
- Die Mitarbeiter gaben an, dass der ständige Wechsel zwischen Montage und Fertigung, eines der Hauptprobleme darstellt und dadurch kein Workflow zustande kommt.
- Zeitverluste kommen durch einen Monteurwechsel bei der Montage und beim Verpacken zustande, da erst ermittelt werden muss, welche Schritte bereits erledigt bzw. welche Komponenten bereits verpackt sind. In der Regel wird ein Wechsel der Mitarbeiter allerdings vermieden.

UMFELD

- Die Gespräche ergaben, dass durch Umräumarbeiten und mangelnde Verfügbarkeit der Kräne, die Werksmontage des Öfteren verzögert wird (siehe KW Wanghof).
- Vor allem vergessene Bestellungen und nicht gefertigte Bauteile stellen Ursachen der Zeitverzögerung dar.
- Der ständige Wechsel der Unterlieferanten erscheint, bei mangelnder Lieferung bzw. Korrosionsschutz, nachvollziehbar. Allerdings ist es der Werksmontage dadurch auch nicht möglich auf einen Lieferanten einzustellen. Aus den Gesprächen ging hervor, dass bis jetzt noch fast keine Lieferung perfekt war und dies auch von zukünftigen Lieferanten nicht zu erwarten sein wird.

MATERIAL

- Gerade im Bereich des Korrosionsschutzes sind häufig Ausbesserungsarbeiten durch die Mitarbeiter der Werksmontage notwendig, um eine Montage vornehmen zu können.

- Es wurde in der Werkstätte bereits kommuniziert, dass Maschinisten nicht durchführbare Fertigungsschritte auf der Fertigungszeichnung markieren sollen. Dadurch wissen die Arbeiter der Werksmontage beispielsweise, welche Löcher noch zu bohren sind. Soweit die Idee, an der Durchführung scheitert es noch und dadurch wurden schon einige Teile wieder abmontiert und mussten fertiggestellt werden.

MESSUNG

- Diese hohe Anzahl an Schnittzeichnung und die daraus folgende unterschiedliche Interpretation der Stundenaufzeichnung, aufgrund mangelnder Einschulung, ist die Hauptursachen, warum es nur sehr schwer möglich war, die Stunden der Werksmontage zu ermitteln.
- Eine Definition, was alles als Nacharbeit zu verstehen und in der Zeiterfassung als solche zu erfassen gilt, ist nicht vorhanden bzw. hat sich nicht durchgesprochen und verursacht Kostenschwankungen, die in der Nachkalkulation nicht nachvollziehbar sind. Dies erschwert die Kalkulation von Folgeprojekten für den Verkauf.
- Die Erstellung von Nacharbeitsprotokollen ist mit einer hohen Bürokratie verbunden. Dadurch muss viel Zeit aufgewendet werden und es kann davon ausgegangen werden, dass dieses Prozedere vermieden wird, wenn es irgendwie möglich ist. Die Folge sind die geringen Aufzeichnungen im Vergleich zu den bekannten Problemen.

MANAGEMENT

- Das Problem des Rückschlagventiles wurde in KW Wanghof gelöst. Diese Lösung wurde allerdings bei KW Cinar 1 nicht umgesetzt und somit verursachte dieses Problem erneut eine Zeitverzögerung. Es hat den Anschein, obwohl die Kommunikation der Werksmontage und der Konstruktion ausgezeichnet funktioniert, dass kleine Veränderungen, wie bereits bei der Konstruktion, nicht lückenlos weitergegeben werden.
- Die Nicht-Ausführung der Markierung noch zu fertigender Löcher etc., wurde des Öfteren angesprochen, aber Veränderungen stellten sich noch nicht ein.

Spiralgehäuse

MENSCH

- „Allgemeine Arbeit“ ist meiner Meinung nach viel zu undefiniert und eine unterschiedliche Interpretation ist sehr wahrscheinlich.

METHODE

- Eine Alternative zum Ausbaufansch ist nicht bekannt und daher ist dieser Kostentreiber wohl nur rein theoretischer Natur.
- Die Überlänge hätte lt. Dipl. Ing. Erwin Franz verhindert werden können und wird in der Regel auch immer vermieden.
- Die Ergebnisse zeigen, dass Maschinenwechsel vermieden werden sollten. Dies ist aufgrund der Rüstkosten auch nachvollziehbar.

UMFELD

- Schlampige Schweißarbeiten der Lieferanten bedeuten einen erhöhten Fertigungsaufwand für die Werksmontage und erhöhen, je nach Zuordnung die Kosten der Spirale oder der Werksmontage.

MESSUNG

- Nach dieser Analyse kann man feststellen, dass Buchungsfehler aufgrund mangelnder Kenntnisse der Fertigungszuordnung (Werksmontage/Spirale) entstehen.

MANAGEMENT

- Gespräche mit Mitarbeitern der Fertigung zeigten, dass es keine Einschulung zur Zeiterfassung gegeben hat und dadurch keine einheitliche Zeiterfassung zustande kommt.
- Die Stempelmöglichkeit (Strichcode) entspricht nicht immer den Arbeiten der Werksmontage etc.

Leitapparat

MENSCH

- Der Vergleich der Entlastungsleitung zeigt den Interpretationsspielraum der Buchung auf die Kostenstelle „allgemeine Arbeit“.
- Die weit überhöhten Kosten der Gewindeeinsätze, bei KW Cinar 1, sind auf ein falsches Einkaufsverhalten zurückzuführen und wurden bereits mit dem Einkauf abgeklärt.

METHODE

- Welche tatsächliche Kosteneinsparung durch die Gewindeeinsätze, bei der Werksmontage erzielt werden, konnte keine der befragten Personen einschätzen und auch nicht aus den Verrechnungen ermittelt werden. Ein Verzicht der Gewindeeinsätze durch eine genauere Fertigung ist laut Dipl. Ing Erwin Franz und Christoph Sporidis nicht zielführend, auch wenn jetzt Erfahrungswerte bei der Beschichtungsstärke vorliegen.
- Die notwendige Lagerung bei KW Cinar 1 verursacht vermutlich zusätzliche Kosten, kann aber keiner Summe zugeordnet werden.
- Ein Maschinenwechsel verursacht zusätzliche Kosten bzw. Durchlaufzeiten (siehe Spirale).

MATERIAL

- Weitere Kosten entstehen durch die Mitlieferung der Werkzeuge der Gewindeeinsätze an den Kunden.

MESSUNG

- Die Aufzeichnungen der Fertigung der Entlastungsleitungen Nasswald und Cinar 1 zeigen die unterschiedlichen Zeiterfassungen.

