

Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung des Energiebedarfs einer Pulverbeschichtung

Diplomarbeit
von
Fabian Satschen

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer

Graz, im November 2012

In Kooperation mit:

KTL **Griffner**
Pulverbeschichtung
Gesellschaft mbH.

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)

Kurzfassung

Die Griffner Pulverbeschichtung beschäftigt sich seit Jahren mit der Oberflächenveredelung mittels Pulverbeschichtung von Metallteilen unterschiedlichster Form, Zusammensetzung und Größe. Das jüngste Tätigkeitsfeld ist das Kathodische Tauchlackieren (KTL). Bei beiden Verfahren wird Energie in Form von Wärme für die Beheizung der Vorbehandlungsbecken benötigt. Der Energiebedarf wird von Blockheizkraftwerken (BHKW) und / oder Gasheizkesseln (GHK), welche unabhängig voneinander einen Pufferspeicher von 5m³ Volumen speisen gedeckt. Diese Arbeit soll nun Aufschluss geben, ab welchen Primärenergiepreisen (Strom bzw. Gas) sich die beiden Varianten rentieren.

Des Weiteren wird eine Photovoltaikanlage als alternative Energiebereitstellung, auf Investition und Wirtschaftlichkeit berechnet. Abschließend wird das Thema „Wärmerückgewinnung für die Abfallschlamm-trocknung“ behandelt. Dabei handelt es sich um die Errichtung einer Trocknungsanlage für den anfallenden Schlamm, welcher von den chemischen Vorbehandlungsbecken stammt. Diese Anlage wird ebenfalls auf Wirtschaftlichkeit und Durchführbarkeit untersucht.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, und die Frage beantworten zu können, ab welchen Primärenergiepreisen sich welche Variante der beiden Wärmequellen rentiert, wurden gezielte Wärmebedarfsmessungen durchgeführt. Diese Messungen wurden bei beiden Anlagen, KTL und Quertaktanlage angesetzt.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Betriebskosten und der Energiebereitstellung konnte so der optimale Betriebspunkt in Bezug auf Primärenergiekosten gefunden werden.

Mit Berechnungen von Amortisationsdauer, interner Zinsfuß, Kapitalwert und Kostenvergleich verschiedener Photovoltaikanlagen-Anbieter, konnte das effektivste Investitionsprojekt eruiert werden.

Dieselbe Vorgehensweise wurde auch zum Erreichen des dritten Zieles, der Abfallschlamm-trocknung, gewählt.

Aufgrund genauer Erhebungen bezüglich des Wärmebedarfes und dessen verbundenen Kosten, ist es nun dem Unternehmen möglich den bestmöglichen Einsatz ihrer Wärmeerzeuger (BHKW / GHK) zu bestimmen. Eine graphische Auswertung der Ergebnisse gibt dem Unternehmen zusätzlich schnelle Informationen in Hinsicht auf Entscheidungen beim Primärenergie-Einkauf.

Mittels geeigneter Investitionsrechnungsmethoden konnte das effektivste Photovoltaikanlagen-Projekt ausgewählt und die Detailplanung beantragt werden.

Bei der Berechnung des dritten Zieles, der Abfallschlamm-trocknung, überstiegen die Investitionssummen die Vorstellungen seitens der Unternehmung dieses Projekt zu realisieren. Auch die Berechnung bewies, dass die momentane Lohntrocknung durch eine Fremdfirma kostengünstiger und wirtschaftlicher ist, und somit für die Zukunft aufrecht bleibt.

Abstract

The powder coating company Griffner Pulverbeschichtung has best experience in powder coating of metal parts of various shapes, composition and size since years. The recent activity of the company is the cataphoretic dipcoating process. In both methods is needed energy in the form of heat for heating the pre-treatment dip basins. There are two possibilities of heating sources in the company available. Communal heating / power station and gas fired boilers feed a hot water storage tank with a capacity of 5m³. This work should provide information about the profitability of the two heating variants, depending on the primary costs of gas and electricity. Furthermore, a photovoltaic system as an alternative energy supply should be calculated on investment and profitability. Finally, also the issue of "heat recovery for sludge drying" should be investigated on cost effectiveness and feasibility.

In order to obtain informative results and answer the question which of the two heating systems is more economic – depending on the primary energy costs measurements of heat consumption have been realized. These measurements were applied in both processes, powder coating and cataphoretic dipcoating. In consideration of the operating costs and energy supply the optimum operating point in terms of primary energy costs should be found. Using calculations of payback period, internal rate of return, capital value and cost comparison of different photovoltaic systems provider, should help to identify the most effective investment project. This method was also selected to achieve the third objective – heat recovery for sludge drying. Because of best surveys, concerning the heat requirement and its associated costs is it now possible for the company to determine the best point of both heat sources (Communal heating / power station and gas fired boilers). A graphical analysis of the results gives the company additional information for rapid decisions in primary energy procurement. By using investment appraisal methods the most efficient photovoltaic project could be found and the detail planning will be applied. In the calculation of the third objective - the waste sludge drying exceeded the amounts of investment to realize the vision of the company this project. The calculations showed that the current sludge drying by a foreign firm is more economic and inexpensive. So this way of drying the sludge is remaining for the future.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei sämtlichen Mitarbeitern der Griffner Pulverbeschichtung bedanken. Ein besonderer Dank gilt dabei den Betreuern Siegfried Pototschnik, Ikanovic Rahman, und dem Geschäftsführer Peter Milavec. Die prompte Unterstützung ermöglichte erst den Abschluss dieser Arbeit.

Ebenfalls möchte ich mich auch bei der Betreuung seitens der TUG bei Dipl. Ing Andreas Flanschger, und Dipl. Ing. Jochen Kerschenbauer, die mich stets gut beraten haben bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Familie für die langjährige Unterstützung, und Geduld.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Ziele.....	4
1.2.1	Rentabilität Blockheizkraftwerk vs. Gasheizkessel.....	4
1.2.2	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung Photovoltaikanlage.....	4
1.2.3	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung.....	4
1.3	Aufgabenstellung.....	5
1.4	Untersuchungsbereich.....	6
1.5	Vorgehensweise.....	6
1.5.1	Rentabilität Blockheizkraftwerk vs. Gasheizkessel.....	6
1.5.2	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung Photovoltaikanlage.....	6
1.5.3	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung.....	6
2	Theoretische Grundlagen der Arbeit	7
2.1	Einführung in die Oberflächentechnik.....	7
2.1.1	Oberflächentechnik der Vorzeit.....	7
2.1.2	Oberflächentechnik im 20. Jahrhundert.....	8
2.1.3	Methoden der Oberflächentechnik.....	8
2.1.3.1	Elektrochemischer Korrosionsschutz.....	9
2.1.3.2	Beschichtung.....	14
2.1.3.3	Pulverbeschichten.....	18
2.1.3.4	Kathodisches Tauchlackieren.....	21
2.1.4	Anwendungsgebiete der Oberflächenveredelung.....	22
2.1.4.1	Automotive und Landmaschinentechnik.....	22
2.1.4.2	Bau- und Haustechnik.....	23
2.1.4.3	Straßen- und Tunnelbau.....	24
2.2	Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung Quertaktanlage Pulverbeschichtung.....	25
2.2.1	Chemische Vorbehandlung.....	25
2.2.1.1	Beizentfetten 1.....	27
2.2.1.2	Beizentfetten 2.....	27
2.2.1.3	Spüle 1.....	27
2.2.1.4	Spüle 2.....	27

2.2.1.5	Spüle 3	27
2.2.1.6	Eisenphosphatierung	27
2.2.1.7	Spüle 4 (für Fe-Phosphatierung)	28
2.2.1.8	Chromfreie Konversion	28
2.2.2	Haftwassertrockner	28
2.2.3	Pulverbeschichtung Hand und Automatik	28
2.2.4	Pulvergelierofen	29
2.3	Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung Kathodische Tauchlackierung.....	30
2.3.1	Chemische Vorbehandlung	30
2.3.1.1	Tauchentfetten.....	31
2.3.1.2	Spüle 1	31
2.3.1.3	Spüle 2	31
2.3.1.4	Beizen	32
2.3.1.5	Spüle 3	32
2.3.1.6	Spüle 4	32
2.3.1.7	Aktivierung.....	32
2.3.1.8	Zinkphosphatieren	32
2.3.1.9	Spüle 5	32
2.3.1.10	Spüle 6	32
2.3.1.11	VE-Spüle	33
2.3.2	Tauchlackierung.....	33
2.3.2.1	Tauchlackbecken.....	33
2.3.2.2	UF-Spüle 1	33
2.3.2.3	UF-Spüle 2	34
2.3.3	KTL Einbrennofen und thermische Nachverbrennung	34
2.4	Energiebezug der Griffner Pulverbeschichtung	35
2.4.1	Gasheizkessel.....	35
2.4.2	Blockheizkraftwerk	35
2.5	Photovoltaikanlage.....	37
2.5.1	Funktionsweise	37
2.5.2	Photovoltaikzellenarten	39
2.5.2.1	Monokristalline Zellen	39

2.5.2.2	Polykristalline Zellen	40
2.5.2.3	Amorphe Zellen	40
2.5.3	Leistung	41
2.5.4	Ausrichtung der Photovoltaikzellen.....	41
2.5.5	Wechselrichter	41
2.5.6	Strom-Einspeiseform und Vergütung.....	42
2.6	Wärmerückgewinnung für die Abfallschlamm-trocknung	43
2.6.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	43
2.6.2	Prinzip der Trocknung	43
2.7	Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung.....	45
2.7.1.1	Kalkulationszinssatz	45
2.7.2	Kapitalwertmethode und dessen Grundgedanke	46
2.7.2.1	Aufzinsen einer Zahlung	47
2.7.2.2	Abzinsen einer Zahlung	47
2.7.2.3	Kapitalwert bei nicht konstanten Jahreszahlungen.....	48
2.7.2.4	Kriterium des Kapitalwertes	49
2.7.3	Interne Zinssatz – Methode	50
2.7.3.1	Kriterium des internen Zinssatzes.....	50
2.7.3.2	Berechnung des internen Zinssatzes.....	50
2.7.4	Amortisationsrechnung.....	52
2.7.4.1	Dynamische Amortisation	52
2.7.4.2	Statische Amortisation	52
2.7.4.3	Amortisationskriterium	52
2.7.5	Kostenvergleichsrechnung	53
2.7.5.1	Alternativenvergleich und Kriterium	53
2.7.5.2	Beschränktheit der Kostenvergleichsrechnung	53
3	Praktische Problemlösung.....	54
3.1	Ermittlung des Energiebedarfes der Griffner Pulverbeschichtung.....	54
3.1.1	Messung Quertaktanlage	54
3.1.2	Messung KTL-Anlage.....	55
3.1.3	Berechnung des Gesamtwärmebedarfes	56
3.2	Berechnung der Betriebskosten	59
3.2.1	Betriebskosten Blockheizkraftwerk	59

3.2.2	Betriebskosten Gasheizkessel	60
3.3	Rentabilitätsrechnung BHKW vs. GHK.....	61
3.3.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	61
3.3.2	Rechnerische Lösung.....	61
3.3.3	Graphische Lösung	62
3.3.4	Ergebnisse und Interpretation	64
3.4	Kostendefinition der Berechnungen.....	65
3.4.1.1	Wartungskosten.....	65
3.4.1.2	Reparaturkosten	65
3.4.1.3	Restwertberechnung von BHKW	65
3.5	Berechnung des Kapitalwertes von BHKW 85.....	67
3.6	Berechnung der Amortisationsdauer des BHKW 85	69
3.6.1	Statische Amortisationsdauer	69
3.6.2	Dynamische Amortisationsdauer	70
3.6.3	Ergebnis und Interpretation	71
3.7	Berechnung der Einnahmeüberschüsse der Photovoltaikanlagen	72
3.7.1	Vorlauftätigkeiten	72
3.7.2	Kostendefinition der Berechnung.....	73
3.7.2.1	Einspeisevergütung	73
3.7.2.2	Reparaturkosten	74
3.7.2.3	Wartungskosten.....	74
3.7.2.4	Versicherungskosten	75
3.7.2.5	Restwert der PV-Anlage	75
3.7.3	Berechnung der Einnahmeüberschüsse für Investition A	75
3.8	Berechnung des Kapitalwertes von Investition A	76
3.9	Berechnung des internen Zinssatzes von Investition A.....	77
3.10	Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer von Angebot A	79
3.11	Auswahl der effektivsten Investition.....	81
3.11.1	Statische Auswahlkriterien	81
3.11.1.1	Kostenvergleich.....	81
3.11.1.2	Einspeisevergütung	81
3.11.2	Dynamische Auswahlkriterien	82
3.11.2.1	Kapitalwertkriterium	82

3.11.2.2	Interne Zinssatzmethode-Kriterium.....	83
3.11.2.3	Dynamische Amortisationsdauer-Kriterium.....	84
3.11.3	Zusammenfassung und Interpretation der Auswahl.....	84
3.12	Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung	85
3.12.1	Kostendefinition.....	85
3.12.2	Berechnung der statischen Amortisationsdauer	85
3.12.3	Ergebnisse und Interpretation	86
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	87
4.1.1	Energiebezug BHKW vs. Gasheizkessel.....	87
4.1.2	Errichtung einer Photovoltaikanlage	87
4.1.3	Wärmerückgewinnung für die Abfallschlamm-trocknung	88
4.1.4	Persönliches Fazit.....	88
	Literaturverzeichnis	89
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis	95
	Abkürzungsverzeichnis	96
	Anhang.....	97

1 Einleitung

In diesem Kapitel wird die Ausgangssituation erläutert und die von der Unternehmung gesetzten Ziele werden beschrieben. Des Weiteren werden Vorgehensweisen die zum Erreichen der Ziele notwendig sind, angegeben. Bei den Erklärungen der Prozessbeschreibungen der Verfahren wird auf das Kapitel: Theoretische Grundlagen der Arbeit verwiesen.

1.1 Ausgangssituation

Die Griffner Pulverbeschichtung beschäftigt sich seit Jahren mit der Oberflächenveredelung von Metallteilen unterschiedlichster Form und Größe. Das jüngste Tätigkeitsfeld ist das Kathodische Tauchlackieren (KTL).

Bei der KTL-Lackierung handelt es sich um eine organische Beschichtung in Form einer Elektrotauchlackierung (ETL). Die vereinfachten Prozessschritte sind in Abbildung 1 ersichtlich

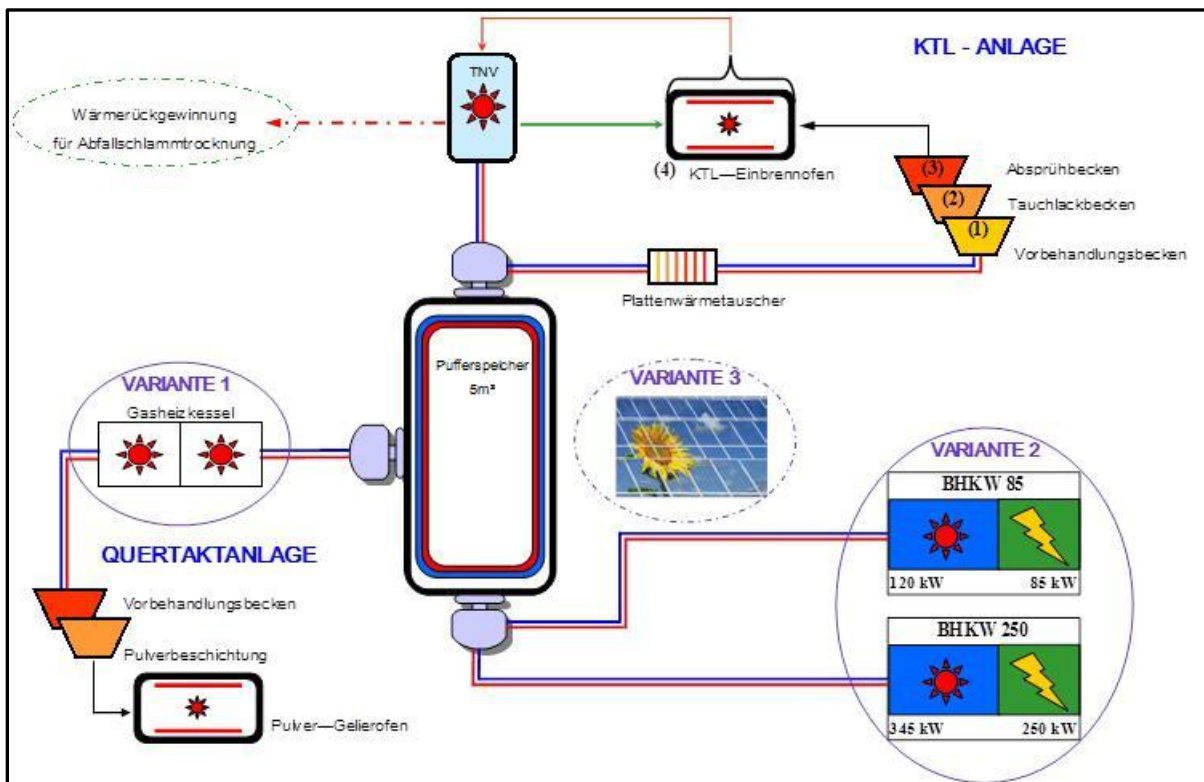


Abbildung 1: Energieschema der Unternehmung

KTL-Anlage

Vor dem Lackierprozess werden die Werkteile alkalisch gereinigt und mit einer Zinkphosphatierung in den Vorbehandlungsbecken (1) vorbehandelt. Im unmittelbaren Anschluss an die Vorbehandlung wird das Werkstück in das Tauchlackbecken (2) gefahren. Das Werkstück wird innerhalb des Tauchbeckens als Kathode (Minuspol) geschaltet. Durch die Einwirkung des Stromflusses (von der Anode zur Kathode) kommt es infolge eines chemischen Umsetzungsprozesses zur Lackabscheidung auf dem Werkstück. Das Werkstück ist nun lackiert. Nach der Beschichtung werden die überschüssigen Lackmaterialien in einem mehrstufigen Abspülprozess (3) abgewaschen.

Zuletzt wird der Lack bei einer Temperatur von ca. 180°-200° C im KTL Einbrennofen (4) eingebrannt.

Bei diesem Verfahren werden insgesamt elf Vorbehandlungsbecken benötigt. Davon sind drei s.g. „Aktive Becken“, d.h. die darin enthaltenen chemiekalischen Lösungen werden beheizt und besitzen ein ständiges Temperatur-Niveau von 52°C – 55°C.

Für die Aufbringung der benötigten Energien stehen momentan zwei Varianten zu Verfügung. Im Zuge dieser Arbeit soll auch eine dritte Variante in Betracht gezogen werden.

Quertaktanlage

Bei der im Schema eingezeichneten Quertaktanlage handelt es sich um eine chemische Sprühvorbehandlung für Werkstücke. Bei dieser Anlage werden vorwiegend Aluminiumteile vorbehandelt und anschließend pulverbeschichtet. Dieser Prozess muss verfahrenstechnisch völlig unabhängig zur KTL - Tauchlackierung betrachtet werden. Die Energie (Wärme), welche wiederum für die Vorbehandlungsbecken der Quertaktanlage benötigt wird, wird jedoch von denselben Varianten bezogen. Somit muss auch die Quertaktanlage in die Berechnung und Wärmebilanz mit einbezogen werden.

Diese Anlage beinhaltet vier „Aktive Becken“, welche ebenfalls ein konstantes Temperatur-Niveau von 35°C – 40°C aufweisen.

Variante 1: Zwei Gasheizkessel

In dieser Variante wird die Wärme zur Beckenbeheizung von zwei Gasöfen aufgebracht. Das Heizungsprinzip gleicht einer herkömmlichen Gas Gebäudeheizung. Die zwei Gasöfen erhitzen das Wärmeüberträgermedium (Wasser). Die erzeugte Wärme wird über den Wärmetauscher in den Pufferspeicher eingebracht und dann über weitere Wärmetauscher wieder entnommen.

Die zu beheizenden Becken sind bei der Quertaktanlage mit Heizspiralen ausgestattet, und werden durch den vorhin erwähnten Pufferspeicher über eine Ringleitung gespeist. Des Weiteren besteht auch die Möglichkeit die Becken der Quertaktanlage direkt, ohne Pufferspeicher zu beheizen.

Die Beheizung der KTL-Vorbehandlungsbecken erfolgt durch die Entnahme des Wassers aus dem Pufferspeicher. Eine weitere Ringleitung speist die Becken und die Temperatureinstellung der zu beheizenden Becken erfolgt über Plattenwärmetauscher. Die Primärenergie, mit denen die Gasheizkessel betrieben werden, ist Flüssiggas (Propan).

Variante 2: Blockheizkraftwerke (BHKW) mit jeweils 85kW und 250kW an thermischer Leistung

Ein Blockheizkraftwerk ist eine modular aufgebaute Anlage zur Gewinnung elektrischer Energie und Wärme. Kraft-Wärme-Kopplung ist das Grundprinzip solcher Energiequellen. Als Antrieb für die Stromerzeugung kommen in diesem Fall Flüssiggas (Propan) betriebene Verbrennungskraftmotoren zum Einsatz. Der höhere Gesamtnutzungsgrad gegenüber der Variante 1 (Gasofen direkt beheizt) resultiert daraus, dass die Abwärme von der Stromerzeugung für die Beckenbeheizung beiträgt, und der erzeugte Strom betriebsintern genutzt wird, und so kein Bezug vom Stromanbieter stattfindet.

Es stellt sich nun die Frage, ab welchem Strompreis bzw. Gaspreis sich der Betrieb des BHKW 85 gegenüber den Gasheizkesseln nicht mehr rentiert. Aufgrund der hohen Leistungen des BHKW 250 liegt das Einsatzgebiet vorwiegend bei der Notstromversorgung, und der unterstützenden Wirkung beim Hochfahren der Vorbehandlungsbecken aus dem Standby.

Thermische Nachverbrennung

Unter dem Begriff Thermische Nachverbrennung (TNV) versteht man in erster Linie eine Luftreinigung. Zum Abbau der organischen Inhaltsstoffe (u.a. Lösungsmittel), die im KTL – Einbrennofen abdampfen, wird eine TNV nachgeschaltet. Die Abluft des Ofens wird der TNV, welche mit Flüssiggas befeuert wird, zugeführt. Durch die Verbrennung und hohen Temperaturen wird eine Reinigung der Abluft gewährleistet.

Zur Nutzung der Abwärme ist die TNV mit Wärmetauschern ausgeführt. Dadurch kann vorgewärmte Luft dem Einbrennofen wieder zugeführt werden.¹

¹ Milavec, P. (2011), Gespräch

1.2 Ziele

In den folgenden Punkten werden die drei Ziele, die in der Arbeit behandelt werden definiert.

1.2.1 Rentabilität Blockheizkraftwerk vs. Gasheizkessel

Das erste Ziel befasst sich hauptsächlich mit der Rentabilität der bereits bestehenden Energiequellen (Variante 1 und Variante 2). Es soll geklärt werden, welche Variante abhängig von den Primärenergiepreisen (Gas und Strom) profitabler ist. Da die Strombezugspreise auf einen längeren Zeitabschnitt mit dem Energielieferanten abgeschlossen werden, stellt sich die zusätzliche Frage, ab welchem Strompreis sich der Betrieb des Blockheizkraftwerkes 85kW nicht mehr rentiert.

1.2.2 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung Photovoltaikanlage

Da es in Zukunft immer wichtiger wird auf erneuerbare Energie zurückzugreifen, soll dieser Punkt unter der Variante 3, der Energiebereitstellung analysiert werden. Verschiedene Konzepte, Techniken und Ausführungen sollen zur Stromabdeckung des Betriebes beleuchtet werden. Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden zur Entscheidung des effektivsten Investitionsprojektes herangezogen und definieren und bilden dadurch das zweite Ziel der Arbeit.

1.2.3 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallsschlamm-trocknung

Die Abwärme der TNV soll in diesem Fall auch für die Trocknung des Abfallsschlammes, welcher bei den Vorbehandlungsbecken anfällt genutzt werden. Verschiedene Ausführungsformen, Durchführbarkeit und eine Investitionsrechnung sollen durchgeführt werden.

1.3 Aufgabenstellung

ad Ziel 1.) Rentabilität Blockheizkraftwerk vs. Gasheizkessel

- Erfassen des Energiebedarfes, der zum Betrieb der Anlagen benötigt wird
- Ermitteln der Abdeckung mit Variante 1 bzw. Variante 2 und die damit verbundenen Betriebskosten
- Einbringen / Erfassen der Kosten von Flüssiggas und Strombezugskosten
- Berechnen des optimalen Einsatzpunktes in Abhängigkeit von Gas / Strompreis für BHKW und GHK

ad Ziel 2.) Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung Photovoltaikanlage

- Einholen von verschiedenen Konzepten / Angeboten
- Bewerten, Vergleichen und Analysieren der Konzepte / Angebote
- Durchführung der Investitionsrechnung
- Auswahl vom effektivsten Konzept bzw. Investitionsprojekt

ad Ziel 3.) Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung

- Vergleichen und Bewerten der einzelnen Methoden zur Schlamm-trocknung
- Auswahl des passenden Konzeptes bzw. Verfahrens
- Einholen von Angeboten
- Investitionsrechnung

1.4 Untersuchungsbereich

Der Untersuchungsbereich bezieht sich auf die Energiebereitstellung, die für die Verfahren des Korrosionsschutzes von Nöten ist. Des Weiteren werden auch Kostenpunkte wie Primärenergiebezugskosten und Verbrauch der Energieerzeugung genauer untersucht.

1.5 Vorgehensweise

Es folgen kurze Erläuterungen wie bei den einzelnen Zielen vorgegangen worden ist, um dessen Erfüllungen zu erreichen.

1.5.1 Rentabilität Blockheizkraftwerk vs. Gasheizkessel

Um einen Überblick über den Energiebezug des Unternehmens zu bekommen, befasste ich mich erstmals mit den gesamten Anlagen und Fertigungsprozessen. Es wurden genaue Aufzeichnungen bezüglich Gasverbrauch und Strombezug geführt. Wärmebedarfsmessungen, welche durch die Firma Flexim GmbH an beiden Anlagen Quertakt / Pulverbeschichtung und KTL durchgeführt wurden, gaben einen genaueren Aufschluss über den Wärmeverbrauch. Mit den erfassten Daten vom Verbrauch und die damit verbundenen Kosten konnte die Rentabilität der Energiequellen berechnet werden.

1.5.2 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung Photovoltaikanlage

Die Vermessung der Hallendächer war vonnöten, um den einzelnen Photovoltaik-Anbietern eine Projektgrundlage bieten zu können. Störobjekte (Kamine, Lichtkuppel, etc.) wurden eingemessen, um eine naturgetreue Ertragsrechnung der PV Anlage zu gewährleisten. Nach der Angebotsstellung von insgesamt drei Anbietern, wurden diese betriebswirtschaftlich berechnet, und mittels Kriterien wie: interner Zinsfuß, dynamische Amortisationsdauer, Kapitalwert und Kostenvergleich, das effektivste Projekt ausgewählt.

1.5.3 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung

Mit dem Start der Arbeit wurde das Thema der Abfallschlamm-trocknung zum Neuland der Unternehmung, denn die bisherige Trocknung, durchgeführt durch eine Fremdfirma sollte nun betriebsintern erfolgen. Vorerst mussten mittels Anlagenführer und Chemiker, die genaue Zusammensetzung des anfallenden Schlammes erhoben werden. Spezifische Angebote von Trocknungsanlagen-Herstellern wurden auf Durchführbarkeit und Realisierung überprüft. Investitions- und Wirtschaftlichkeitsaspekte wurden ebenfalls beleuchtet.

2 Theoretische Grundlagen der Arbeit

Im folgenden Kapitel wird das Hintergrundwissen, welches bei der Arbeit benötigt wurde, genauer erörtert. Dabei werden nicht nur technische Grundlagen und Verfahrensgrundlagen beschrieben, sondern auch das wirtschaftliche Grundwissen.

2.1 Einführung in die Oberflächentechnik

Dieses Kapitel soll dem Leser die Oberflächentechnik näher bringen. Zeitgeschichtliche Entwicklungen, Grundbegriffe und verschiedensten Verfahren des Korrosionsschutzes werden behandelt. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der Einführung in die Oberflächentechnik nur um eine Vermittlung des Basiswissens handelt, um die späteren Handlungspunkte und Prozesse nachvollziehen zu können.

2.1.1 Oberflächentechnik der Vorzeit

Schon vor ca. 30.000 Jahren verwendeten Menschen Farben. Mit Mischungen aus Fett, Ruß, Erde und anderwärtigen natürlichen Stoffen bemalten sie sich selbst, Gegenstände und Höhlen. In den Hochkulturen der Ägypter, Römer und Griechen wurden Malkünste zur Verzierung und Kennzeichnung von Werkzeugen, Gefäßen und Bauwerken verwendet. Als Rohstoffe kamen dabei Bienenwachs, Hautleim, div. Mineralien, Holzkohle und Pflanzengummi zum Einsatz.

Ab etwa 2000 v. Chr. entwickelte sich in China im Gegensatz zu den bisherigen besprochenen farbgebenden und dekorativen Verwendungen von Beschichtungsstoffen eine Lackierkunst, die glänzende und glatte Oberflächen zur Folge hatte². Das Wort „Lack“ leitet sich aus dem altindischen Wort *Laksa*, zu Deutsch hunderttausend, ab und bezieht sich auf die Herstellung des Lackes, ein von speziellen Schildläusen („Lackschildläusen“) aus dem Saft eines indischen Feigenbaumes erzeugten Harzes.³ Neben den dekorativen Wirkungen des Lackes, erfüllte es auch schon eine Schutzfunktion

Ein Verfahren zur Herstellung eines Lackes durch Verkochen von Leinöl und aufgeschmolzenem Bernstein beschrieb im Jahre 1100 n. Chr. der deutsche Goldschmied und Mönch „Roger von Helmarshausen“. Durch ständiges Weiterentwickeln der „Lacksiederein“ gab es im 17.Jh. eine Vielzahl an Rezepturen der Lackherstellung unterschiedlichster Zusammensetzungen von Leinölen, Naturharzen etc.

Die industrielle Revolution im 18.Jh. verlangte einen steigenden Bedarf an Anstrichstoffen. hervorgerufen durch die Mehrproduktion an leicht korrosiven Eisenprodukten und Bauwerken. Dadurch entstanden aus den früher klein gehaltenen Lackierwerkstätten Lackierfabriken. Bis auf wenige Ausnahmen war noch im 19.Jh. der Großteil der Lackrohstoffe aus natürlicher Herkunft. Ein großer Nachteil dieser Produkte war die

² Vgl. Brock, T.; Grotklaes, M.; Mischke, P. (1998a) S.11

³ Vgl. Nanetti, P. (2009) S11

langsame Trocknung. So dauerte das Lackieren einer Kutsche bzw. Automobiles mittels Pinsel oder Walze mehrere Wochen.⁴

2.1.2 Oberflächentechnik im 20. Jahrhundert

Die Wende der Lackiertechnik brachte die Einführung des Fließbandes Anfang der Zwanzigerjahre durch Henry Ford, der 1913 die Automobile am Fließband fertigen ließ. Durch diese Neuerung der Produktion wurden die bisher langsam trocknenden Öllacke durch schnell trocknende Nitrolacke ersetzt. Spritzpistolen, mit denen ein gleichmäßiges Auftragen des Lackes erfolgte, ersetzten die Applizierung mittels Pinsel oder Walze. Zu diesem Zeitpunkt war niemandem bewusst, dass mit dieser einführenden Technik auch enorme belastende Probleme geschaffen wurden. Ein schlechter Materialauftragswirkungsgrad von weniger als 50% und Lösungsmittelanteile von über 80% führten zu immensen Farbabfällen und organischen Emissionen der Umwelt.

Beginnend mit den 60er Jahren entwickelte sich eine Forschungsrichtung mit einem gemeinsamen Ziel: Die Entwicklung von abfall- und lösungsmittelarmen Lackiertechniken.

Wasserlacke und abfallfreie Pulverlacke in Verbindung von neuen Verarbeitungsmethoden sind das Resultat dieser Forschungsarbeit. Elektrotauchen, Walz und Gießauftrag und das Applizieren von festen Pulverlacken sind wohl die nennenswerten Verfahren und Innovationen der letzten 50 Jahre.⁵

2.1.3 Methoden der Oberflächentechnik

Dieses Kapitel gibt einen groben Überblick über die heutzutage verwendeten Verfahren der Oberflächentechnik, um einen effektiven Korrosionsschutz zu gewährleisten. Da sich Kapitel 3 und die Griffner Pulverbeschichtung ausschließlich mit den Verfahren Kathodische Tauchlackierung und Pulverbeschichtung beschäftigt, wird auf diese Verfahren genauer eingegangen. Die weiteren Methoden dienen zur Vervollständigung und werden nicht genauer beschrieben.

⁴ Vgl. Brock, T.; Grotklaes, M.; Mischke, P. (1998b), S.11

⁵ Vgl. Goldschmidt, A.; Streitberger, H.J. (2002), S.21 f.

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, unterteilen sich die Möglichkeiten des Korrosionsschutzes in zwei Hauptgruppen (Aktiver und Passiver Korrosionsschutz). Hier nicht dargestellt und weiter behandelt zählen die Punkte: Werkstoffwahl und Veränderung des Mediums ebenfalls zu den Methoden des Korrosionsschutzes.⁶

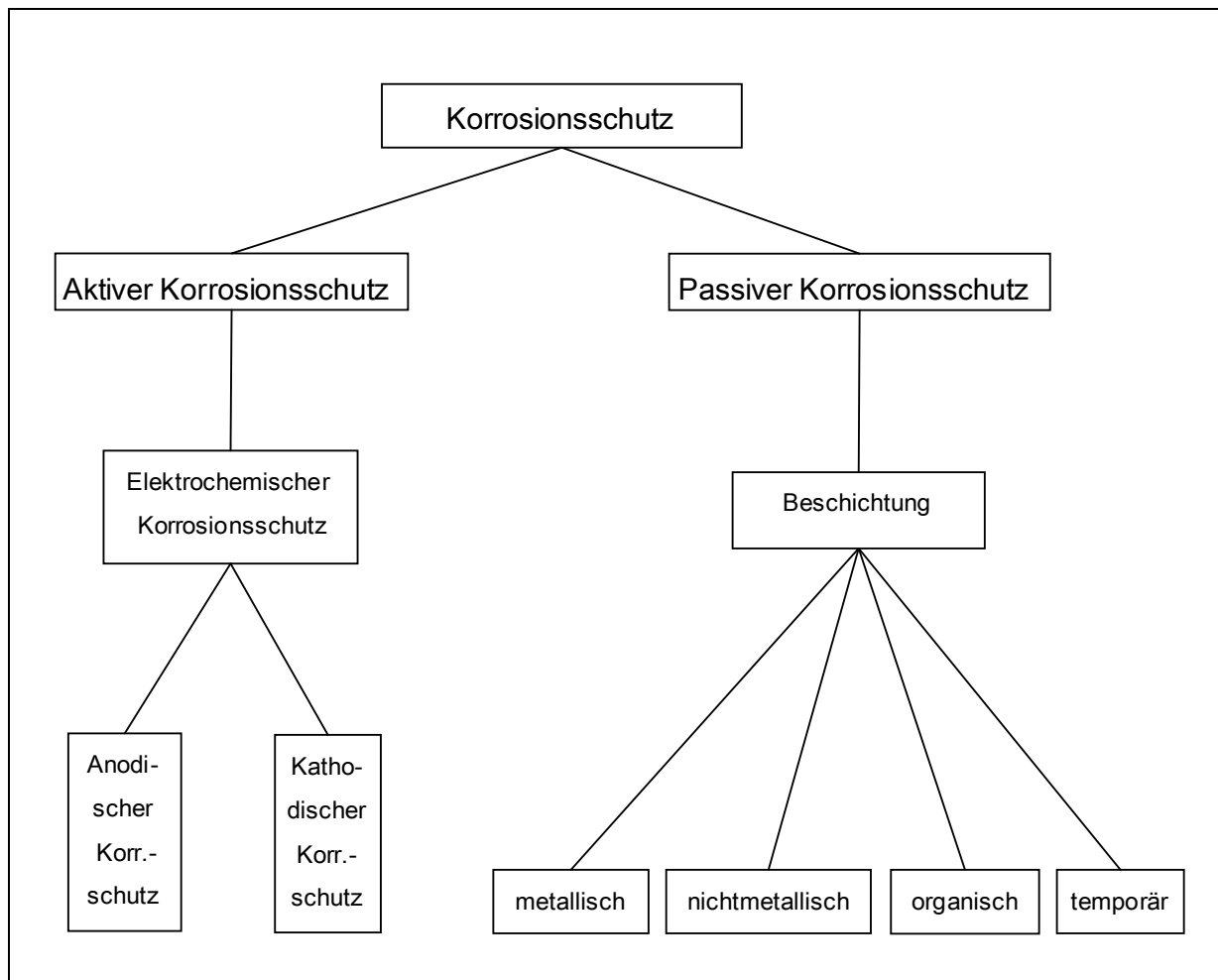


Abbildung 2: Möglichkeiten des Korrosionsschutzes⁷

Elektrochemischer Korrosionsschutz

Die Haupteinsatzgebiete des elektrochemischen Korrosionsschutzes liegen vorwiegend bei Objekten, die unter Wasser oder unter der Erdoberfläche liegen. Somit werden Metallrohrleitungen, Schiffsrümpfe, Metalltankbehälter, Heizkessel etc. effektiv gegen Korrosion geschützt.

⁶ Vgl Bette, U.; Vesper, W. (2005a) S.43

⁷ Vgl Bette, U.; Vesper, W. (2005b) S.43

Anodischer Korrosionsschutz

Der anodische Korrosionsschutz ist ein Verfahren, welches die Passivität der Metalle ausnutzt und so den Korrosionsschutz herstellt. Man spricht von Passivität, wenn sich das Metall in einer korrosionsfördernden Umgebung nicht oder nur sehr langsam korrodiert. Das wohl bekannteste Beispiel an Passivität stellt der Werkstoff Aluminium dar. In der freien Umgebung bildet sich bei diesem Metall eine schützende Aluminiumoxid- Schicht, welche vor Korrosion und vor dem Auflösen schützt.⁸

Werden solche Metalle durch elektrochemische Vorgänge aus dem passiven Bereich gehoben, kommt es zur Korrosion. Der anodische Korrosionsschutz polarisiert mit Hilfe von Potentiostaten das zu schützende Objekt und gewährleistet, dass der Passivbereich (siehe Abbildung 3) nicht verlassen wird.⁹ Potentiostaten werden am häufigsten in der Elektrochemie verwendet. Darunter kann man sich ein Gerät mit zahlreichen Regelkreisen und Operationsverstärkern vorstellen, welches zur Gleichspannungsquelle dient. Auf die genaue Funktionsweise und Aufbau dieser Geräte wird nicht näher eingegangen.

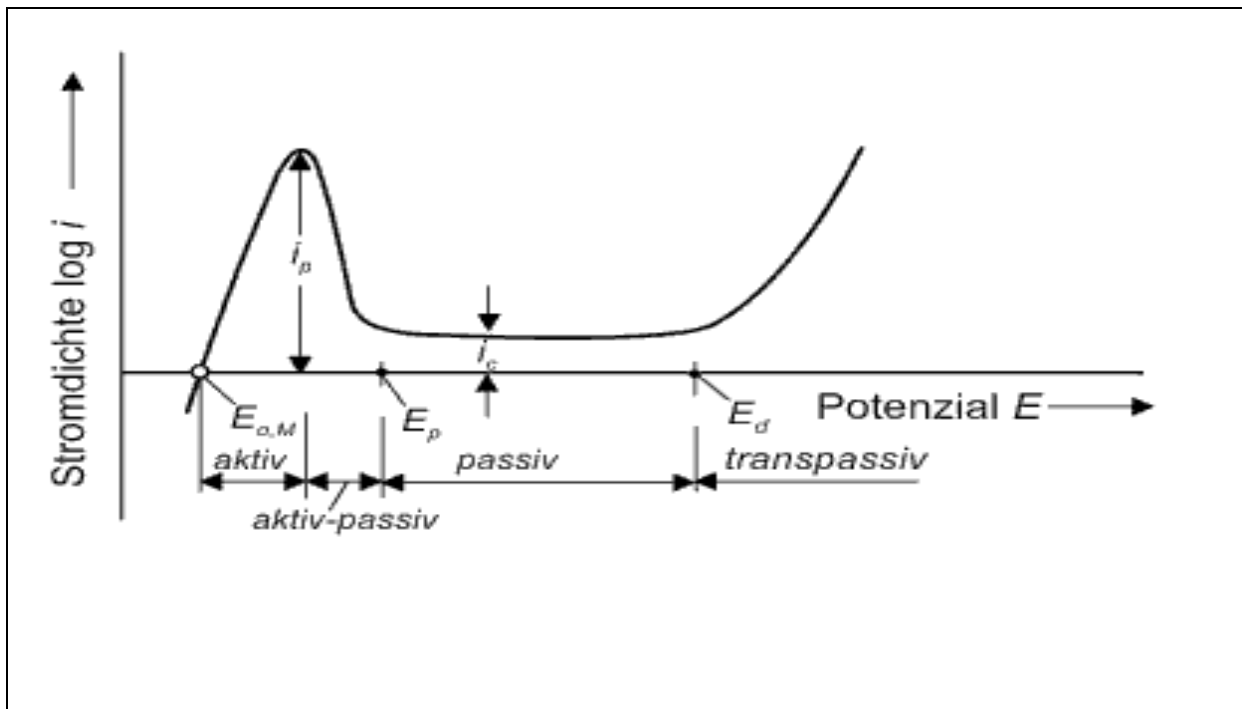


Abbildung 3: Stromdichte Potenzial Kurve passivierbarer Metalle¹⁰

Das Eloxieren bzw. die anodische Oxidation von Aluminium nutzt ebenfalls die elektrochemische Passivierung und zählt wohl zu den bekanntesten Methoden des Korrosionsschutzes von Aluminium. Das Bauteil wird als Anode ausgeführt und in ein Schwefelsäure-Elektrolysebecken getaucht. Auf dem Bauteil bildet sich eine harte korrosionsbeständige Oxidschicht aus Al_2O_3 ¹¹

⁸ Vgl. Hild, S. (2006) S.16

⁹ Vgl. Wossog, G. (2008) S.744

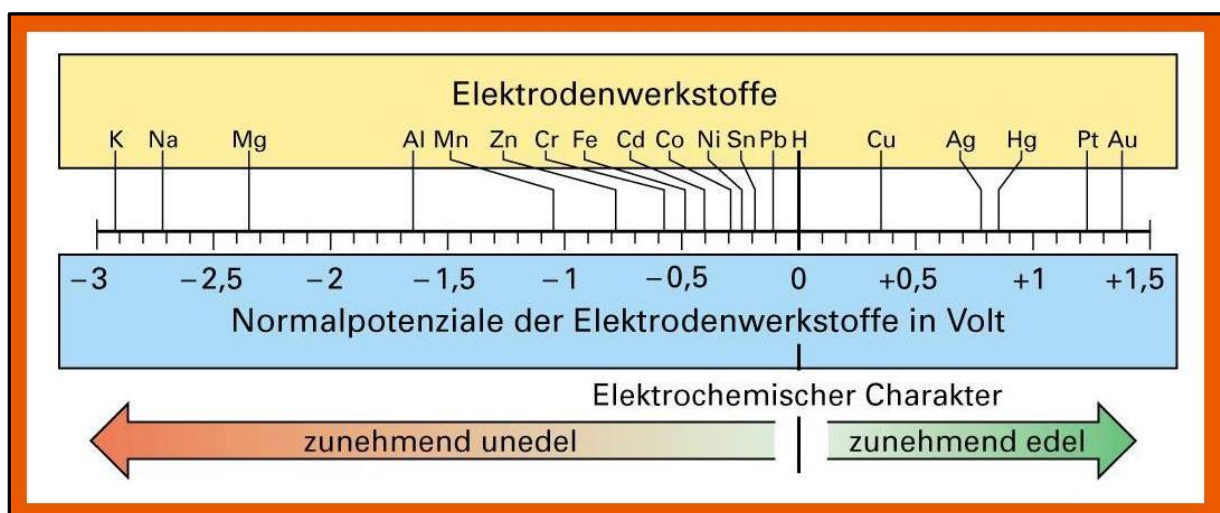
¹⁰ Bergmann, W. (2008) S.217

¹¹ Vgl. Dobler, H.D et al. (2003a) S.296

Abbildung 4: Eloxierendes Aluminium¹²

Kathodischer Korrosionsschutz

Das Grundprinzip des Kathodischen Korrosionsschutzes basiert auf der elektrochemischen Spannungsreihe der Metalle. Aus dieser Spannungsreihe lässt sich das Redoxverhalten ableiten. Des Weiteren ergibt sich eine übersichtliche Darstellung von unedlen und edlen Metallen.

Abbildung 5: Elektrochemische Spannungsreihe¹³

Bei einer Paarung von zwei verschiedenen Metallen (Elektroden) und etwas Flüssigkeit, welche als Elektrolyt dient, entsteht ein galvanisches Element, bei dem sich das unedlere

¹² <http://www.sr71.dyndns.info> (07.08.2012)

¹³ <http://www.der-andreas.de> (07.08.2012)

Metall auflöst. Zum Beispiel bei der Paarung von Zn/Cu – löst sich das Zink auf, da es unedler als Kupfer ist.¹⁴

Kathodischer Korrosionsschutz mit Opferanode

Beim Kathodischen Korrosionsschutz (KKS) mit Opferanode wird das zu schützende Objekt mit einem unedleren Metall leitend verbunden. Dabei löst sich die Opferanode, welche unedler ist, auf und schützt somit das Objekt, welches als Kathode geschaltet ist. Vorwiegend kommt dieser Korrosionsschutz in der Schifffahrt zum Einsatz.

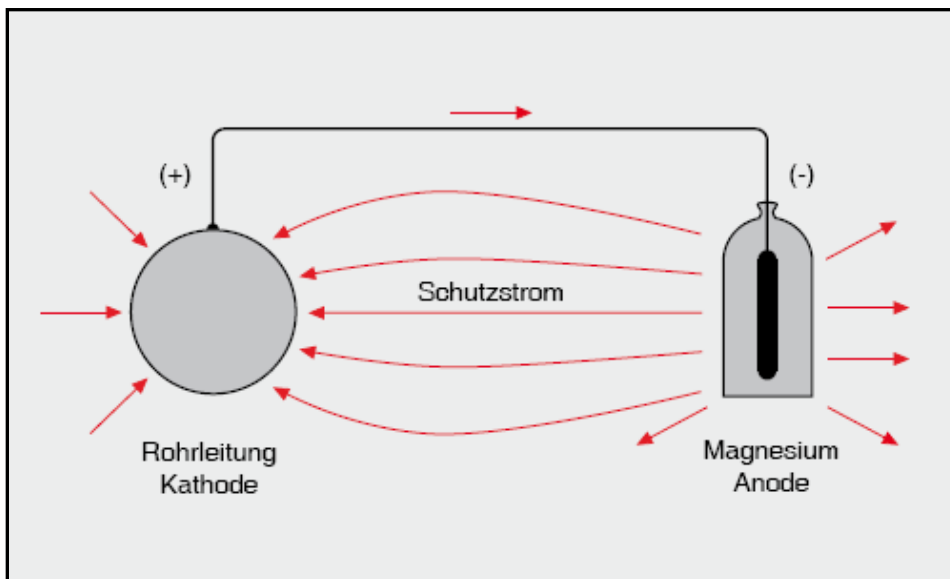


Abbildung 6: Funktionsweise Kathodischer Schutz mit Opferanode¹⁵

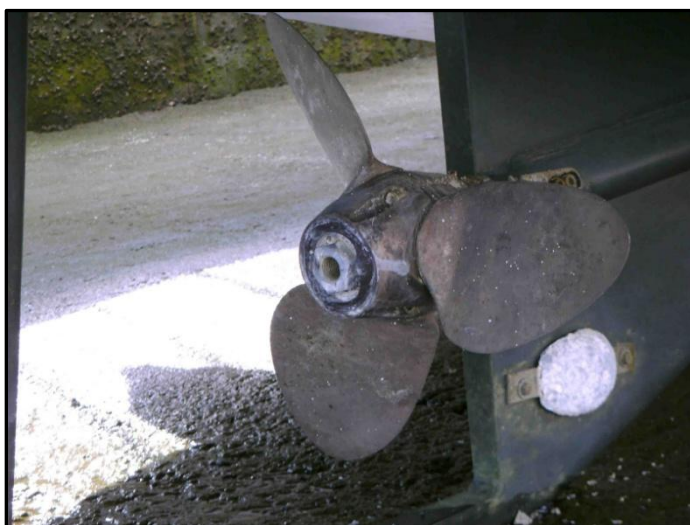


Abbildung 7: Opferanode bei einem Schiff¹⁶

¹⁴ Vgl. Dobler, H.D et al. (2003b) S.292

¹⁵ <http://www.vc-austria.com> (07.08.2012)

Kathodischer Korrosionsschutz mit Fremdstromanoden

Beim Kathodischen Korrosionsschutz mit Fremdanoden wird der benötigte Schutzstrom von Gleichrichtern erzeugt und mittels Anoden in das Erdreich zum schützenden Objekt geleitet. Dadurch werden ihm so viele Elektronen zugeführt, dass keine Notwendigkeit bzw. Möglichkeit besteht weiterhin als positive Ionen in Lösung zu gehen.¹⁷ Der größte Vorteil dieser Methode liegt darin, dass der Schutzstrom auf die Verhältnisse der Umgebung (Erdreich) und das Schutzobjekt abgestimmt werden kann. Des Weiteren zählen die Überwachungsmöglichkeiten von etwaigen Fehlstellen ebenfalls zu den Vorteilen dieser Methode.¹⁸

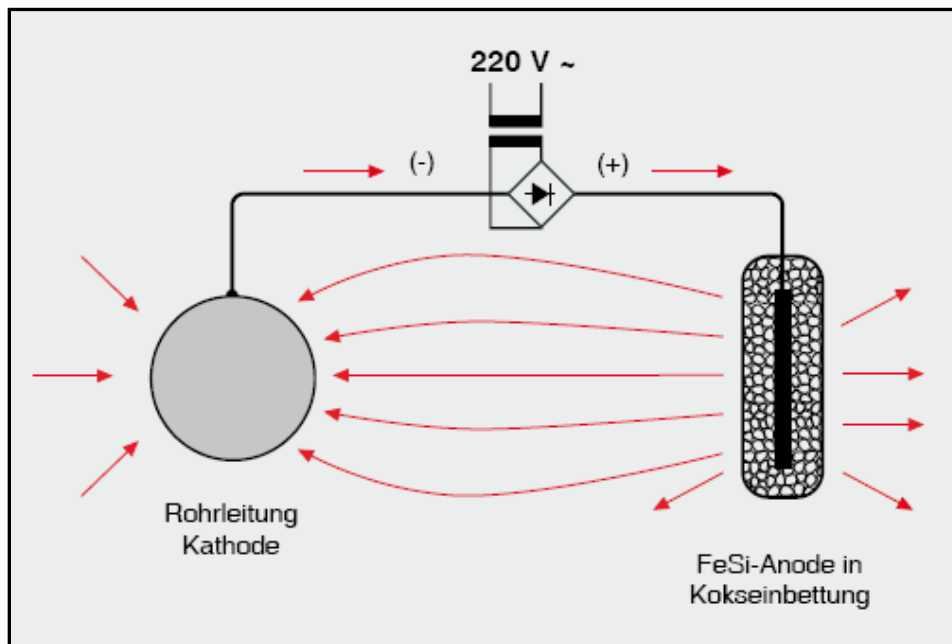


Abbildung 8: Funktionsweise Kathodischer Schutz mit Fremdstromanode¹⁹

¹⁶ <http://sy-now.blogspot.co.at> (07.08.2012)

¹⁷ O.V., (1991) S.11

¹⁸ <http://www.vc-austria.com> (07.08.2012)

¹⁹ <http://www.vc-austria.com> (07.08.2012)

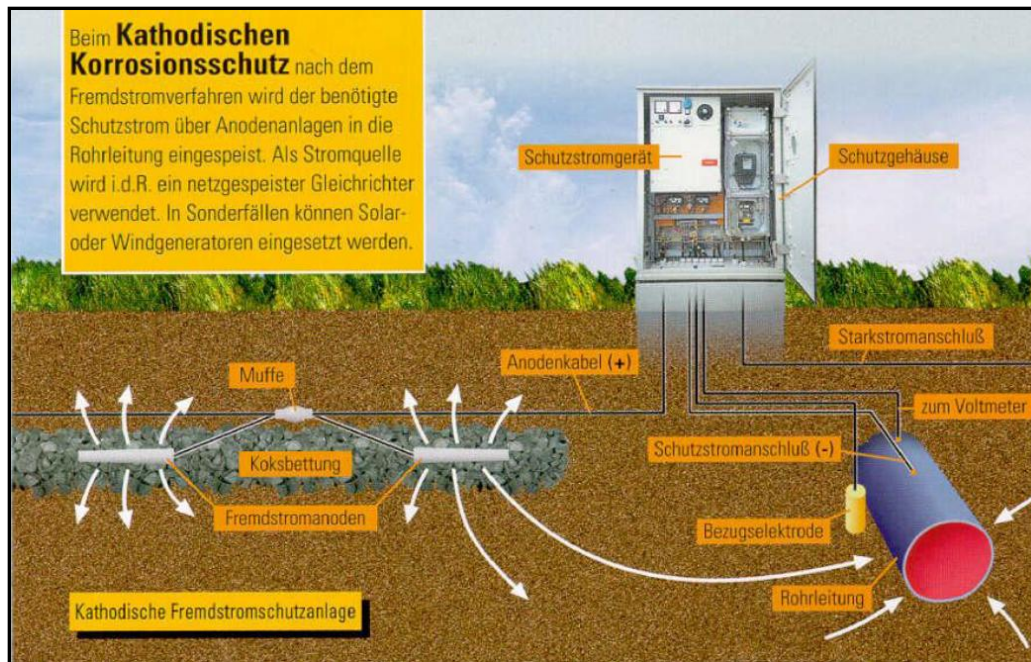


Abbildung 9: Kathodischer Korrosionsschutz mit Fremdstromanode bei Rohrleitungen²⁰

Beschichtung

Bei Beschichtungen handelt es sich um den passiven Korrosionsschutz, d.h. die Beschichtung umhüllt das Metall und hält dadurch die Elektrolyte davon fern. Sofern keine Fehlstellen oder Verletzungen der Beschichtung auftreten, bleibt der Korrosionsschutz aufrecht. Neben dem Korrosionsschutz werden auch spezielle Eigenschaften der Oberfläche wie z.B. Verschleißfestigkeit, hohe Härte etc. durch die folgenden Verfahren erzielt.

Metallische Beschichtung

Metallische Überzüge schützen das Werkstück vor äußeren Einflüssen. Man unterscheidet zwei Verfahren um diese metallische Beschichtung auf das Trägermaterial (Schutzobjekt) zu applizieren.

Schmelztauchen, bei dem ein höher schmelzendes Metall in ein schmelzflüssiges Bad eines niederschmelzenden Metalls getaucht wird. Nach dem Herausfahren aus dem Bad und Abkühlen bildet sich ein fester metallischer Überzug.

Galvanotechnische Verfahren sind zu den ernsthaftesten Konkurrenten des Schmelztauchens geworden. Dabei werden die metallischen Niederschläge (Überzüge) auf die Werkstücke elektrochemisch abgeschieden. Mit den galvanotechnischen Verfahren lassen sich konstante Schichtdicken und somit eine Verminderung an Materialkosten erzielen. Eine Separation muss ebenfalls in der Paarung von Überzug und Werkstück getroffen werden. Unterschieden werden dabei zwei Möglichkeiten:

²⁰ Schöneich, H.-G., (2007)

1.) edlere Schutzschicht

Sie ist aufgrund der elektrochemischen Spannungsreihe (siehe Abb. 5) korrosionsbeständiger als der Trägerwerkstoff.

Jedoch schützt diese Art des Überzuges das Objekt nur solange ein lückenloser Überzug gewährleistet wird. Im Fall einer Verletzung oder Zerstörung der Schutzschicht, z.B. Zinn, korrodiert der darunter liegende Stahl schneller als ohne Überzug.

2.) unedlere Schutzschicht

Wird eine unedlere Schutzschicht an das Werkstück aufgebracht, korrodiert sie leichter als der Trägerwerkstoff. Kommt es hierbei zu einer Verletzung der Schicht, bleibt das Trägermaterial erhalten und die Schutzschicht fungiert dabei als Opferanode, welche sich nach der Zeit auflöst.²¹ Die am häufigsten verwendeten Metalle sind Kupfer, Zinn, Zink, Blei, Nickel, Chrom und Cadmium.

Nicht metallische Beschichtung

Bei den nicht metallischen anorganischen Beschichtungen handelt es sich vorwiegend um die Werkstoffe Keramik und Glas.²² Typischer Vertreter dieser Beschichtungsverfahren ist das Emaillieren. Durch Tauchen oder Spritzen wird der Grundemalsschlicker auf das Werkstück aufgebracht und bei 850°C zu einer Emailschiicht gebrannt. Emaillierung schützt die Oberfläche effektiv vor Korrosion, Oxidation und Verschleiß und führt zu hervorragenden Gleiteigenschaften. Die Isolationsfähigkeit verbessert die Hitze-, Säure- und Laugenbeständigkeit.²³

Organische Beschichtung

Hauptsächlich versteht man unter dem Begriff: „Organische Beschichtungen“ Lack. Die Applizierbarkeit kann auf verschiedene Weisen erfolgen, sofern man zwischen flüssiger Form (Nasslack) und pulverförmiger Form (Pulverlack) unterscheidet. Um eine möglichst homogene Deckschicht zu erlangen, wird der vorhin genannte Nasslack mittels Spritzpistole in viele kleine Tröpfchen zerteilt und über das Werkstück ausgebreitet²⁴. Das Prinzip ist in der Abbildung 10 dargestellt.

²¹ <http://www.chemie.de> (08.08.2012)

²² Vgl, Hofmann, H; Spindler, J., (2004a) S.19

²³ <http://www.fachwissen-technik.de> (10.08.2012)

²⁴ <http://www.hs-esslingen.de> (08.08.2012)

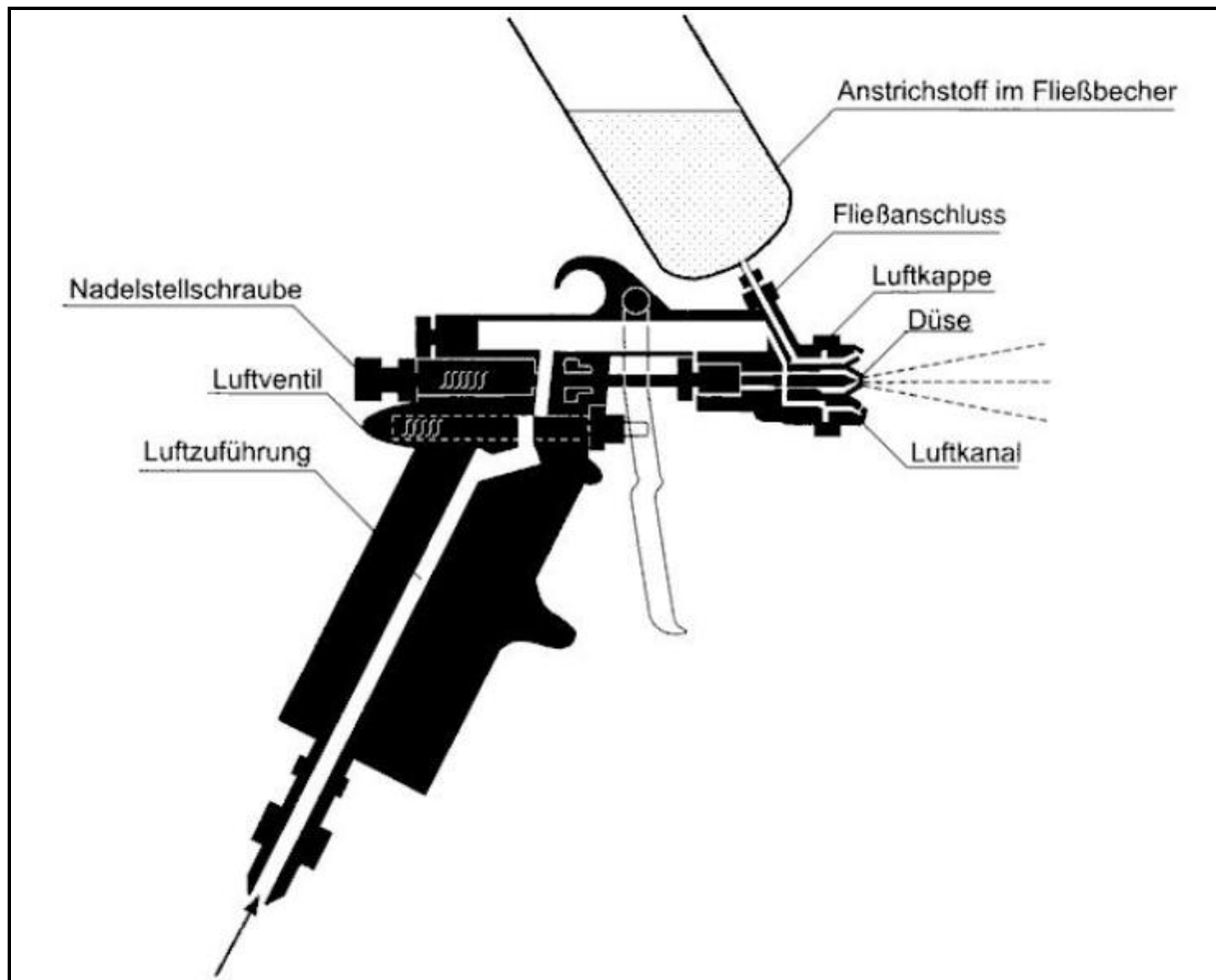


Abbildung 10: Prinzip pneumatische Spritzpistole²⁵

Die Applizierung von Pulverlacken erfolgt auf ähnliche Art und Weise und wird unter einem eigenen Punkt genauer erläutert.

Temporäre Beschichtung

Die Temporären Beschichtungen kommen vorwiegend bei Prozessen zum Einsatz, bei denen zwischen mehreren Arbeitsschritten ein Korrosionsschutz gefordert wird. Dabei werden Öl, Fett, oder Wachsüberzüge verwendet. Dieser Korrosionsschutz während und nach der spanenden Fertigung wird hauptsächlich bei der Herstellung von Werkzeugen verwendet.²⁶

²⁵ Hofmann, H; Spindler, J., (2004b) S.159

²⁶ Vgl. Dobler, H.D et al. (2003c) S.295

Abbildung 11 soll der Vervollständigung dienen und einen Überblick über die gesamten Beschichtungsverfahren geben. In den darauf folgenden Kapiteln werden die Verfahren: Pulverbeschichten und Kathodische Tauchlackierung detaillierter beschrieben.

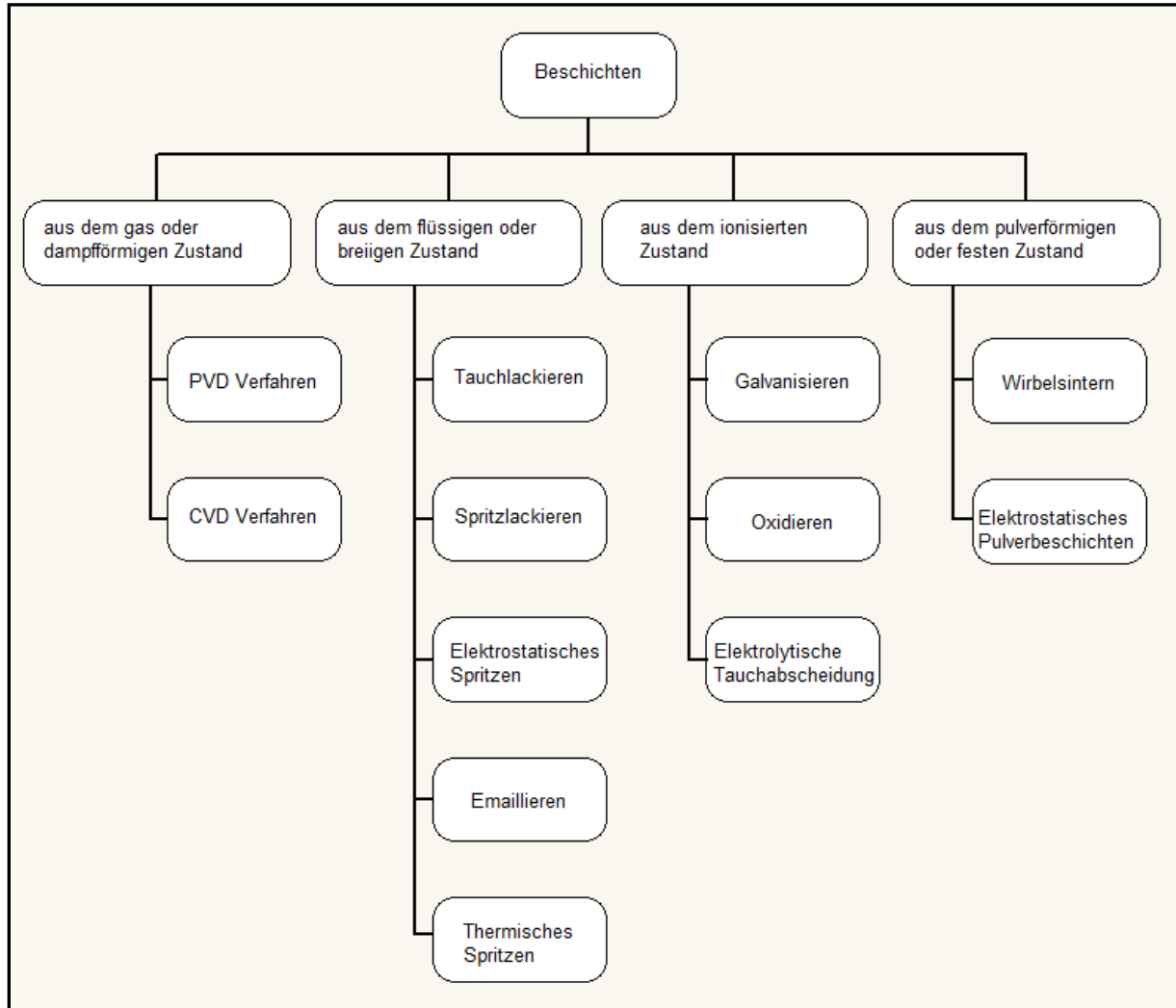


Abbildung 11: Gliederung der beschichtenden Verfahren²⁷

²⁷ Vgl. Koether, R.; Rau, W., (2008) S.233

Pulverbeschichten

Das Pulverbeschichten, auch Pulverlackieren genannt, ist ein Beschichtungsverfahren, bei dem ein elektrisch leitender Werkstoff mit dem sogenannten Pulverlack beschichtet wird und anschließend im Gelierofen zu einer homogenen Kunststoffschicht schmilzt. Der Ursprung dieser Beschichtungstechnik liegt in den späten 1960er-Jahren, in denen Umbauten von klassisch konzipierten Lackieranlagen für Flüssiglack als erste Pulverbeschichtungsanlagen fungierten. In den frühen 1970er-Jahren wurden geeignete Pistolentypen und Aufladungsarten entwickelt, die bis heute präzisiert und noch immer eingesetzt werden.²⁸ Grundsätzlich unterscheidet man beim Pulverbeschichten zwischen zwei Aufladungsarten: der elektrostatischen (Corona Aufladung), und der Tribo Aufladung.²⁹ Eine komplette Pulverbeschichtungsanlage besteht aus drei Hauptkomponenten. Der Vorbehandlung, Pulverbeschichtung und dem Gelierofen. Die genaue Beschreibung und Abfolge der einzelnen Prozessschritte wird im Kapitel 2.2 *Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung Quertaktanlage* beschrieben.

Aufladesysteme

Nach Einsatzgebieten und Wünschen des Anwenders werden die zwei vorhin erwähnten Pulveraufladungsmethoden eingesetzt.

Elektrostatische Aufladung (Corona Aufladung)

Unter der elektrostatischen Aufladung auch Corona Aufladung genannt, versteht man das Austreten von freien Elektronen aus einem Leiter. Die Bedingung dafür ist eine hohe Feldstärke, welche mit zunehmender Spannung und abnehmender Drahtdicke steigt. Aus diesem Grund werden bei den Corona Pistolen ein dünner Draht (welcher als Elektrode bezeichnet wird) und eine hohe Spannung eingesetzt. Die ausgetretenen Elektronen suchen sich den kürzesten Weg zu einem geerdeten Objekt. Auf diesem Weg treffen sie auf die Pulverteilchen, die mit einem Luftstrom durch die Pistole gefördert werden, und bleiben an ihnen haften. Die dadurch ionisierten Pulverteilchen werden nun von dem geerdeten Werkstück angezogen. Die haftenden Pulverteilchen erzeugen im Werkstück eine Gegenladung, wodurch sich die beiden Ladungen gegenseitig anziehen. Da die Pulverteilchen elektrisch nicht leitend sind, kann diese Ladung auch nicht abfließen. Somit ist die Anziehungskraft stets gegeben und das Pulver bleibt am Werkstück haften. Die Pulverteilchen, die das Werkstück nicht treffen (auch als Overspray bezeichnet) und am Boden landen, können unter bestimmten Umständen wieder verwendet werden. Zur Veranschaulichung stellt Abbildung 12 das Prinzip der elektrostatischen Aufladung noch einmal dar.

Die Elektrode der Beschichtungspistole wird mit einem Luftstrom umspült. Dadurch stellt sich eine konstante Aufladung des Pulvers ein und zusätzlich wird ein Ansintern des Pulvers an der Elektrode verhindert. Um eine gleichmäßige Pulverschichtdicke und optimale Ergebnisse

²⁸ Vgl. Mandler, H. (2009), S.20 ff.

²⁹ <http://www.gemapowdercoating.com> (19.08.2012)

am Objekt zu erlangen, muss die richtige Kombination aus Luftgeschwindigkeit und Aufladung getroffen werden.

Mit hohen Luftgeschwindigkeiten wird das Eindringen in Vertiefungen gefördert, jedoch besteht die Gefahr, dass das am Objekt bereits haftende Pulver wieder abgeblasen wird. Niedrige Luftgeschwindigkeiten erhöhen zwar den Abscheidegrad, können aber wiederum das Eindringen in Vertiefungen negativ beeinflussen.³⁰

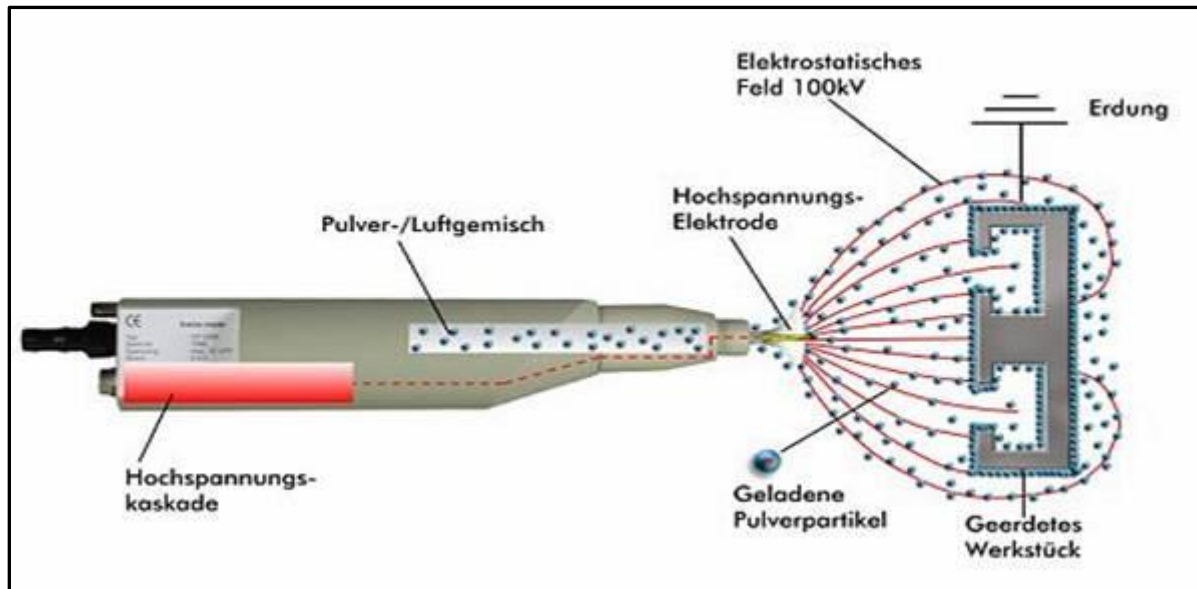


Abbildung 12: Prinzip der elektrostatischen Aufladung (Corona)³¹

Tribo Aufladung

Bei der Tribo Aufladung wird die Reibung ausgenutzt, um Ladung zu erzeugen. Ein Paradebeispiel für diesen Effekt ist das Trennen von zwei aufeinander haftenden Folien. Beim Auseinanderziehen der Plastikfolien laden sich die beiden Trennflächen mit gegenseitiger Polarität auf und ziehen sich wieder an. Dieser Effekt wird bei der Tribo Aufladung ausgenutzt. Das Pulver wird mit einem anderen Kunststoff, meist Teflon in Verbindung gebracht und sofort wieder getrennt. Dieser Vorgang geschieht unter hoher Luftgeschwindigkeiten, damit sich die Anzahl der Berührungen der Pulverteilchen mit dem Kunststoff durch Turbulenzen erhöht. In Abbildung 13 ist das Prinzip der Tribo Aufladung dargestellt. Der größte Vorteil dieser Aufladungsart liegt in der Eindringtiefe des Pulvers. Da bei der Tribo Methode praktisch keine freien Ionen auftreten, ist die Raumladung unbedeutend. Dadurch können höhere Lackschichtdicken als bei der Corona Aufladung erzeugt werden.

Freie Elektronen (= welche die Pulverteilchen nicht treffen) und die Ionisierte Luft ergeben die vorhin erwähnte Raumladung, welche wesentlichen Einfluss auf die Beschichtungsqualität hat. Wie schon erläutert, suchen sich die geladenen Pulverteilchen

³⁰ <http://www.gemapowdercoating.com> (19.08.2012)

³¹ <http://www.pulverbeschichtung-eckla.de> (19.08.2012)

den kürzesten Weg zum geerdeten Werkstück. Die Raumladung ist dadurch eine verstärkende Kraft, wodurch die Pulverteilchen Mühe haben, in der Tiefe anzuhafte. Stattdessen lagern sie sich bevorzugt an Ecken und Kanten des Werkstückes ab.

Abschließend zu dem Kapitel der Aufladungsarten ist zu erwähnen, dass es eine Vielzahl von weiteren Verfahren gibt, das Grundprinzip jedoch auf die zwei beschriebenen Methoden zurückzuführen ist.³²

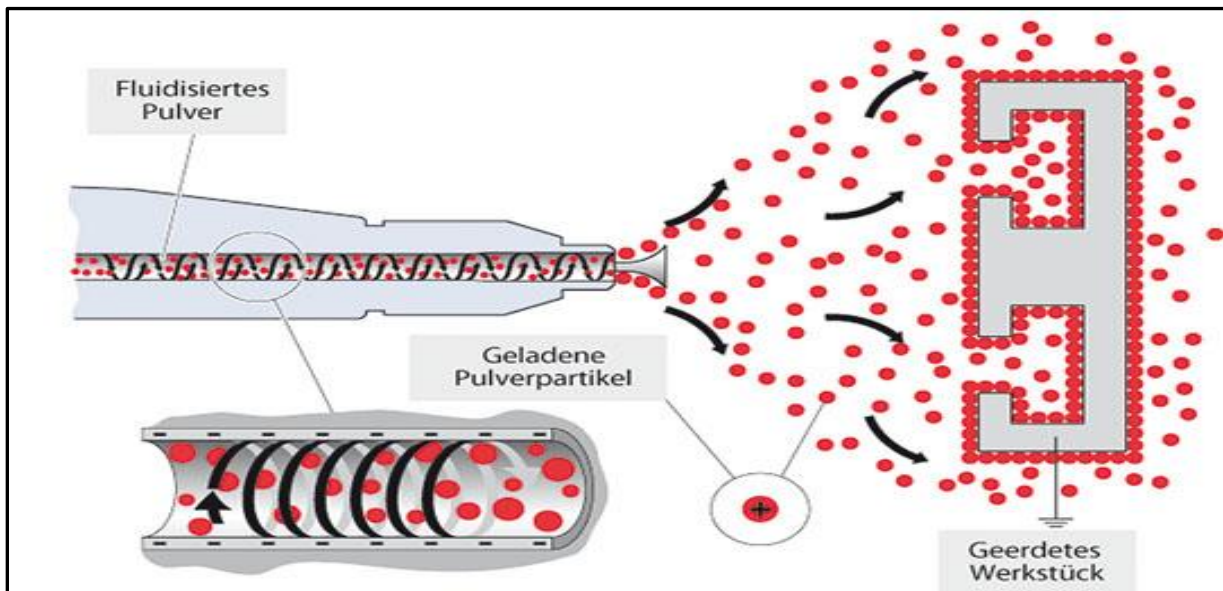


Abbildung 13: Prinzip Tribo Aufladung³³

Unabhängig von der Aufladungsart kann eine Pulverbeschichtungsstation wie in Abbildung 14 ausgeführt sein.

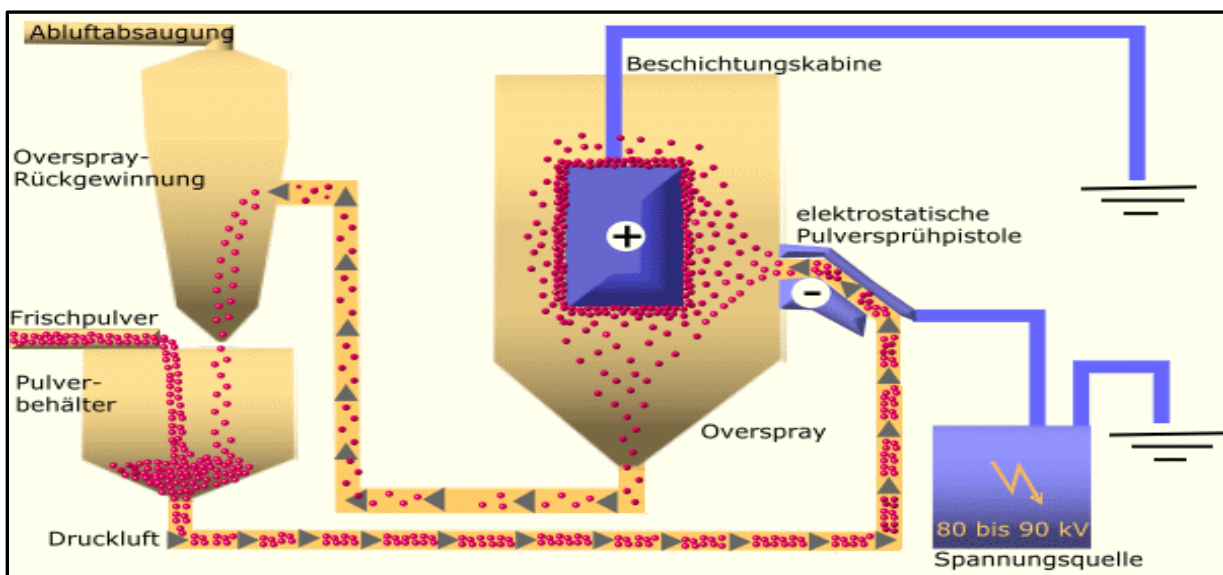


Abbildung 14 Schema Pulverbeschichtung³⁴

³² <http://www.gemapowdercoating.com> (22.08.2012)

³³ <http://www.wagner-group.de> (22.08.2012)

³⁴ <http://www.chemgapedia.de> (23.08.2012)

Kathodisches Tauchlackieren

Wie bei allen anderen Beschichtungsmethoden ist auch bei der Kathodischen Tauchlackierung eine chemische Vorbehandlung der Werkstücke von Nöten. In diesem Kapitel wird lediglich das Prinzip dieses Verfahrens erklärt. Der gesamte Prozessablauf inklusive Vorbehandlung wird auf das Kapitel 2.3 *Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung Kathodische Tauchlackierung* verwiesen.

Die Kathodische Tauchlackierung, auch Kataphoretische Tauchlackierung genannt, setzt sich seit 1975 durch. Dabei wird das zu lackierende Objekt als Kathode ausgeführt. Dialysezellen im KTL-Bad bilden dabei die Anoden. Dieses Verfahren ähnelt stark dem Prinzip der galvanischen Veredelung. Elektrotauchlacke sind wasserbasierend (d.h.- Suspensionen von Bindemitteln und Pigmenten in vollentsalztem Wasser mit geringen Anteilen an organischen Lösungsmitteln von ca. 3%). Als Bindemittel kommen bevorzugt Epoxidharze zum Einsatz.³⁵

Elektrochemische Vorgänge der Lackabscheidung

Bindemittel der KTL-Lacke sind im Normalzustand nicht wasserlöslich. Um sie für die Tauchlackierung verwenden zu können, müssen sie durch eine Neutralisationsreaktion wasserlöslich gemacht und ionisiert werden. Dies geschieht mit organischen Säuren z.B. Essigsäure. Durch Anlegen einer Gleichspannung, die vom Gleichrichter bereitgestellt wird, zersetzt sich an den Elektroden und am Werkstück das Wasser in Folge von Elektrolyse. Es entstehen Gase (H₂ und O₂) sowie Ionen. An den Grenzflächen des Werkstückes, welches kathodisch gepolt ist, entstehen Hydroxidionen (OH⁻). Diese Ionen bewirken die Umkehrung der Neutralisationsreaktion des Bindemittels und es kommt zur s.g. Koagulation. Die erste, anfangs noch lockere Lackschicht, wird durch weitere geladene Lackteilchen aufgebaut und verfestigt.³⁶ Nach der Tauchlackierung wird das Werkstück in weiteren Spülbecken gespült und somit die rauhe Oberfläche der Tauchlackierung glatt geschliffen. Die volle Aushärtung des Lackes findet im Einbrennofen bei ca. 180°C statt. Das Schema der KTL ist in Abbildung 15 dargestellt. Dieses Lackierverfahren bietet eine Vielzahl an Vorteilen. Unter anderem dringt der Lack in Hohlräume und bietet bei komplex gestalteten Werkstücken besten Korrosionsschutz. Des Weiteren lassen sich gleichmäßige Lackschichtdicken einstellen, die wiederum von der Spannungsstärke abhängen. Je nach Kundenwunsch können folgende Schichtdicken erreicht werden.

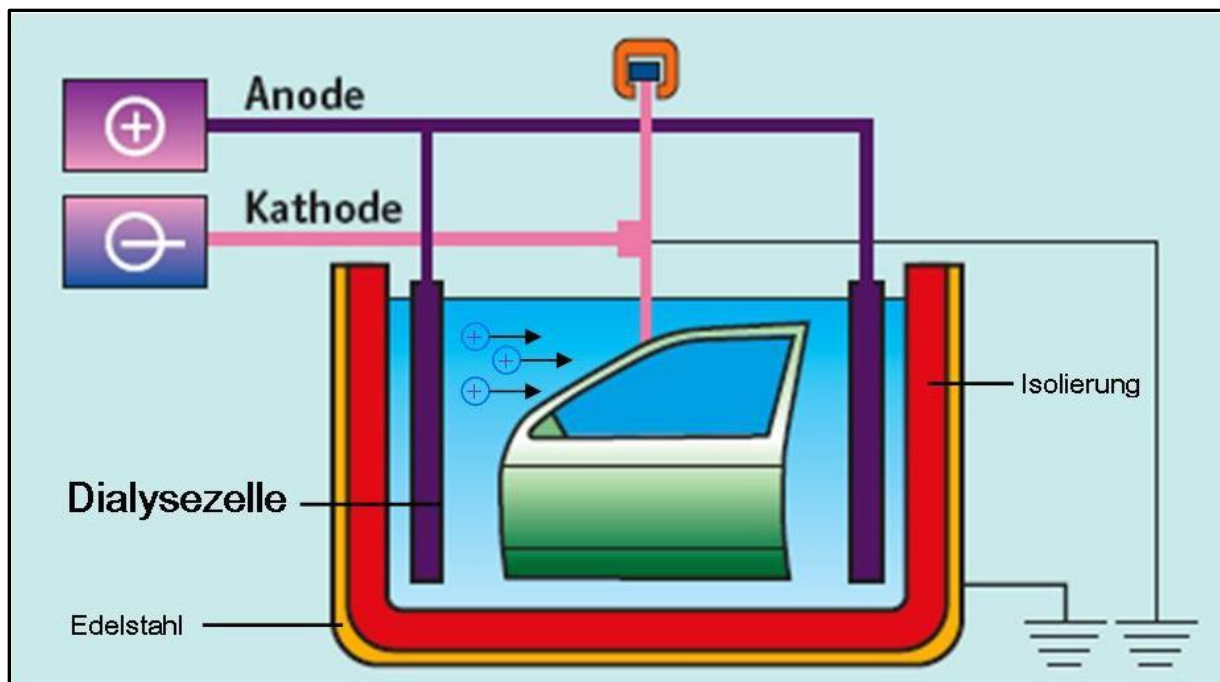
Sonderdünnschicht: S-KTL Schichtdicke 8 – 15 µm

Normalschicht: N-KTL Schichtdicke 10 - 25 µm

Dickschicht: D-KTL Schichtdicke >35 µm

³⁵ Vgl. Svejda, P.(2003a), S.20

³⁶ Vgl. Svejda, P.(2003b), S.20

Abbildung 15: Schema KTL³⁷

2.1.4 Anwendungsgebiete der Oberflächenveredelung

In den folgenden Kapiteln werden ein paar Anwendungsgebiete der Oberflächenveredelung näher gebracht. Da sie nicht nur dem Korrosionsschutz, sondern auch der optischen Gestaltung dient, sind die Einsatzgebiete breit gefächert.

Automotive und Landmaschinentechnik

Vor allem in der Automobilbranche wird auf hohen Korrosionsschutz vertraut. Dadurch kommt schon bei der Karosserie als erste Lackschicht die KTL zum Tragen. Dieses Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass sogar bei den komplexesten Gestaltungen der Karosserien ein Eindringen des KTL-Lackes in Hohlräume stattfindet und dadurch den KS gewährleistet. Siehe Abbildung 16. In weiterer Folge können diese Teile je nach Kundenwunsch in jeder erdenklichen Farbe lackiert oder pulverbeschichtet werden. Neben dem Korrosionsschutz wird in dieser Branche auch auf die Optik großer Wert gelegt. Eine schöne Vereinigung von Korrosionsschutz und Optik sind eloxierte Aluminiumteile,- Abbildung 17.

³⁷ Vgl. <http://www.eisenmann.com> (23.08.2012)



Abbildung 16: KTL bei Karosserien³⁸ Abbildung 17: Eloxierte Motorradfelgen³⁹

Bei größeren Objekten wie z.B. Land und Baumaschinen stellt sich immer öfter die Frage, wie man den Arbeiter zum beschichtenden oder das zu beschichtende Objekt zum Arbeiter bekommt. Mit speziellen Sprühdüsen und einer Lanzentechnik ist dieses Problem mittels der Pulverbeschichtung leicht lösbar.⁴⁰

Bau- und Haustechnik

Der größte Prozentsatz der Oberflächenveredelung fällt auf die Gebiete Bau- und Haustechnik inklusive Bautenschutz – darunter versteht man spezielle Anstriche und Putze.⁴¹ Lackierte Fensterbretter, pulverbeschichtete Fenster und Türrahmen, verzinkte Gartentore, nur um einige zu nennen, sind typische Beispiele, bei denen der Korrosionsschutz zum Tragen kommt.



Abbildung 18: Verzinktes Gartentor⁴²

Abbildung 19: Beschichtete Fassade⁴³

³⁸ <http://blog.mercedes-benz-passion.com/> (23.08.2012)

³⁹ <http://diwo.berndt-edv.de> (23.08.2012)

⁴⁰ Vgl. o.V., (2011), S.76 ff.

⁴¹ <http://www.hs-esslingen.de> (25.08.2012)

⁴² <http://www.wenk-liederer.ch> (25.08.2012)

⁴³ <http://www.matschek-glas-metall.at> (25.08.2012)

Straßen- und Tunnelbau

Auch in dieser Sparte ist die Pulverbeschichtungstechnik anzutreffen, in der z.B. eine Nasslackierung an ihre Grenzen stoßen würde. Zu nennen sind unter anderem die Gebirgsanker der Firma Atlas Copco, dargestellt in Abbildung 18. Nach einer Kernbohrung in das Gebirgsmassiv werden diese eingeführt und mittels hohen Wasserdrucks regelrecht aufgeblasen. Durch die Ausdehnung im Bohrloch sichern diese Anker über ihre gesamte Länge die Gebirgslagen. Vom verwendeten Korrosionsschutz wird nun gefordert, dass er bei der Ausdehnung zu 100% erhalten bleibt und es nicht wie z.B., bei Nasslack zu Abplatzungen der Lackschicht kommt. Mit speziellen Pulvermischungen werden diese Eigenschaften des Korrosionsschutzes erreicht.⁴⁴ Auch im Straßenbau vertraut man immer mehr auf die Pulverbeschichtungstechnik. Einerseits weil sie extremen Witterungen und dem Salzstreudienst trotzen und andererseits wegen der optischen Gestaltungsmöglichkeiten.



Abbildung 20: Swellex Gebirgsanker von Atlas Copco⁴⁵

⁴⁴ <http://www.atlascopco.com> (24.08.2012)

⁴⁵ www.minovarsa.co.za (24.08.2012)

2.2 Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung Quertaktanlage Pulverbeschichtung

In den folgenden Kapiteln wird der Prozessablauf der gesamten Pulverbeschichtungsanlage beschrieben. Abbildung 21 gibt einen schematischen Überblick.

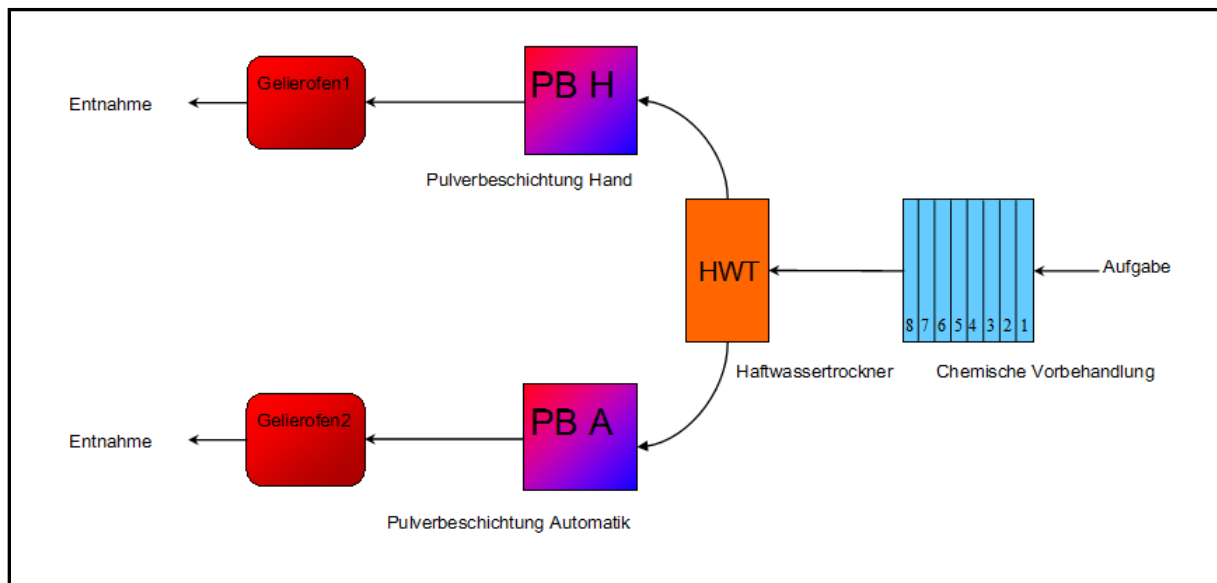


Abbildung 21: Prozessablauf Pulverbeschichtung

2.2.1 Chemische Vorbehandlung

Um einen 100%igen Korrosionsschutz und eine 100%ige Beschichtungsqualität zu erreichen, ist eine Vorbehandlung der Werkstücke notwendig. Diese chemische Vorbehandlung findet in mehreren Kammern statt. Die Warenträger durchfahren diese Kammern quer zur Längsrichtung (Quertakt). Mittels vertikal beweglichen Sprühhings werden in den einzelnen Kammern die an den Warenträger hängenden Werkstücke im Sprühverfahren mit der jeweiligen Chemie vorbehandelt. In bestimmten Zonen (Kammern) werden dabei die Werkstücke mit beheizten Medien besprüht, um die jeweilige chemische Reaktion aufrecht zu erhalten. Spezielle, vor jedem Sprühvorgang hochgefahrte Vorhänge dichten jede Kammer für sich ab, und dienen auch zur Medientrennung. Insgesamt besteht die gesamte Quertaktanlage aus acht Kammern, die von den Warenträgern nach der Reihe durchfahren werden. Der größte Vorteil dieser Anlage ist der geringe Platzbedarf. Er wird bei gegebener Länge der Werkstücke nur von der Anzahl der Behandlungsstufen (Kammern) und der zu berücksichtigenden Breite der Werkstückcharge bestimmt. Die Vorbehandlung in der Quertaktanlage wird vorwiegend bei Aluminiumteilen eingesetzt.



Abbildung 22: Kammer mit Sprühhing



Abbildung 23: Quertaktanlage mit Warenträger

Abbildung 24 gibt einen Überblick über die gesamten Kammern der Quertaktsprühanlage. Die von handaufgehängten Aluminiumteile durchlaufen diese Kammern hintereinander. Bei den farblich hinterlegten Kammern handelt es sich um die s.g. aktiven Bäder, welche beheizt werden. Es folgen kurze Beschreibungen der einzelnen chemischen Bäder.

Bad #	1	2	3	4	5	6	7	8
Prozess	Beizentfetten 1	Beizentfetten 2	Spüle 1	Spüle 2	Spüle 3	Eisenphosphatierung	Spüle 4	Chromfreie Konversion

Abbildung 24: Bad-Kammern-Bezeichnung der Quertaktsprühanlage

Beizentfetten 1

Beim Beizentfetten-Bad handelt es sich um ein s.g. aktives Bad, d.h. das Sprühmedium wird auf einer konstanten Temperatur von 35°C +/- 5°C gehalten. Durch das Beizen erhält man metallisch blanke Oberflächen und beseitigt dadurch oxydische und nichtmetallische Stoffe, die für den folgenden Beschichtungsvorgang von Nachteil sind. Man verwendet für das Bad hauptsächlich Säurebäder⁴⁶

Beizentfetten 2

Vorgang, Eigenschaften, Bedingungen und Wirkung des Beizentfettens 2 sind die gleichen wie beim Beizentfetten 1. Der Unterschied liegt in der Konzentration des Bades, welche in diesem Fall in verdünnter Form vorliegt. Durch diese Doppelentfettung werden sehr gute Ergebnisse bezüglich der Oberflächensauberkeit erreicht.

Spüle 1

Um chemische Rückstände vollkommen zu beseitigen und dadurch etwaige Beeinflussungen zu vermeiden, wird bei der gesamten Vorbehandlung in drei unterschiedlichen Zonen gespült. Die Spülen sind als Kaskade geschaltet, wobei die Zone: Spüle 3 die Erste ist, gefolgt von Spüle 2, und Spüle 1. Somit ist die Zone: Spüle 3, die mit der besten Wasserqualität, und es ist verständlich, dass bei jedem weiteren Spülbecken (Kaskade) die Qualität abnimmt. Ausgedrückt wird dies mittels Leitwert und beträgt bei Spüle 1 < 2000µS/cm.

Spüle 2

Spüle 2 ist die Kaskade nach der Spüle 3 mit vollentsalztem Wasser. Daher stellt sich bei diesem Sprühbecken ein Leitwert von < 250µS/cm ein.

Spüle 3

Mit vollentsalztem Wasser (VE Wasser) werden die Werkstücke zum letzten Mal gespült. Im VE Wasser liegen keine gelösten Stoffe vor. Dadurch werden fleckige Teile nach dem Trocknen vermieden und es liegt eine 100%ige reine Oberfläche für den nächsten Prozessschritt vor. Die Güte bzw. Reinheit des VE Wassers beträgt < 30 µS/cm

Eisenphosphatierung

Die Eisenphosphatierung wird zur Vorbehandlung von ausschließlich Stahlwerkstücken angewendet. Aufgabe dieser Behandlung ist es, eine Haftschrift und zugleich einen optimalen Korrosionsschutz für die folgende Pulverbeschichtung zu erzeugen.

⁴⁶ Vgl. Benke, H. (2000), S. 43

Spüle 4 (für Fe-Phosphatierung)

Die Spüle 4 mit Betriebswasser kommt nur bei Phosphatierungen von Stahl zum Einsatz. Da in der GP bei dieser Anlage zumeist nur Aluminium vorbehandelt wird, kommen die vorhin erwähnte Eisenphosphatierung und Spüle 4 selten zum Einsatz.

Chromfreie Konversion

Im letzten Behandlungsprozess handelt es sich um eine Konversionsbehandlung. Diese Behandlung erzeugt eine Konversionsschicht und wird nur bei Leichtmetallen angewendet. Unter dieser Schicht versteht man einen optimalen Korrosionsschutz und hervorragenden Haftgrund für die anschließende Pulverbeschichtung.⁴⁷ Bei diesem Sprühvorgang handelt es sich wieder um ein aktives Bad. Die Temperatur beträgt dabei 20°C – 40°C.

2.2.2 Haftwassertrockner

Der Haftwassertrockner ist ein Heißluftofen der die Aufgabe besitzt, das Material nach der chemischen Vorbehandlung zu trocknen. Die Umlufttemperatur beträgt 100°C. Nach einer vordefinierten Verweilzeit im Trockner wird der Warenträger automatisch zur vorbestimmten Produktionsstätte (Pulverbeschichtung Hand oder Automatik) getaktet.

2.2.3 Pulverbeschichtung Hand und Automatik

Das Prinzip der Pulverbeschichtung wurde bereits im Kapitel 2.1 ausführlich beschrieben. In der Griffner Pulverbeschichtung werden die Werkstücke je nach Geometrie und Komplexität in zwei Pulverbeschichtungslinien aufgeteilt. Beispielsweise werden Strangpressprofile in der Automatanlage beschichtet. Dabei werden mehrere Pulverpistolen vertikal automatisch auf- und abgeführt. Bei vordefiniertem Vorschub wird der Warenträger mit den Werkstücken an den Pistolen vorbeigeführt und somit beschichtet.

Bei der Pulverbeschichtung Hand werden komplexe oder für die Automatanlage zu Große Bauteile abgefertigt.

⁴⁷ <http://www.csc-jaekle.de> (27.08.2012)



Abbildung 25: Automatik Beschichtung



Abbildung 26: Hand Beschichtung

2.2.4 Pulvergelierofen

Nach der Pulverbeschichtung werden die Werkstücke einer Wärmebehandlung unterzogen. Die Pulverpartikel werden bei einer Temperatur von ca. 200°C und einer Einbrennzeit von ca. 10 bis 25 Minuten, abhängig von der Materialstärke, aufgeschmolzen. Bei diesem Vorgang findet eine Vernetzung der Kunstharzmoleküle statt, der auch als Gelierprozess bezeichnet wird.

2.3 Prozessbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung

Kathodische Tauchlackierung

Das zweite Kerngebiet der GP ist die Kathodische Tauchlackierung, die auch gerne als Grundierung für die weitere Pulverbeschichtung herangezogen wird. In Abbildung 27 ist der Ablauf von der chemischen Vorbehandlung bis zum Einbrennofen dargestellt.

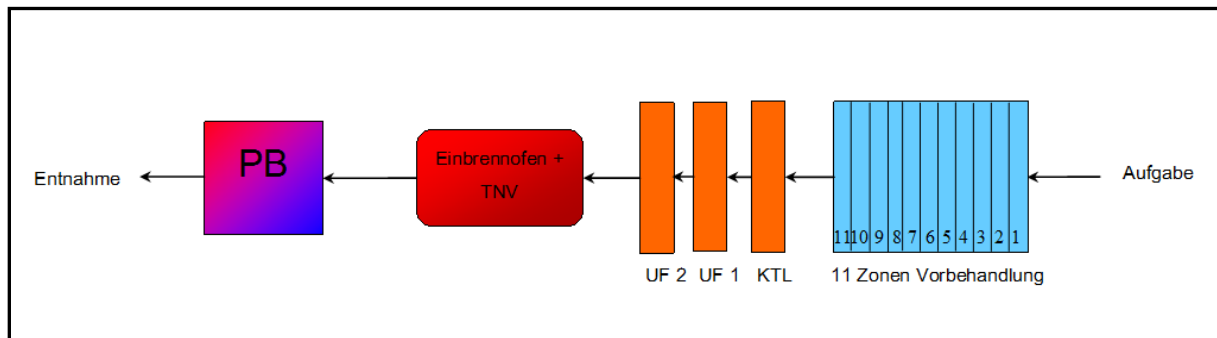


Abbildung 27: Prozessablauf KTL

2.3.1 Chemische Vorbehandlung

Die chemische Vorbehandlung der KTL-Anlage besteht aus einer Elf-Zonen-Tauchvorbehandlung. Die Warenträger werden mittels Beschickungsautomaten von einer Zone zur nächsten transportiert und dort eingetaucht. Nach Ablauf einer gewissen vorgegebenen Zeit entnimmt dieser den Warenträger wieder aus der Zone und transportiert ihn zu seinem nächsten Bestimmungsort. Bestimmte Tauchbecken sind als aktive Becken ausgeführt. Darunter versteht man, dass der Beckeninhalt auf einer definierten Temperatur gehalten wird, um die chemischen Reaktionen zu gewährleisten. Es folgen nun kurze Erläuterungen zu den elf Tauchbecken und deren Grundaufgaben. In Abbildung 29 sind die elf Becken dargestellt, wobei die farblich hinterlegten die s.g. aktiven Becken sind. Hier sei erwähnt, dass die chemische Vorbehandlung ein sehr komplexes Thema ist, und eine detaillierte Ausführung das Ausmaß dieser Arbeit übersteigen würde.



Abbildung 28: Vorbehandlung im Tauchbecken

Zone#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prozess	Tauchentfetten	Spüle 1	Spüle 2	Beizen	Spüle 3	Spüle 4	Aktivierung	Zinkphosphatieren	Spüle 5	Spüle 6	VE – Spüle

Abbildung 29: Tauchbecken der 11 Zonen Vorbehandlung

Tauchentfetten

Das erste Tauchbecken dient, wie der Name schon besagt, der Entfettung. Es handelt sich dabei um ein alkalisches Bad mit dem pH-Wert von ca.10. Konstante Badtemperatur von 55°C garantiert eine fettfreie Oberfläche.

Spüle 1

Spüle 1 mit Betriebswasser, dient der Säuberung der vorhergehenden chemischen Behandlung. Chemische Rückstände werden durch Eintauchen in das Becken abgewaschen. Ein Leitwert von < 2 mS/cm ist in dieser Spüle vorzufinden.

Spüle 2

Die zweite Spüle bildet die Kaskade in Spüle 1 und garantiert dadurch eine chemiefreie Oberfläche. Der Inhalt ist wiederum Betriebswasser mit einem Leitwert von < 0,8mS/cm

Beizen

Beim Beize-Bad handelt es sich um ein Säurebad. 12 prozentige Schwefelsäure, ein pH-Wert von <1 und speziell abgestimmte Verweilzeiten im Bad entfernen Rost, Zunder und Laserschnitte der Werkstücke. Die Beckentemperatur beträgt 55°C .

Spüle 3

Das Tauchbecken der Spüle 3, auch als Neutralisation bezeichnet, ist mit hochalkalischem Reinigungs- und Entrostungsmittel (pH 8,5 -10) für Stahl und Gusseisen gefüllt. Dieses Tauchbecken ist nach dem Beizvorgang unerlässlich, da sich ansonsten sofort Rost an den Werkstücken bilden würde.

Spüle 4

Spüle 4 bildet die Kaskade in Spüle 3 und dient wiederum der Säuberung bzw. Verdünnung von der vorhergehenden chem. Behandlung.

Aktivierung

Das Aktivierungstauchbecken beinhaltet ein flüssiges Aktivierungsmittel auf Basis von Zinkphosphat. Es dient als ein Vorbereitungsbad für die folgende Zinkphosphatierung und bewirkt, dass gleichmäßige und feinkristalline Zinkphosphatschichten auf Eisen, Stahl, Aluminium und verzinkten Oberflächen erzeugt werden.

Zinkphosphatieren

Im Zinkphosphat-Becken wird auf dem Werkstück bei einer Badtemperatur von 52°C eine dünne Zinkphosphatschicht aufgebaut. Diese dient als Korrosionsschutz und verhindert ein Unterrosten (Rost unter dem KTL-Lack).

Spüle 5

Dieses Becken bildet das erste von zwei darauffolgenden Spülbecken. Betriebswasser mit einem Leitwert von $< 1\text{mS/cm}$ bildet den Beckeninhalt.

Spüle 6

Nach dem vorhergehenden Spülvorgang findet im Becken Nummer 10 noch einmal eine Spülung mit Betriebswasser, welches einen Leitwert von $< 0,3\text{mS/cm}$ besitzt, statt. Spüle 6 ist die Kaskade in Spüle 5

VE-Spüle

Mit vollentsalztem Wasser wird beim letzten Becken getaucht. Dieses Becken bildet die Kaskade in die Spüle 6 und weist einen Leitwert von $< 25\mu\text{S}$ auf. Das Spülen im VE Becken ist notwendig, um keinerlei Rückstände an Feststoffen an der Werkstückoberfläche zu erhalten. Dadurch wird eine saubere Oberfläche der bevorstehenden Tauchlackierung gewährleistet.

2.3.2 Tauchlackierung

Das Prinzip der kathodischen Tauchlackierung wurde bereits im Kapitel 2.1 ausführlich beschrieben.

Die Hauptbestandteile des KTL-Beckens sind ein Gleichrichter zur Versorgung der Anlage mit Gleichspannung, mehrere Dialysezellen, ein Umwälzsystem für eine gleichmäßige Durchmischung des Lackes, Filteranlagen zur Entfernung von eingetragenen Schmutz und eine Ultrafiltrationsanlage.

Tauchlackbecken

Das Tauchlackbecken beinhaltet Bindemittel, Pigmentpaste, organische Lösungsmittel und Wasser. Wesentliche Bestandteile von Bindemittel und Pigmentpasten sind häufig Epoxidharze.

Bindemittel und Pigmentpaste bilden den Hauptanteil des Feststoffgehaltes vom Lack und beträgt etwa 14-18%. Der Elektrotauchlack besteht weiter zu etwa 80 % aus Wasser. Hinzu kommen ein geringer Anteil an organischen Lösungsmittel (1 – 2 %), Säuren (0,4 %) und Additive⁴⁸.

Durch ständiges Umwälzen des Lackes, und Wärmeeinbringung der Werkstücke, muss der Lack zusätzlich gekühlt werden.

UF-Spüle 1

Das Ultrafiltrat (UF) wird zum Spülen der tauchlackierten Teile verwendet.

Die Werkstücke werden im Becken, welches mit UF gefüllt ist, von Lackresten nach der Tauchlackierung gesäubert, so dass nur der elektrophoretisch abgeschiedene Lack an der Werkstückoberfläche haften bleibt.

Unter der Ultrafiltration versteht man die Erzeugung von Spülflüssigkeit aus dem KTL-Lack. Über ein UF-Modul wird ständig ein Teilstrom des Lacks geführt. Mit Membranen geeigneter Porengröße werden dem Lack die niedermolekularen Bestandteile, das s.g. Ultrafiltrat entzogen. Die hochmolekularen Stoffe (Lack) werden von der Membran zurückgehalten und

⁴⁸ Vgl. Ikanovic, R. (2010), S. 27 ff.

dem Lackbecken wieder zugeführt. Durch dieses Spülen entsteht eine enorme Einsparung an Lack, da durch Recycling der abgewaschen KTL-Lack wieder verwendet wird.⁴⁹

UF-Spüle 2

Das Prinzip dieser Spüle ist der vorhergehenden ident. Zusätzlich beinhaltet dieses Becken einen Sprühkranz. Somit wird eine sehr gute Säuberung der Werkstücke vom überschüssigen Lack erreicht.

2.3.3 KTL Einbrennofen und thermische Nachverbrennung

Beim KTL-Einbrennofen handelt es sich um einen Heißluftofen, der mit Propangas betrieben wird. In diesem Ofen härtet der KTL-Lack bei einer Temperatur von 200°C und einer Einbrennzeit von ca. 60 Minuten aus. Die Abluft, die mit Schadstoffen wie Lösemittel, welche beim Aushärten abdampfen, wird der thermischen Nachverbrennung (TNV) zugeführt. Die TNV ist eine überdimensionale Brennkammer, in der die schädlichen Spaltprodukte bei einer Temperatur von 700°C zur Gänze verbrannt werden. Die somit gereinigte Luft (Reingas) durchströmt vor dem Austritt ins Freie einen Wärmetauscher. Dieser hat den Nutzen, dass vorgewärmte Luft dem Einbrennofen zugeführt und somit ein Ersparnis an Wärmeerzeugung erreicht wird.

⁴⁹ Vgl. O.V., (2006), S.7

2.4 Energiebezug der Griffner Pulverbeschichtung

Um die vorhin angesprochenen aktiven Becken bei den chemischen Vorbehandlungen (Quertaktanlage und KTL) mit konstanter Wärme zu versorgen, stehen der GP zwei voneinander unabhängige Varianten zur Verfügung. Die Prinzipien von Blockheizkraftwerk und Gasofen und deren Daten, die für die weiteren wirtschaftlichen Berechnungen von Nöten sind, werden in den folgenden Punkten erläutert. Abbildung 1 stellt das gesamte Energieschema der Unternehmung dar. Entnahmepunkt des Warmwassers ist der 5m³ große Pufferspeicher, welcher das erzeugte Warmwasser von Gasheizkesseln und Blockheizkraftwerk speichert.

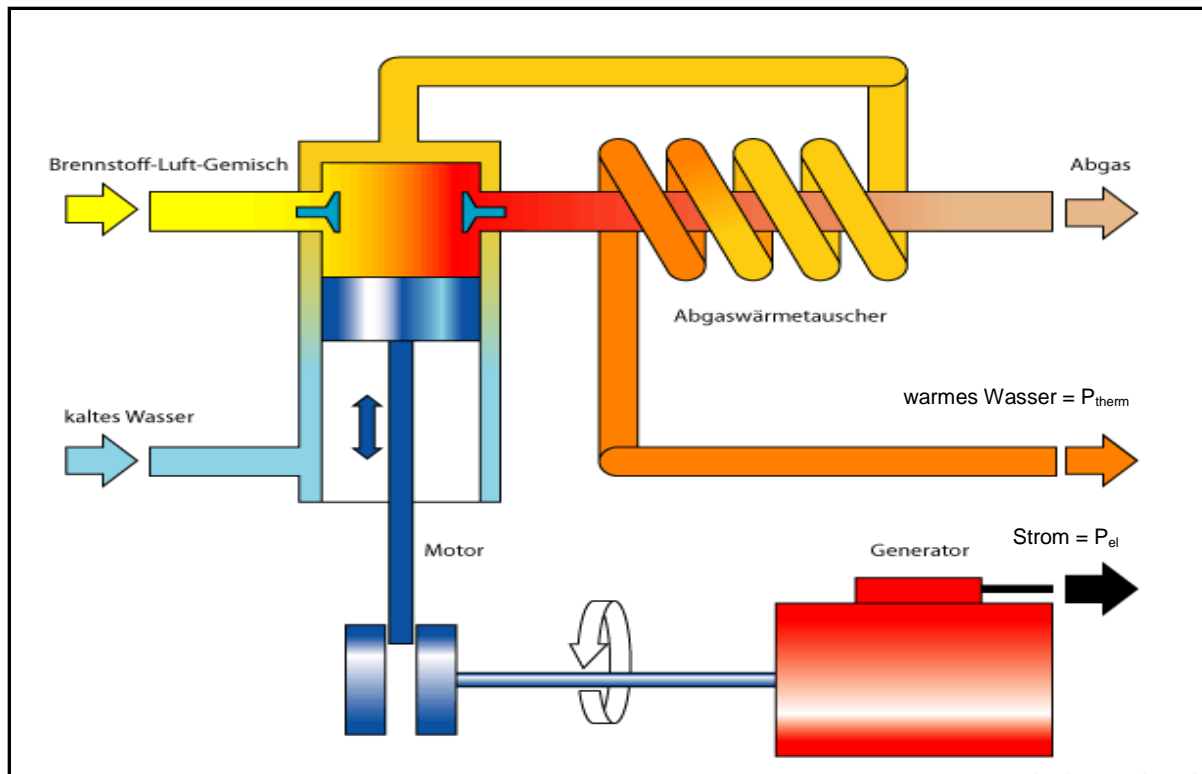
2.4.1 Gasheizkessel

Bei Variante 1 der Wärmebeschaffung handelt es sich um zwei Gasheizkessel direkt beheizt. Unter der Bezeichnung direkt beheizt versteht man, dass über eine Weiche der Pufferspeicher und die naheliegende Quertaktanlage mit Warmwasser gespeist werden. Das Heizprinzip ist ident einer herkömmlichen Haushaltsgasheizung. Die Leistung beider Gasheizkessel beträgt 140 kW und ist für den Betrieb mit Butan - Flüssiggas ausgelegt. Da die Primärenergie bei der Griffner Pulverbeschichtung jedoch Propangas ist, muss laut Hersteller mit einem Leistungsverlust von 12% gerechnet werden. Der Wirkungsgrad dieser Heizkessel beträgt 95%.⁵⁰ Somit ergibt sich eine Primärleistung, bei Betrieb mit Propan von 123,3 kW und eine thermische Leistung von 117,04 kW.

2.4.2 Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk besteht prinzipiell aus drei Hauptkomponenten. Ein Verbrennungsmotor, ein Generator und Wärmetauscher erzeugen Elektrizität und Wärme. Man spricht auch von einer s.g. Kraft-Wärmekopplung. Der mit Propangas betriebene Verbrennungsmotor treibt über die Kurbelwelle einen Stromgenerator. Die dabei entstehende Wärme im Kühlkreislauf und Abgassystem des Gasmotors wird mittels Wärmetauscher zum Beheizen der Becken genutzt. Der dabei produzierte Strom wird intern genutzt und muss dadurch nicht vom Energieanbieter bezogen werden.

⁵⁰ <http://www.wolf-heiztechnik.de> (03.09.2012)

Abbildung 30: Prinzip Blockheizkraftwerk ⁵¹

In Abbildung 29 soll nochmals das Prinzip eines BHKWs verdeutlicht werden. In der Unternehmung sind zwei Blockheizkraftwerke unterschiedlicher Leistung vorhanden. Während das „große“ BHKW mit einer elektrischen Leistung (P_{el}) von 250 kW und thermischen Leistung (P_{therm}) von 345 kW nur für den Notstrombetrieb herangezogen wird, dient das „kleine“ mit 85 kW an elektrischer und 120 kW an thermischer Leistung zur Beheizung der Becken. Der Gasverbrauch des BHKW 85 beträgt laut Messungen, die im Kapitel 3.2 genauer erläutert werden 9,6 m³ pro Stunde.

⁵¹ <http://www.blockheizkraftwerk.at/> (03.09.2012)

2.5 Photovoltaikanlage

Da sich das zweite Ziel dieser Arbeit mit der wirtschaftlichen Berechnung einer Photovoltaikanlage beschäftigt, soll in den folgenden Kapiteln ein gewisses Maß an Grundwissen bezüglich Funktion und Aufgaben solcher Anlagen und Komponenten vermittelt werden. Dies ist meines Erachtens von Nöten, um bei der späteren wirtschaftlichen Berechnung die verschiedenen Konzepte und Ausführungsformen miteinander vergleichen und gewichten zu können. Photovoltaikzellen und Wechselrichter bilden die Hauptkomponenten einer gesamten Anlage.

2.5.1 Funktionsweise

Photovoltaikzellen bestehen meistens aus dem Halbleitermaterial Silizium. Das Silizium (Si)-Atom hat auf seiner Außenschale vier Elektronen (Valenzelektronen). In einer stabilen Kristallstruktur ist jedes Si-Atom von vier Nachbar-Si-Atomen umgeben. Der Grund liegt darin, dass sich je ein Atom ein Elektron teilen und somit ein Elektronenpaar bilden. Durch diese Bindung entsteht ein stabiler Zustand (Kristallgitter), da sich nun acht Elektronen auf der Außenschale befinden. Dadurch ist es ersichtlich, dass es nicht leitend ist. Bei hohen Temperaturen werden jedoch einige Paarbindungen aufgebrochen und Elektronen freigesetzt. Dies erklärt die Eigenleitung von Halbleitern.

Durch gezieltes Verunreinigen bei der Si-Herstellung, dem s.g. Dotieren mit 5-wertigen Phosphoratomen wird dieses n-dotiert, d.h. es werden zusätzliche freie Elektronen eingebracht. Zusätzlich wird mit 3-wertigen Boratomen dotiert. Das hat zur Folge, dass Elektronen-Löcher eingebracht werden. Man nennt dies auch p-Schicht.

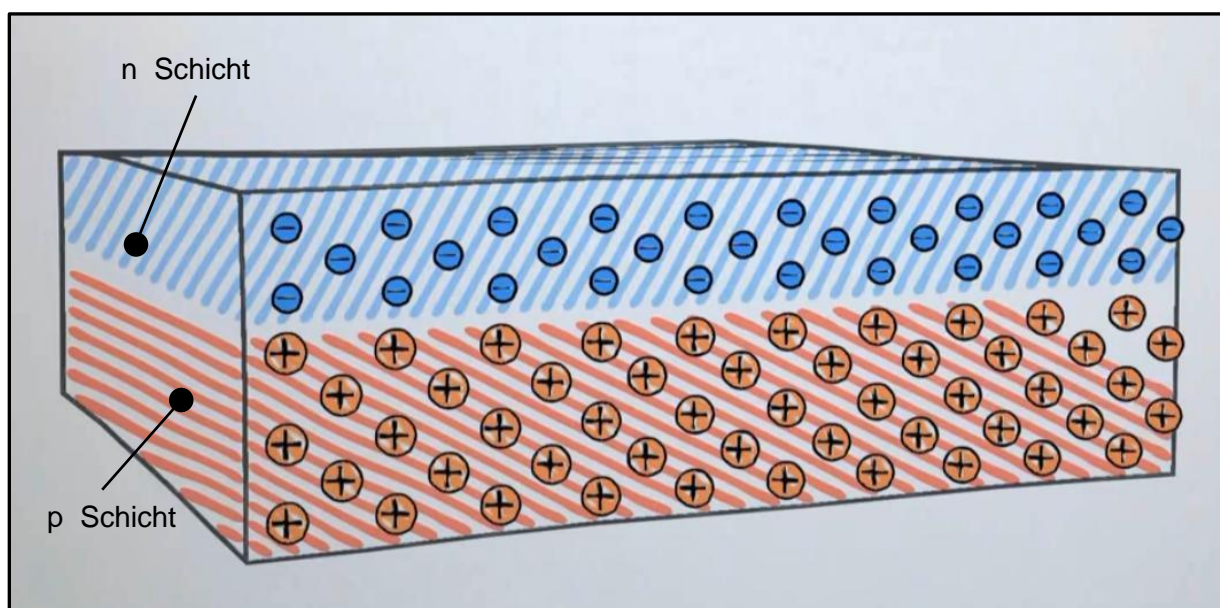


Abbildung 31: p- und n-Schicht⁵²

⁵² <http://www.evi-hildesheim.de> (06.09.2012)

Den Übergang zwischen p- und n-Schicht nennt man pn-Übergang. An diesem Übergang bildet sich eine Raumladungszone aus. Grund dafür ist die Diffusion von Löchern in die n-Schicht und Elektronen in die p-Schicht. In dieser Zone halten sich die Ladungen gegenseitig fest.

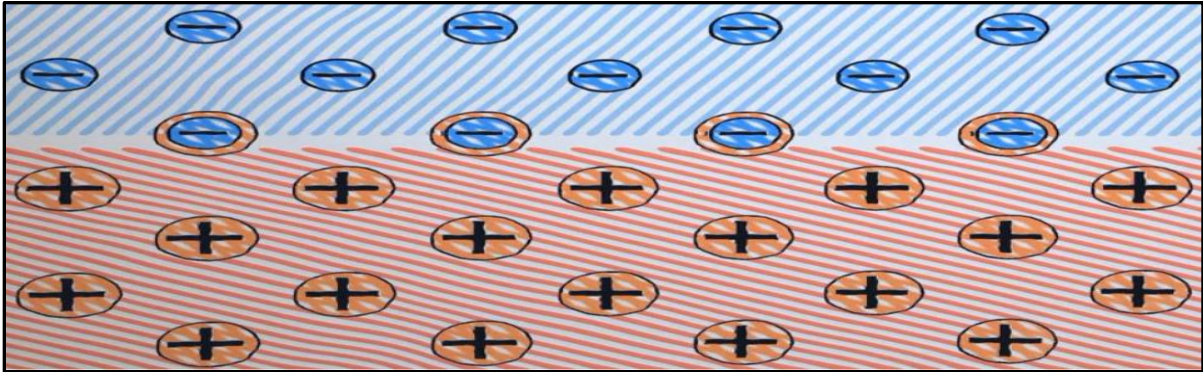


Abbildung 32: Raumladungszone⁵³

Die n-Schicht ist so dünn ausgeführt, dass sie das einfallende Licht (Photonen) durchdringt. Die Photonen lösen durch deren Energie in der Raumladungszone die Bindungen. Die dadurch angeregten Elektronen folgen dem inneren elektrischen Feld und verlassen die Raumladungszone über mehrere Metallkontaktfinger der oberen n-Schicht.

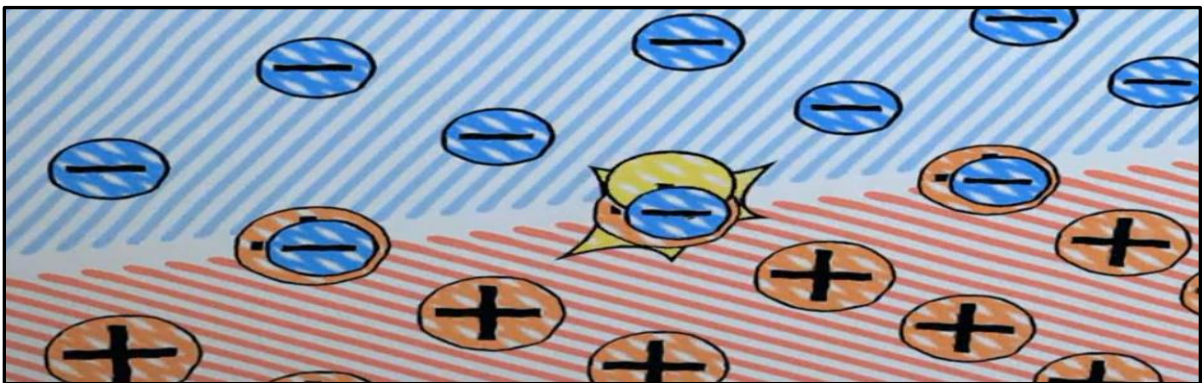


Abbildung 33: Lösen der Bindung durch Photonen⁵⁴

Beim Anschluss eines Verbrauchers wird der Stromkreis geschlossen und die Elektronen fließen über diesen durch die p-Schicht in die Raumladungszone zurück.⁵⁵

⁵³ <http://www.evi-hildesheim.de> (06.09.2012)

⁵⁴ <http://www.evi-hildesheim.de> (06.09.2012)

⁵⁵ <http://www.evi-hildesheim.de> (06.09.2012)

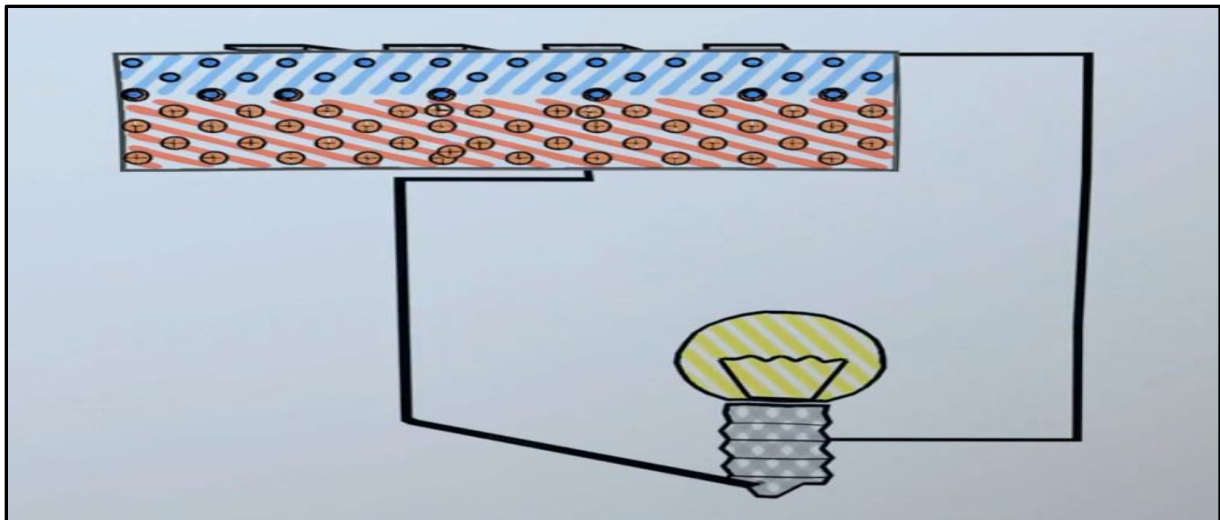


Abbildung 34: Photovoltaikzelle mit Verbraucher⁵⁶

2.5.2 Photovoltaikzellenarten

PV-Zellen bestehen, wie bereits beschrieben zumeist aus Silizium. Je nach Herstellungsverfahren unterscheidet man hierbei drei verschiedene Arten.

Monokristalline Zellen

Die monokristallinen Zellen bestehen aus einer Scheibe (Wafer) hochreinem, gezogenen Silizium-Einkristall. Diese Art der Zellen hat eine dunkelblaue bis schwarze Färbung und erzielt auf Grund des Einkristalls den besten Wirkungsgrad von 16-18%.

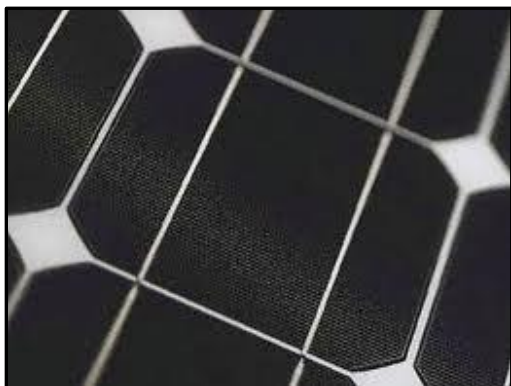


Abbildung 35: Monokristalline PV Zelle⁵⁷

⁵⁶ <http://www.evi-hildesheim.de> (06.09.2012)

⁵⁷ <http://de.over-blog.com> (06.09.2012)

Polykristalline Zellen

Die polykristallinen Zellen setzen sich aus mehreren verschiedenen Einzelkristallen (Körnern) zusammen. Dies ergibt sich aus dem Herstellungsvorgang, bei dem die Scheibe aus einem gegossenen Siliziumblock besteht. Beim Erstarren des flüssigen Siliziums entstehen verschieden ausgerichtete und abgrenzende Kristallkörner. Typisch und mit dem freien Auge erkennbar sind die bläulich schimmernden Korngrenzen. Polykristalline Zellen sind preisgünstiger, jedoch auf Grund von Verlusten an den Korngrenzen kommt es zur Beeinträchtigung des Wirkungsgrades, der bei etwa 14% liegt.

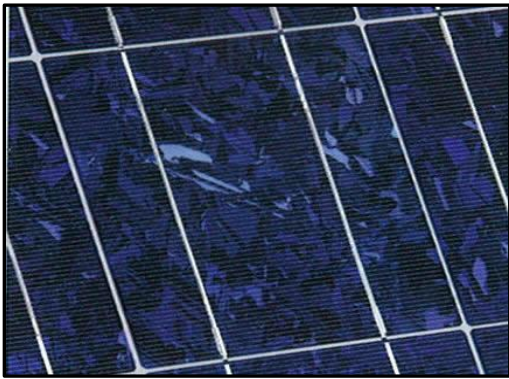


Abbildung 36: Polykristalline PV Zelle⁵⁸

Amorphe Zellen

Die amorphen Zellen, auch als Dünnschicht-Zellen bezeichnet, werden durch eine nicht kristalline amorphe Siliziumschicht auf eine Folie oder Glas aufgedampft. Diese haben im Sonnenlicht nur einen geringen Wirkungsgrad ca. 6%, bieten jedoch Vorteile bei geringem Licht oder Streulicht. Des Weiteren sind sie gegenüber den anderen in der Herstellung am preisgünstigsten.⁵⁹

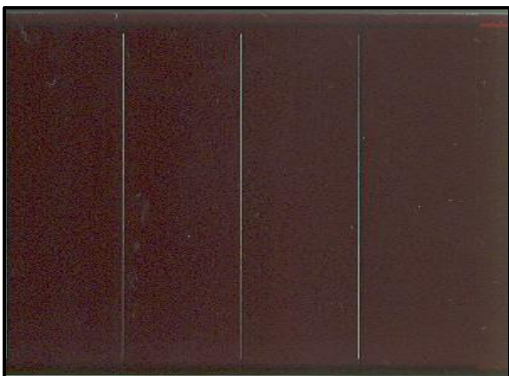


Abbildung 37: Dünnschicht / Amorphe PV-Zelle⁶⁰

⁵⁸ <http://www.wvla.at> (06.09.2012)

⁵⁹ Vgl. Molitor, P. (2009a), S. 50

⁶⁰ <http://www.w-quadrat.de> (06.09.2012)

2.5.3 Leistung

Um die verschiedenen Zellenarten und Module miteinander vergleichen zu können, wird dessen Leistung angegeben. Bezeichnet wird sie als Watt peak (Wp) bzw. Kilo Watt peak (kWp). Darunter versteht man aber nicht die Spitzenleistung der Anlage bei voller Sonneneinstrahlung, sondern es handelt sich bei der Bezeichnung der Leistung um normierte Testbedingungen. Die Wp der Module werden unter genormten Bedingungen: Bestrahlungsstärke von 1000 W/m², Air Mass von 1,5 und einer Modultemperatur von 25°C ermittelt.⁶¹

2.5.4 Ausrichtung der Photovoltaikzellen

Die Position und der Standort haben großen Einfluss auf den Ertrag der Photovoltaikanlage. Den besten Ertrag würde man erhalten, wenn die Sonnenstrahlen ständig in einem Winkel von 90° auf die Zellen treffen würden. Da sich der Verlauf der Sonne über den Tag und über das Jahr ändert, ist dies bei den stationär aufgestellten Zellen nicht möglich. In Österreich ist in diesem Fall eine Ausrichtung nach Süden mit einem Neigungswinkel von 30° optimal.⁶² Bei nachgeführten Systemen z.B. Zwei Achsennachführung, ist der Ertrag zwar um 20% höher, jedoch wird er durch den Mehraufwand zunichte gemacht. Ist die optimale Ausrichtung der PV-Module nicht gegeben, z.B. durch die Dachneigung, müssen zusätzliche Montagesysteme verwendet werden, um den optimalen Winkel zu erreichen. Auf Flachdächern (Dachneigung 7%) wird zwischen zwei Montagesystemen unterschieden. Unter dem Montagesystem „mit Anbindung“ ist ein System zu verstehen, bei dem die Aufständering mittels Schrauben fest mit der Dachkonstruktion in Verbindung steht. Bei dem Montagesystem „ohne Anbindung“ erfolgt keine Durchdringung der Dachhaut. Die Aufständering wird lediglich am Dach positioniert und unter Umständen mit Zusatzgewicht beschwert. Aus den beiden Systemen ergeben sich gewisse Vor- und Nachteile. Ein großes Maß an Flexibilität bei Dachveränderungen bietet dabei das System ohne Anbindung, ist jedoch kritischer in Hinsicht auf Windlast zu betrachten. Die Auswahl, welches Montagesystem für die Photovoltaikzellen zum Tragen kommt, ist schließlich von geographischen und bautechnischen Situationen abhängig.

2.5.5 Wechselrichter

Der Wechselrichter hat die Aufgabe den von den PV-Zellen bzw. Modulen erzeugten Gleichstrom in Wechselstrom umzuwandeln. Des Weiteren soll er die gesamte Anlage regeln, d.h. exakt und schnell im Maximum Power Point (MPP) arbeiten. Der MPP ist jener Punkt, an dem die größte Leistung entnommen werden kann. Darunter versteht man das Produkt von Strom und Spannung. Dieser Punkt ist nicht konstant, sondern hängt von der

⁶¹ Vgl. Molitor, P. (2009b), S. 27

⁶² <http://www.regioenergy.at> (06.09.2012)

Beleuchtungsstärke, Temperatur und von den eingesetzten Zellentypen ab. Darum ist eine einwandfreie Regelung unerlässlich um gute Wirkungsgrade zu erlangen.⁶³

2.5.6 Strom-Einspeiseform und Vergütung

Grundsätzlich gibt es zwei Formen der Netzeinspeisung: Volleinspeisung und Überschusseinspeisung. Bei der letzteren wird, wie die Bezeichnung besagt der erzeugte Strom eingespeist, wenn ein Überschuss vorliegt. Diese Überschusseinspeisung kommt jedoch nur bei Anlagen mit einer Leistung von maximal 10 kWp zum Tragen.⁶⁴ Der eingespeiste Strom wird je nach Menge in bestimmten Abstufungen rückvergütet. Bei größeren Anlagen wählt man entweder die Volleinspeisung oder verwendet den produzierten Strom intern. In der Griffner Pulverbeschichtung wird das Prinzip der Volleinspeisung gewählt. 2012 wurden Fördertarife mit einer Laufzeit von 13 Jahren abgeschlossen, die 23 Cent pro kWh vergüteten⁶⁵.

⁶³ Vgl. Molitor, P. (2009c), S. 58

⁶⁴ <http://www.pvaustria.at> (06.09.2012)

⁶⁵ <http://www.pvaustria.at> (06.09.2012)

2.6 Wärmerückgewinnung für die Abfallschlamm-trocknung

In den folgenden Kapiteln soll ein kurzer Überblick über die Situation des Abfallschlammes bzw. dessen Trocknung gegeben werden. Des Weiteren werden Informationen, die für die wirtschaftliche Berechnung notwendig sind genau erläutert.

2.6.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Abfallschlamm-trocknung fällt ausschließlich bei der KTL-11-Zonen Vorbehandlung an. Da es sich bei den im Kapitel 2.3 beschriebenen Becken um chemische Lösungen handelt, und die mit der Zeit von der Wirkung aufgebraucht und verschmutzt werden, müssen diese gewechselt werden. Man spricht auch von einer Verwerfung des Bades. Oft ist es aus wirtschaftlicher Sicht kostengünstiger nur einen Teilverwurf zu tätigen, d.h. es wird nicht das gesamte Bad gewechselt, sondern nur ein Teil und dieser wird mit frischen Bestandteilen nachbesetzt. Das verworfene Chemiebad wird in speziellen Silos zwischengelagert und anschließend von einem Entsorger abgeholt. Die Kosten der Entsorgung belaufen sich auf 195 € / t. Aufzeichnungen haben ergeben, dass pro Jahr maximal zweimal eine Entsorgung von jeweils 6 t stattfindet.

In weiterer Folge soll die Abwärme der thermischen Nachverbrennung zur Trocknung dieser verworfenen Bäder genutzt werden. Unter dieser Art der Trocknung versteht man eine Umwandlung von Suspensionen in trockenes Granulat. Der Grundgedanke der Griffner Pulverbeschichtung ist es, schlussendlich nur das trockene Granulat der Entsorgung zu überlassen, und dadurch eine Kostenersparung zu erzielen, da sich der Preis unabhängig ob flüssig oder fest auf die entsorgte Tonne bezieht.⁶⁶

2.6.2 Prinzip der Trocknung

Nach gewissen Recherchearbeiten würde für die Umwandlung der flüssigen Chemie in Feststoffe (Granulat) eine Sprüh-trocknung in Frage kommen. Das Prinzip ist denkbar einfach. Sprühdüsen spritzen die Flüssigkeit in eine beheizte Kammer oder in einen Turm. Die notwendige Wärme wird über Wärmetauscher von der thermischen Nachverbrennung bereitgestellt. Die fein zerstäubte Flüssigkeit wird vom Luftstrom getrocknet, kristallisiert und fällt zu Boden. Das Granulat wird durch einen Zyklonabscheider vom Luftstrom getrennt. Die Investitionskosten für eine Trocknungsanlage, die speziell auf die Anforderungen der Unternehmung angepasst sind, würden sich auf € 350.000 belaufen.⁶⁷

⁶⁶ Pototschnik, S. (2012a), Gespräch

⁶⁷ Prötsch, E. (2012), Gespräch

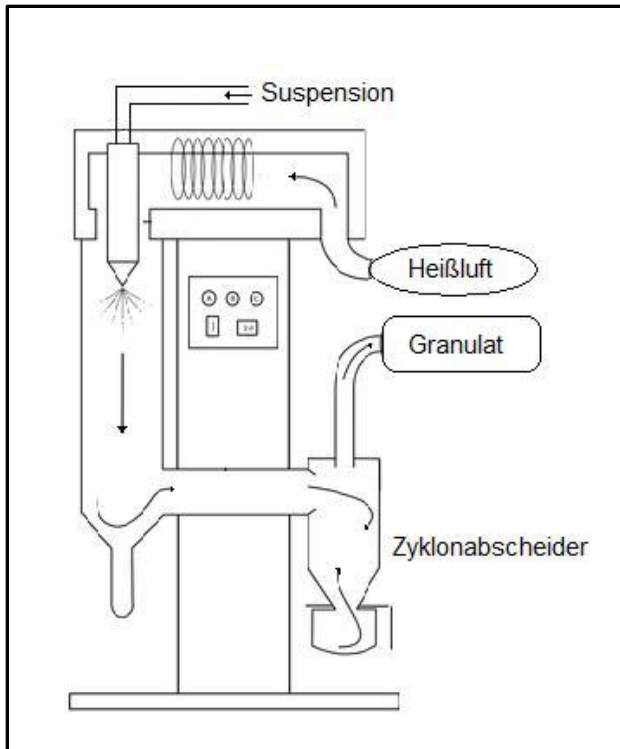


Abbildung 38: Prinzip der Sprühtrocknung⁶⁸

⁶⁸ Vgl. <http://foter.com/> (07.09.2012)

2.7 Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung

Es folgen die wirtschaftlichen Grundlagen, die für die Arbeit benötigt wurden.

2.7.1 Kalkulationszinssatz

Um die Vorteile von Investitionen mittels der folgenden dynamischen Investitionsmethoden (Kapitalwertmethode, Interne-Zinssatz-Methode) beurteilen zu können ist es erforderlich, einen Kalkulationszinssatz festzulegen. Unter diesem Zinssatz versteht man eine subjektive Mindestverzinsungsanforderung des Investors an sein Investitionsobjekt.⁶⁹ Somit stellt der Kalkulationszinssatz denjenigen Zinssatz dar, den ein Investor erhalten würde, wenn er die Investitionssumme am Kapitalmarkt anlegen würde. Dabei ist das Risiko bei der Investition und Anlage gleich groß. Für die näherungsweise Bestimmung des kalkulatorischen Zinssatzes stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung.

Bei Eigenfinanzierung

Tätigt man eine Investition aus der Eigenfinanzierung, so steht dem Investor die Anlage seiner finanziellen Mittel am Kapitalmarkt offen. Somit kann der Kalkulationszinssatz in diesem Fall niemals kleiner sein als der Habenzinssatz. Unter dem Habenzinssatz versteht man auch den Anlagenzinssatz. D.h. der Investor könnte anstatt in ein Projekt zu investieren, das Kapital zum Habenzinssatz anlegen.⁷⁰

Das Capital Asset Pricing Model (CAPM) ist das am stärksten verbreitete Modell zur Ermittlung des Kalkulationszinssatzes für Investitionen, die vollständig mit Eigenkapital finanziert werden.

$$i_E = i_B + \beta \cdot (\mu_M - i_B)$$

i_E beschreibt den Kalkulationszinssatz des Eigenkapitales, welcher sich aus einem risikolosen Zinssatz, und einer Risikoprämie zusammen setzt. Die Risikoprämie ist demnach das Produkt aus dem allgemeinen Marktrisiko ($\mu_M - i_B$) und dem investitionsspezifischen Risikofaktor β .⁷¹

Bei Fremdfinanzierung

Wird die Investition vollständig fremdfinanziert, so orientiert sich der Zinssatz am Sollzinssatz. Unter dem Sollzinssatz kann auch Zinssatz verstanden werden, den der Investor für die Überlassung der finanziellen Mittel zahlen muss. Der Kalkulationszinssatz darf demnach nicht kleiner sein als der Zinssatz.⁷²

⁶⁹ Vgl. Däumler, K. (2003a), S. 30

⁷⁰ Vgl. Däumler, K. (2003b), S. 31

⁷¹ Vgl. Hutzschenreuter, T. (2009a), S. 128

⁷² Vgl. Däumler, K. (2003c), S. 32

Bei Mischfinanzierung

Wird eine Investition zum Teil mit Eigenkapital und Fremdkapital finanziert, kann der Kalkulationszinssatz mittels Weighted Average Cost of Capital (WACC) berechnet werden. Damit setzen sich die Finanzierungskosten für eine Investition aus den Kosten der Inanspruchnahme für Eigenkapital und Kosten für die Inanspruchnahme von Fremdkapital zusammen. Der Kalkulationszinssatz für diese Finanzierungsart, ergibt sich als gewichteter durchschnittlicher Zinssatz aus Eigenkapitalkostensatz (i_E) und Fremdkapitalkostensatz (i_F) und ist wie folgt definiert.⁷³

$$WACC = i_E \cdot \left(\frac{EK}{GK} \right) + i_F \cdot \left(\frac{FK}{GK} \right)$$

EK Eigenkapital

FK Fremdkapital

GK Gesamtkapital

In der Praxis wird mit einem Kalkulationszinssatz von 8 bis 10% gerechnet.⁷⁴ Ist bei Investitionsprojekten jedoch mit Unsicherheiten zu rechnen, kommt zusätzlich noch ein Risikozuschlag hinzu und der Prozentsatz steigt. Die Folge daraus ist, dass der Kapitalwert umso niedriger ist, je unsicherer die Erwartungen sind.⁷⁵

2.7.2 Kapitalwertmethode und dessen Grundgedanke

Die Kapitalwertmethode gehört zu den dynamischen Investitionsmethoden und wird bevorzugt für Investitionsentscheidungen herangezogen. Dabei wird die Gesamtheit der Einzahlungen und Auszahlungen eines Investitionsobjektes verglichen. Weiters werden die Ein und Auszahlungen auf den Investitionsbeginn bei $t=0$ mit dem Kalkulationszinssatz abgezinst.⁷⁶ Der Kapitalwert kann positiv oder negativ sein. Bei einem negativen Wert ist von einer Investition abzuraten. Die Mindestverzinsung, die gefordert wird, kann nicht erfüllt werden und man erhält einen Barwertigen Verlust nach der berechneten Laufzeit. Ist der Barwert jedoch positiv, wurden die eingesetzten finanziellen Mittel wieder gewonnen und es wurde ein barwertiger Gewinn erzielt.⁷⁷

⁷³ Vgl. Hutzschenreuter, T. (2009b), S 157

⁷⁴ Vgl. Däumler, K. (2003b), S. 33

⁷⁵ Vgl. Blohm, H.; Lüder, K. (1991a), S. 232

⁷⁶ Vgl. Däumler, K. (2003c), S. 44

⁷⁷ Vgl. Olfert, K., Reichel, C. (2006), S. 210

Aufzinsen einer Zahlung

Beim Aufzinsen einer heute getätigten Einzahlung stellt sich die Frage, welchen Endwert dieser Betrag nach einer gewissen Laufzeit und einem bestimmten Zinssatz erreicht. Die Zinsen werden jeweils am Jahresende dem Kapital zugeschlagen.

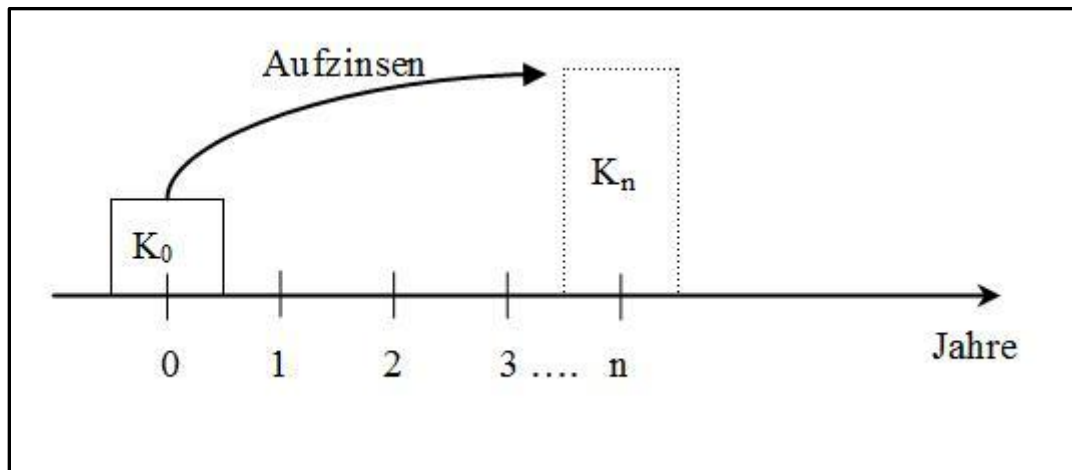


Abbildung 39: Aufzinsen einer Zahlung

K_0 ist der Gegenwartswert.

K_n stellt den Wert, der nach einer gewissen Laufzeit n erreicht wird, dar.

Prinzipiell kann der Endwert mit der folgenden Formel berechnet werden.

$$K_n = K_0 \cdot (1+i)^n$$

Der Prozentsatz i wird in Dezimalzahlen ausgedrückt, d.h. $p = \frac{p}{100} = i$ und der Term $(1+i)^n$

wird auch als Aufzinsungsfaktor bezeichnet.

Abzinsen einer Zahlung

Das Gegenteil des Aufzinsens ist das Abzinsen. In diesem Fall stellt sich die Frage welchen Gegenwartswert hat ein nach n Jahren fälliger Betrag bei einem festgelegten Zinssatz i .

Abbildung 40 soll dieses Beispiel veranschaulichen.

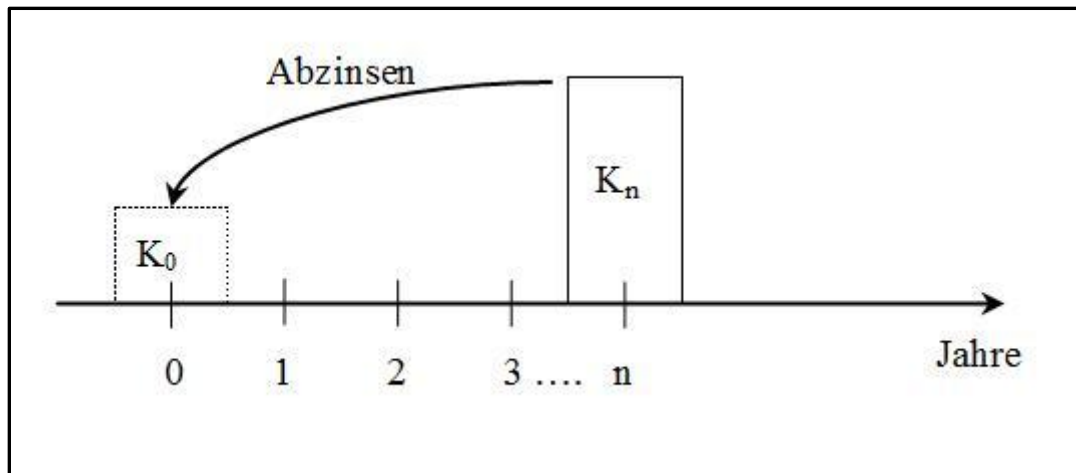


Abbildung 40: Abzinsen einer Zahlung

Die Formel für das Abzinsen lässt sich ganz einfach herleiten, indem man die vorhergehende Gleichung für das Aufzinsen nach der Unbekannten K_0 auflöst. Dadurch erhält man:

$K_0 = K_n \cdot \frac{1}{(1+i)^n}$; der Term $\frac{1}{(1+i)^n}$ wird in diesem Fall als Abzinsungsfaktor (AbF) bezeichnet.⁷⁸

Kapitalwert bei nicht konstanten Jahreszahlungen

In der praxisnahen Anwendung des Kapitalwertes kommt es häufig zu nicht konstanten Jahreszahlungen. Unter diesen Jahreszahlungen sind die Einnahmeüberschüsse (Einnahmen – Ausgaben) zu verstehen. Die Nichtkonstanz der Zahlungen lässt sich durch Folgeinvestitionen, hervorgerufen durch Reparaturkosten und Wartungskosten, die in der Zukunft getätigt werden müssen, erklären. Aus diesem Grund muss ein Abzinsen eines jeden einzelnen Jahresbetrages erfolgen. Eine Investition löst zum Zeitpunkt $t=0$ eine Anschaffungsauszahlung aus und ergibt am Ende der Nutzungsdauer einen Liquidationserlös bzw. Restwert. Diese beiden Zahlungen dürfen in der Kapitalwert-Berechnung nicht vernachlässigt werden. Der Kapitalwert lässt sich damit folgendermaßen ermitteln:

$$C_0 = (e_1 - a_1) \cdot \text{AbF}_1 + (e_2 - a_2) \cdot \text{AbF}_2 + (e_3 - a_3) \cdot \text{AbF}_3 + \dots + (e_n - a_n + R) \cdot \text{AbF}_n - A$$

e_n = laufende Einzahlungen in der Periode

a_n = laufende Auszahlungen in der Periode

R = Restwert der Investition nach der Nutzungsdauer

A = Anschaffungskosten / Auszahlung der Investition⁷⁹

⁷⁸ Vgl. Däumler, K. (2003d), S. 44 ff.

⁷⁹ Vgl. Däumler, K. (2003e), S. 69 ff.

Kriterium des Kapitalwertes

Wie schon anfangs erwähnt wird die Kapitalwertmethode für Investitionsentscheidungen herangezogen. ($C_0 \geq 0$) Eine Investition mit positivem Kapitalwert ist von Vorteil. Ein negativer ist unwirtschaftlich und von einer Investition abzuraten. Ist der Kapitalwert gleich 0, spielt es keine Rolle, ob man in ein Objekt investiert, oder das Geld zum Kalkulationszinssatz anlegt.⁸⁰

⁸⁰ Vgl. Blohm, H.; Lüder, K. (1991b), S. 60

2.7.3 Interne Zinssatz – Methode

Die interne Zinssatz–Methode auch interne Zinsfuß-Methode genannt, ist das zweite dynamische Verfahren, mit denen Investitionsentscheidungen getroffen werden können. Den internen Zinssatz, den eine Investition abwirft wird auch als Effektivzins, Rendite, interner Ertragssatz, Kapitalertragsrate, Internal Rate Of Return, oder Discounted Cash Flow (DCF) Rendite bezeichnet.⁸¹

Kriterium des internen Zinssatzes

Das Kriterium dieser Methode ist demnach wie folgt definiert: Ist der interne Zinssatz größer als der geforderte des Investors, so ist die Investition von Vorteil.

$$r \geq i$$

r = Rendite

i = geforderte Zinssatz (kalkulatorische Zinssatz)

Hauptaugenmerk bei Entscheidungsmöglichkeiten zwischen mehreren Investitionen ist die Maximierung der Rendite.

Berechnung des internen Zinssatzes

Zur näherungsweisen Bestimmung des internen Zinssatzes wird ein numerisches Verfahren angewendet. Dabei kann man wie folgt vorgehen:

1.) Wahl eines beliebigen Zinssatzes i_1 und die daraus folgende Berechnung des dazugehörigen Kapitalwertes C_{01} .

Die Berechnung des Kapitalwertes wurde beim vorhergehenden Kapitel erläutert.

2.) Wahl eines zweiten Zinssatzes mit folgender Bedingung

$$i_2 > i_1, \text{ falls } C_{01} > 0$$

$$i_2 < i_1, \text{ falls } C_{01} < 0$$

Somit erhält man einen positiven und einen negativen Kapitalwert.

3.) Rechnerische oder graphische Ermittlung des internen Zinssatzes

Der in Abbildung 41 dargestellte Kapitalwertverlauf kann mittels graphischer oder rechnerischer Lösung zum internen Zinssatz r führen.

Bei der rechnerischen Methode wird der Kapitalwertverlauf durch eine Gerade ersetzt. Zwischen den beiden Kapitalwerten $C_{0,1}$ und $C_{0,2}$ – einmal positiv und einmal negativ, wird mittels Interpolation $r > r'$ der interne Zinssatz bestimmt.

⁸¹ Vgl. Däumler, K. (2003e), S. 58

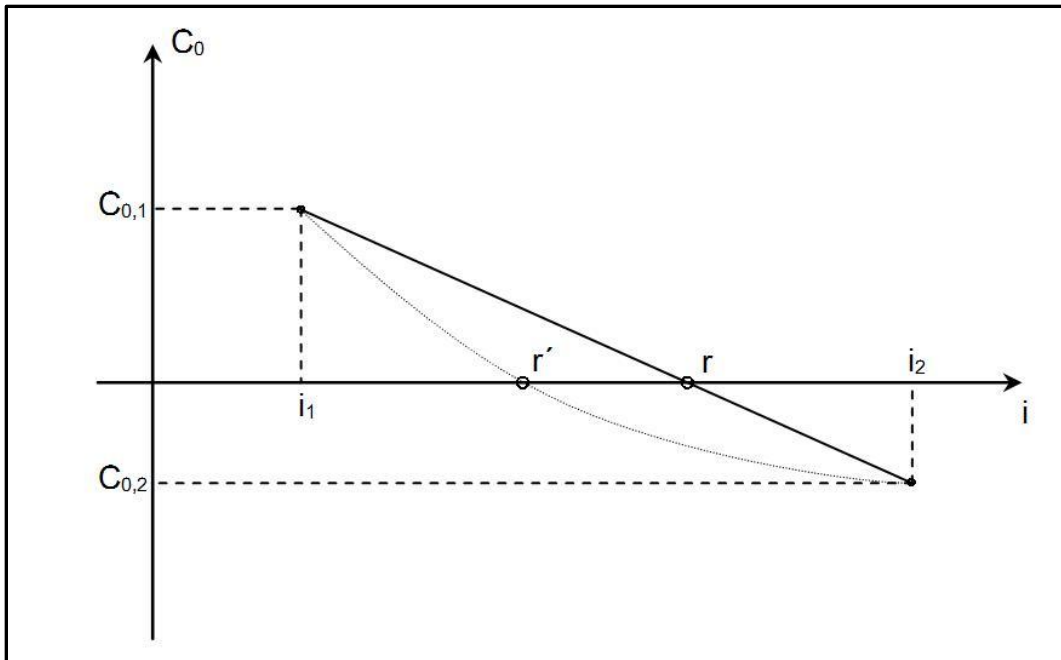


Abbildung 41: Interpolation des internen Zinssatzes

$$r = i_1 - C_{0,1} \cdot \frac{i_2 - i_1}{C_{0,2} - C_{0,1}}$$

Mit der genannten Gleichung lässt sich für alle Investitionstypen der interne Zinssatz r berechnen.⁸²

Zum gleichen Ergebnis führt auch die graphische Lösung, indem man am Schnittpunkt der Abszisse den Zinssatz abliest.

⁸² Vgl. Blohm, H.; Lüder, K. (1991b), S. 92

2.7.4 Amortisationsrechnung

Unter der Amortisationsrechnung bzw. Amortisationsdauer versteht man jene Zeit, die vergeht, bis die finanziellen Mittel, die bei der Investition getätigt worden sind durch Einnahmen dieser gedeckt werden. Man unterscheidet bei der Amortisationszeit zwischen statischer und dynamischer. Der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Amortisationszeit liegt nur darin, dass bei der dynamischen die Barwerte und bei der statischen die Zeitwerte der Einnahmeüberschüsse in die Rechnung eingesetzt werden.

Dynamische Amortisation

Die dynamische Amortisationsdauer ist jene kritische Laufzeit, die ein Investitionsobjekt durchlaufen muss, damit der Kapitalwert nicht negativ ist. Somit gibt diese Zeit an, wie lange es dauert, einen positiven Barwert zu erreichen, der mindestens so groß ist wie die getätigte Investitionssumme.⁸³

Bei der Berechnung der dynamischen Amortisationszeit werden die Barwerte unter Berücksichtigung von etwaigen Auszahlungen in der jeweiligen Periode (Reparaturkosten, Wartungskosten, etc.) kumuliert. Beim Erreichen der Investitionssumme, des Kumulationsvorganges ist zumeist, um ein genaues Ergebnis zu erhalten, eine Interpolation zwischen den beiden Perioden von Nöten.

Statische Amortisation

Die Berechnung der statischen Amortisationszeit ist denkbar einfach. Bei Annahme jährlich konstanter Einnahmeüberschüsse, welche sich aus der Summe von Gewinn, kalkulatorische Abschreibung und kalkulatorische Zinsen zusammensetzen, wird die getätigte Investitionssumme durch diese dividiert. Im Fall von erheblichen Schwankungen der Einnahmeüberschüssen, bezogen auf die Nutzungsdauer, muss eine Kumulationsrechnung angesetzt werden. Der Zeitpunkt an dem die Investitionssumme dem kumulierten Betrag gleicht, ist die Amortisationszeit. Die Verwendung von kalkulatorischen Größen, Bildung von Jahresdurchschnittswerten und Nichtberücksichtigung von Zeitpunkt des Zahlungsanfalls, sind die wesentlichen Unterschiede zum dynamischen Verfahren.

Amortisationskriterium

Die maximale zulässige Amortisationszeit ist eine stets subjektiv ausgelegte Frist. Somit legt sie jedes Unternehmen bzw. Investor fest. Dadurch ergibt sich das Kriterium, dass die errechnete Zeit niemals über der festgelegten oder geplanten Nutzungsdauer des Investitionsobjektes liegen darf.⁸⁴

⁸³ Kaserer, C. (2009), S 103

⁸⁴ Vgl. Däumler, K. (2003e), S. 188 ff.

2.7.5 Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung zählt ebenfalls zu den statischen Investitionsberechnungsmethoden. Es werden alle Kosten, die sich auf das jeweilige Investitionsobjekt beziehen mit anderen Alternativen gegenübergestellt. Die kostengünstigere Variante wird somit ermittelt.⁸⁵

Alternativenvergleich und Kriterium

Bei dem Alternativenvergleich geht es um die Auswahl verschiedener Investitionen. Die Auswahl, welche Investition am kostengünstigsten ist, kann auf Jahresdurchschnittskosten, Kosten pro produzierte Mengeneinheit, oder wie in dieser Arbeit Kosten pro Leistungseinheit getroffen werden. Aus dieser Beschreibung der Kostenvergleichsrechnung beim Alternativenvergleich ist dessen Kriterium schnell ersichtlich. Investition A ist wirtschaftlicher als Investition B, wenn die durchschnittlichen Gesamtkosten geringer als die von B sind, oder die Kosten pro Leistungseinheit geringer sind als die von Investition B.

Beschränktheit der Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung unterstellt bei dieser Methode, dass die Erträge aller Investitionen gleich hoch sind. Somit entspricht die Logik der Kostenvergleichsrechnung, dass sie bei Rationalisierungsinvestitionen, bei denen sich die Ertragsseite nicht ändert, angewendet wird. Kritisch wird es, wenn bei den Alternativvergleichen Änderungen auf der Ertragsseite zu verzeichnen sind. Ist dies der Fall, dann ist diese Methode nur zulässig, wenn sich bei allen Alternativen die gleichen Ertragsänderungen einstellen.⁸⁶

⁸⁵ Vgl. Blohm, H.; Lüder, K. (1991c), S. 156

⁸⁶ Vgl. Blohm, H.; Lüder, K. (1991d), S. 164

3 Praktische Problemlösung

Nach ausführlichen Erklärungen der Grundlagen folgen die praktischen Ausführungen, bei denen die behandelten Punkte im Kapitel 2 Anwendung finden.

3.1 Ermittlung des Energiebedarfes der Griffner Pulverbeschichtung

Um mit möglichst genauen Werten in die wirtschaftliche Berechnung zu gehen, ließ das Unternehmen Wärmemengemessungen von der Fa. Flexim durchführen. Dabei kam ein Ultraschallmessgerät der Marke Flexim FLUXUS F601 für eine Woche zum Einsatz. Zur zusätzlichen Überwachung der Temperaturen der einzelnen Becken, stellte mir das Unternehmen Anton Paar ein Präzisionstemperaturmessgerät mit Loggerfunktion der Bezeichnung MKT-50 zur Verfügung. Die genauen Messprinzipien werden hier nicht genauer ausgeführt. Die Messungen wurden für beide Vorbehandlungsprozesse (Quertaktanlage und KTL) durchgeführt. Um die genaue Aufteilung des gesamten Prozesswärmebedarfs ermitteln zu können, wurden über eine Woche Wärmestrom-Messungen an den beiden Heißwasser-Hauptverteiltern durchgeführt. Gemessen wurden der Volumenstrom sowie die Vor- und Rücklaufemperatur des Heißwassers. Die Messungen erfolgten eingriffslos an den heißwasserführenden Rohren (Vorlauf und Rücklauf).

3.1.1 Messung Quertaktanlage

Die chemische Vorbehandlung der Quertaktanlage beinhaltet, wie in den Grundlagen beschrieben vier aktive Becken. Um die genaue Wärmemenge während des Betriebes zu erfassen, wurden direkt an der Anlage die Messungen durchgeführt. Dabei wurden die einzelnen Schichten (Zweischichtbetrieb in der Unternehmung) separiert. Auch der Standbybetrieb, d.h. die Zeit, in der keine Produktion stattfindet, die Becken aber auf Temperatur gehalten werden, wurde ebenfalls in die Ermittlungen miteingebunden.

Abbildung 42 stellt die Messungen der Vormittagsschicht dar. Es soll hier angemerkt werden, dass die dargestellte Abbildung nur ein Auszug aller gemessenen Szenarien ist. Eine graphische Auswertung aller vorgenommenen Messungen und Szenarien würde den Rahmen überziehen. Das gesamte Messprotokoll und dessen Ergebnisse werden im Punkt 3.1.3 *Berechnung Gesamtwärmebedarf* in tabellarischer Form bereitgestellt. Die Auswertung zeigt, dass zu Spitzenlasten eine Wärmeleistung von über 90 kW benötigt wird, um die Becken zu heizen. Die Temperaturen T1 und T2 sind die an der Ringleitung gemessene Vorlauf- und Rücklaufemperaturen.

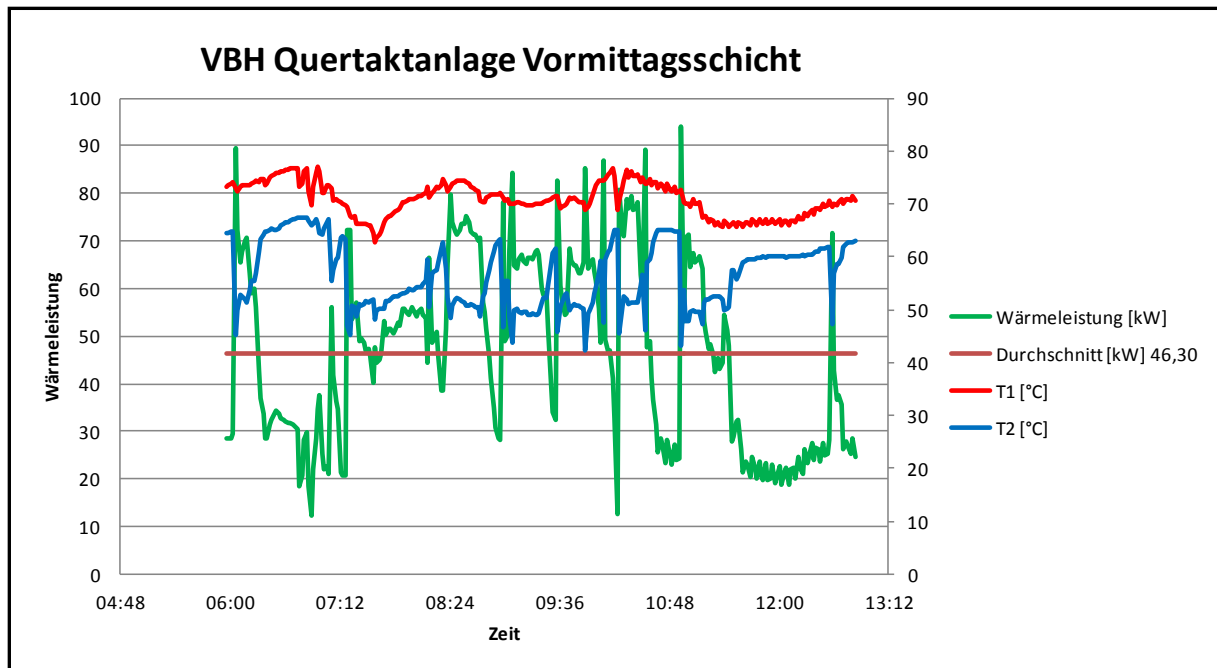


Abbildung 42: Messung an der Quertaktanlage

3.1.2 Messung KTL-Anlage

Drei beheizte Tauchbecken mit einem Fassungsvermögen von jeweils ca. 30 m³ stellen bei dieser Anlage den zu messenden Wärmebedarf. Der Messvorgang und dessen Szenarien (einzelne Schichten) sind ident dem der Quertaktanlage. Der einzige Unterschied zur Quertaktanlage liegt im Standbybetrieb. Hierbei wird nur das Becken der Zinkphosphatierung weiter beheizt. Die restlichen Becken werden niedergefahren. Am Montag in der Früh wird zur Unterstützung von den verwendeten Beheizungsvarianten das BHKW 250 aktiviert. Dieser Vorgang wird ebenfalls in der gesamten Energiebilanz berücksichtigt. Wie auch bei der Auswertung der Quertaktanlage werden alle Ergebnisse der KTL später in tabellarischer Form zusammengefasst. Abbildung 43 zeigt die Messauswertung an einem Montag in der Früh. Durchschnittlich werden ca. 163 kW für eine Dauer von 2 Stunden, zum Hochfahren der Becken benötigt. Nach dem Hochfahren übernehmen die Gasheizkessel und / oder das BHKW 85 das Beheizen der Becken.

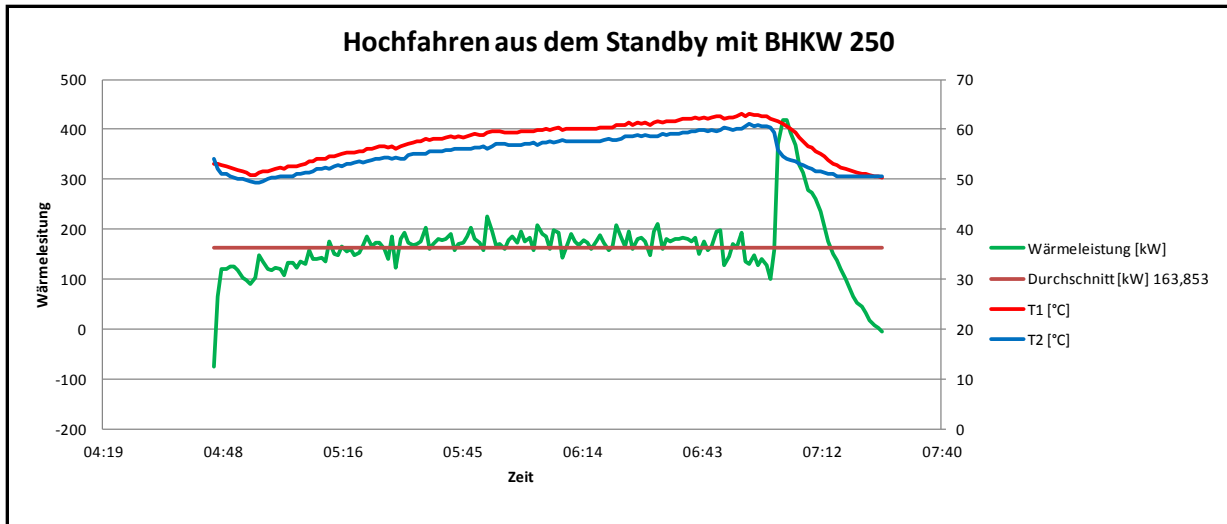


Abbildung 43: Messung beim Hochfahren aus dem Standby

3.1.3 Berechnung des Gesamtwärmebedarfes

Wie schon anfangs erwähnt wurden die Messungen über einen Zeitraum von einer Woche an beiden Anlagen der Griffner Pulverbeschichtung angestellt. Es wurden alle Szenarien gemessen und ausgewertet. Tabelle 1 ist die Zusammenfassung aller Ergebnisse.

Situationen	KTL VBH	Quertakt VBH	Stunden/Tag	Stunden / Woche
	[kW]	[kW]		
Wärmeleistung im Betrieb	46,6		10	50
Wärmeleistung Vm Schicht		46,3	8	40
Wärmeleistung Nm Schicht		24,62	8	40
Wärmeleistung Standby	4,64	22,43	7	35
Wärmeleistung Standby über das WE	4,64	26,85		56
Aus Standby Hochfahren	163,84			2,8
Wärmebedarf [kWh]/ Woche	3210,992*	5125,45**		
Gesamt Wärmebed. [kWh] / Woche				8336,442
Gesamt Wärmebed. [kWh] / a				433.494,98 kWh/a

Weitere Anmerkungen: * = $\sum(KTL\ VBH_{Situation} \times \text{Stunden} / \text{Woche})$
 ** = $\sum(Quertakt\ VBH_{Situation} \times \text{Stunden} / \text{Woche})$

Tabelle 1: Gesamtwärmebedarf beider Anlagen

Die Griffner Pulverbeschichtung arbeitet im Zweischichtbetrieb von 06:00 – 14:30 und 14:30 – 23:00. Die KTL ist pro Arbeitstag 10 Stunden im Einsatz, d.h. ein Betrieb in der Nachmittagschicht von 2 Stunden. Die Quertaktanlage ist im Gegensatz pro Schicht immer die vollen 8 Stunden in Betrieb. Zum besseren Verständnis und zur besseren Übersicht wurde eine Stundendarstellung über eine Woche erstellt (siehe Tabelle 2). Darin sind Betrieb, Standby und das Hochfahren der Becken farblich gekennzeichnet. Mit dieser Grundlage und den Ergebnissen der Messungen, wurde der Gesamtwärmebedarf beider Anlagen errechnet.⁸⁷

MO	DI	MI	DO	FR	SA	SO	MO
06:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
07:00	01:00	01:00	01:00	01:00	01:00	01:00	01:00
08:00	02:00	02:00	02:00	02:00	02:00	02:00	02:00
09:00	03:00	03:00	03:00	03:00	03:00	03:00	03:00
10:00	04:00	04:00	04:00	04:00	04:00	04:00	04:00
11:00	05:00	05:00	05:00	05:00	05:00	05:00	05:00
12:00	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00
13:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00
14:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00
15:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	09:00
16:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00	10:00
17:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00	11:00
18:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00	12:00
19:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00	13:00
20:00	14:00	14:00	14:00	14:00	14:00	14:00	14:00
21:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00
22:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00	16:00
23:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00	17:00
00:00	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00	18:00
	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00
	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00	20:00
	21:00	21:00	21:00	21:00	21:00	21:00	21:00
	22:00	22:00	22:00	22:00	22:00	22:00	22:00
	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00	23:00
	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
	Betrieb						
	Standby						
	Hochfahren aus dem Standby						

Tabelle 2: Stundendarstellung

⁸⁷ Pototschnik, S. (2012b), Gespräch

Somit ergibt sich ein Gesamtbedarf an Wärme von 433.495 kWh pro Jahr. Es soll festgehalten werden, dass für die Berechnung des Gesamtbedarfes die Durchschnittswerte der Messungen herangezogen worden sind. Mit diesem Wert folgen nun die weiteren wirtschaftlichen Berechnungen und somit auch die Beantwortung des ersten Zieles, welches sich mit dem Thema der Wärmeabdeckung und Beheizungsvarianten beschäftigt.

3.2 Berechnung der Betriebskosten

Der in 3.1 ermittelte Wärmebedarf wird nun bei dieser Berechnung eingebracht, und somit werden die Betriebskosten ermittelt. Ebenfalls fließen spezifische Größen wie Gasverbrauch und Nutzungsgrade der beiden Beheizungsvarianten in den folgenden Punkten mit ein.

3.2.1 Betriebskosten Blockheizkraftwerk

Die technischen Daten und das Prinzip des BHKW 85 wurden bereits in den Grundlagen erklärt. Zum Abdecken des gesamten Wärmebedarfes müsste das BHKW mit einer thermischen Leistung von 120kW 3612,45 Stunden in Betrieb sein. Innerhalb des Betriebes kommt es neben der Wärmeabdeckung auch zur Stromproduktion. Dieser Strom wird betriebsintern genutzt und muss somit nicht vom Energieversorger bezogen werden. Bei einem Gasverbrauch von 9,6 m³/h und Gaskosten von 0,875 €/kg belaufen sich die Ausgaben auf € 60.992,74. Davon müssen die Einnahmen durch die Stromproduktion abgezogen werden. Somit ergeben sich zur Abdeckung des Bedarfes mit dem BHKW 85 effektive Betriebskosten von € 12.759,20.

I	Wärmebedarf [kWh/a]		433.494,98
II	Thermische Leistung [kW]	*	120
III	el. Leistung [kW]	*	80
IV	Primärenergieeinsatz [m ³ /h]	**	9,6
V	Gaskosten [€/kg]	***	0,875
VI	Stromkosten [€/kWh]	***	0,167
VII = I:II	Betriebsstunden[h]		3.612,46
VIII = VII*IV	Gasverbrauch[m ³]		34.679,60
IX = VIII*2,01****	Gasverbrauch in [kg]		69.705,99
Ausgaben			
X=IX*V	Gasbezugskosten		€ 60.992,74
Einnahmen			
XI=VII*III*VI	Stromerzeugung		€ 48.233,54
= X-XI	Betriebskosten		€ 12.759,20

Weitere Anmerkungen: * Herstellerangaben
 ** Messungswert
 *** Aufzeichnungen der Buchhaltung
 **** spezifischen Gewicht des Propangases [Kg/Nm³]

Tabelle 3: Betriebskosten BHKW 85

In dieser Berechnung soll festgehalten werden, dass der Gasbezugspreis nicht konstant ist, sondern bei jeder Lieferung schwankt. In der Berechnung wurde der bisher höchst bezahlte Preis herangezogen. Die mit € 0,167 bezifferten Stromkosten bleiben nach einer Vertragsbindung des Energielieferanten über drei Jahre konstant. Die Umrechnung des Gasverbrauches von m³ in kg erfolgte mit dem Faktor 2,01, der dem spezifischen Gewicht des gasförmigen Propangases von 2,019 Kg/Nm³ entspricht.⁸⁸

3.2.2 Betriebskosten Gasheizkessel

Die Berechnung der Betriebskosten der beiden Gasheizkessel ist annähernd identisch der des Blockheizkraftwerkes. Das einzige Problem, das bei der Berechnung auftrat, war, dass die Gasheizkessel keinen gesonderten Gasverbrauchszähler haben. Um dieses Problem zu lösen, wurde der Weg über den Primärenergieeinsatz gewählt. Mit 3703,82 Stunden und einer thermischen Leistung von 117kW würden die Gasheizkessel den Wärmebedarf decken. Eine Multiplikation der Stunden mit der Primärleistung ergibt den Primärenergieeinsatz oder anders ausgedrückt: So viel Energie in Form von Gas muss den Kesseln zugeführt werden, um den Bedarf zu decken. Der Heizwert vom Propangas beträgt 28,83 kWh/m³.⁸⁹ Mit dieser Information rechnet man auf den Gasverbrauch und die damit verbundenen Betriebskosten zurück.

I	Wärmebedarf [kWh/a]		433.494,98
II	Thermische Leistung [kW]	*	117
III	Primärleistung [kW]	*	123
IV	Gaskosten [€/kg]	***	0,875
V= I:II	Betriebsstunden [h]		3.703,82
VI=V*III	Primärenergieeinsatz [kWh]		456.310,51
VII=VI : 25,83 ****	Gasverbrauch [m ³]		17.665,91
VIII = VII*2,01	Gasverbrauch in [kg]		35.508,48
Ausgaben			
IX=VIII*IV	Gasbezugskosten		€ 31.069,92
	Betriebskosten		€ 31.069,92

Weitere Anmerkungen: * Herstellerangaben
 ** Messungswert
 *** Aufzeichnungen der Buchhaltung
 **** Heizwert von Propangas

Tabelle 4: Betriebskosten Gasheizkessel

⁸⁸ <http://www.pangas.ch> (13.09.2012)

⁸⁹ <http://www.propan.com> (13.09.2012)

3.3 Rentabilitätsrechnung BHKW vs. GHK

In diesem Kapitel soll die Frage geklärt werden, ab welchen Energiebezugspreisen sich welche Variante der Beckenbeheizung rentiert.

3.3.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Ausgangssituation und Problemstellung wurde bereits in der Einleitung ausführlichst beschrieben. Die Frage, ab welchen Strom und Gasbezugskosten rentiert sich welche Variante, soll hier nur kurz das erste Ziel der Arbeit wieder ins Gedächtnis rufen.

3.3.2 Rechnerische Lösung

Bei der rechnerischen Lösung handelt es sich um eine lineare Gleichung mit einer Unbekannten.

$$\text{Gaskosten BHKW [€]} - (\text{produzierter Strom [kWh]} \cdot \text{Strompreis [€/kWh]}) = \text{Betriebskosten GHK [€]}$$

Die zu ermittelnde Unbekannte ist in diesem Fall der Strompreis. In den Zahlen der vorhergehenden Berechnungen sieht die Gleichung wie folgt aus.

$$60.999,74 \text{ [€]} - (288996,8 \text{ [kWh]} \cdot X \text{ [€/kWh]}) = 31.069,92 \text{ [€]}$$

Die Auflösung der Gleichung nach der Unbekannten X ergibt: $X = 0,1035 \text{ [€/kWh]}$

Somit kann mit dieser Rechnung die Antwort gegeben werden, dass sich bei einem Absinken des Strompreises unter $0,1035 \text{ €/kWh}$ der Betrieb des Blockheizkraftwerkes 85 nicht mehr rentiert. Des Weiteren muss jedoch angemerkt werden, dass in dieser Form der Berechnung der Gaspreis von $0,875 \text{ €/kg}$ als konstant angenommen wurde, d.h. für jede Gaslieferung gilt dieser Preis.

3.3.3 Graphische Lösung

In der vorhergehenden, rechnerischen Lösung wurde der Gaspreis als konstant angenommen. Da aus Aufzeichnungen des Unternehmens bekannt ist, dass für jede Gaslieferung unterschiedliche Preise bezahlt werden, soll dieser Punkt in der graphischen Lösung berücksichtigt und genauer betrachtet werden. Die Strompreise werden mittels Vertrag mit dem Energielieferanten über eine Laufzeit von drei Jahren abgeschlossen und spielen im Betrachtungszeitraum des Gaslieferzyklus von 14 Tagen nur eine sekundäre Rolle. Grundlagen der graphischen Auswertung sind die vorhin erwähnte Gleichung und berechneten Betriebskosten.

In der Auswertung sind die Betriebskosten von Gasheizkessel und Blockheizkraftwerk unabhängig von Strom- und Gasbezugspreis aufgetragen. Liegt der Schnittpunkt von Strombezugskosten und den Gasbezugskosten unter der roten dicken Linie, welche die Betriebskosten des Gasheizkessels darstellt, so ist der Betrieb des Blockheizkraftwerkes profitabler.

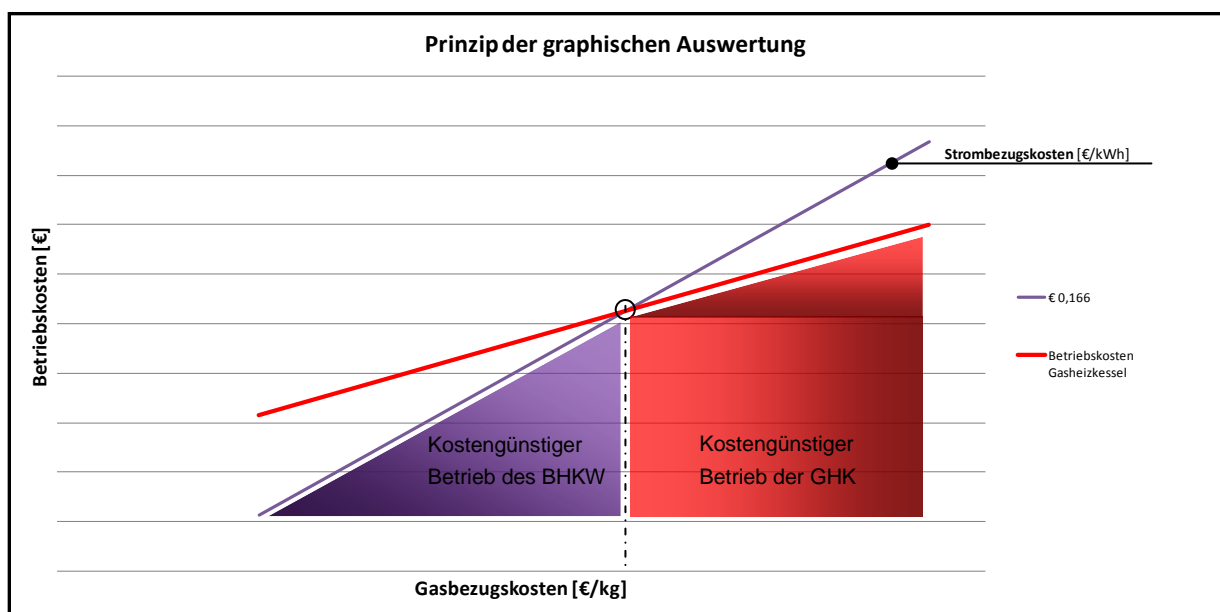


Abbildung 44: Prinzip der graphischen Auswertung

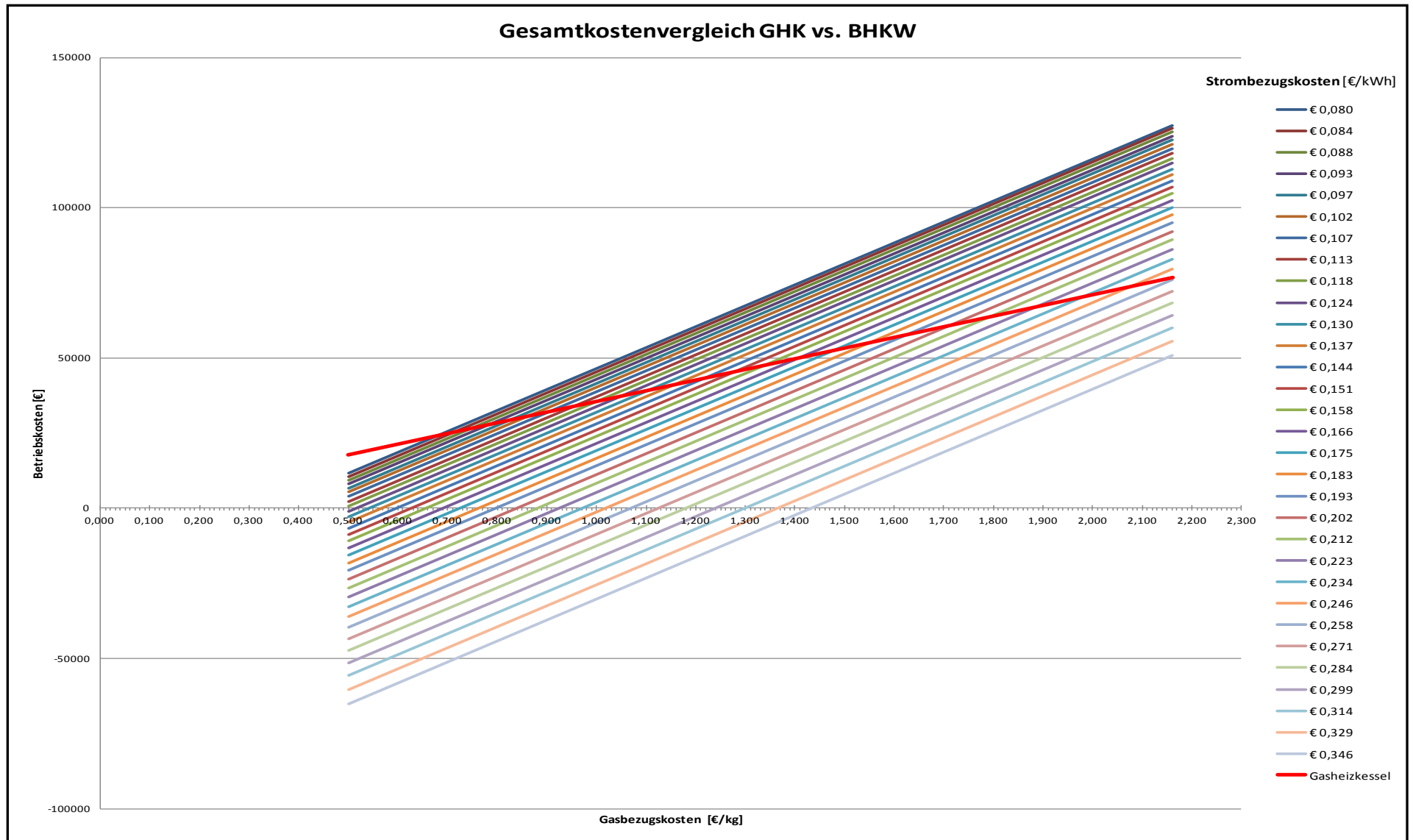


Abbildung 45: Graphische Lösung

3.3.4 Ergebnisse und Interpretation

Aufgrund genauer Erhebungen bezüglich des Wärmebedarfes und dessen verbundenen Kosten ist es nun dem Unternehmen möglich, den bestmöglichen Einsatz ihrer Wärmeerzeuger (BHKW / GHK) zu bestimmen. Eine graphische Auswertung der Ergebnisse gibt dem Unternehmen zusätzlich schnelle Informationen in Hinsicht auf Entscheidungen beim Primärenergie-Einkauf

3.4 Kostendefinition der Berechnungen

Bevor die Berechnung der Amortisation und des Kapitalwertes durchgeführt wurde, mussten zuerst die Kosten definiert werden. Darunter versteht man die Einnahmen und Ausgaben. Es wurden Einsparkosten gegenüber dem Betrieb der Gasheizkessel als Erlöse definiert. Bei den Ausgaben musste man ein wenig separieren und die sind wie folgt definiert. Ebenfalls musste der Restwert der Anlage errechnet werden.

Wartungskosten

Wartungskosten, die jede Periode als Ausgaben in die Berechnung mit einfließen, sind jene Kosten, die dazu verwendet werden, dass die Funktion des BHKW gewährleistet wird. Darunter fallen Ölservice, Filterwechsel und Zündkerzenwechsel. Alle 14 Tage wird bei Bedarf der Ölstand kontrolliert und korrigiert.

Reparaturkosten

Laut Hersteller muss nach dem Erreichen von 30.000 Betriebsstunden eine große Revision des gesamten Blockheizkraftwerkes durchgeführt werden. Diese Kostenposition wird ebenfalls in die Amortisationsrechnung aufgenommen und als Reparaturkosten / Folgeinvestition geführt.

Restwertberechnung von BHKW

Die Nutzungsdauer des Blockheizkraftwerkes wurde vom Unternehmen mit 15 Jahren eingestuft. Für die Amortisationszeitberechnung ist es nun von Nöten, den Restwert der Anlage zu ermitteln, da dieser bei Verkauf nach der Nutzungsdauer einen Liquidationserlös darstellt, der ebenfalls berücksichtigt wird. Für die Berechnung des Restwertes wurde eine Exponentialfunktion für Wachstum und Zerfall hergenommen, wobei bei der Berechnung des Restwertes nach 15 Jahren das Zweitere zum Tragen kommt. Die Graphische Auswertung ist in Abbildung 45 dargestellt.

$f(t) = a \cdot e^{k \cdot t}$, wobei $k = \ln\left(1 - \left(\frac{p}{100}\right)\right)$ sind die zur Berechnung des Wertverlustes

notwendigen Formeln.

a = Anfangswert der Anlage (€ 118.430)

k = Zerfallskonstante

t = Jahr

p = Prozentsatz des Wertverlustes pro Jahr

Jahre	Minderung
1	€ 100.665,50
2	€ 85.565,68
3	€ 72.730,82
4	€ 61.821,20
5	€ 52.548,02
6	€ 44.665,82
7	€ 37.965,94
8	€ 32.271,05
9	€ 27.430,39
10	€ 23.315,84
11	€ 19.818,46
12	€ 16.845,69
13	€ 14.318,84
14	€ 12.171,01
15	€ 10.345,36

Tabelle 5: Restwert des BHKW nach ND

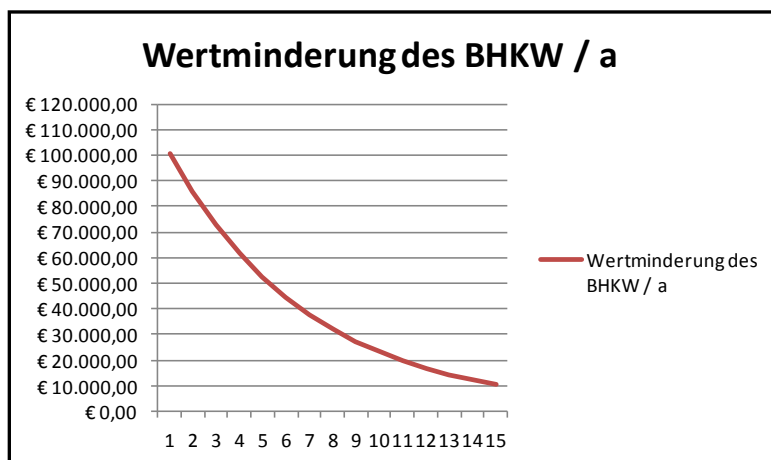


Abbildung 46: Graphische Darstellung der Wertminderung

Mittels dieser Berechnung stellt sich ein Restwert des Blockheizkraftwerkes nach einer Nutzungsdauer von 15 Jahren von € 10.345,36 ein.

3.5 Berechnung des Kapitalwertes von BHKW 85

Nach der theoretischen Aufbereitung des Kapitalwertes folgt nun dessen Berechnung für das Blockheizkraftwerk 85. Die Zusammensetzung und Definition der Kosten wurde bereits im Punkt 3.4 erklärt. In Tabelle 8 ist die Berechnung des Barwertes (Cash Flow) für jede einzelne Periode dargestellt. Die Summierung aller Barwerte ergibt den Kapitalwert am Ende der Nutzungsdauer – in diesem Fall nach 15 Jahren.

Ergebnis und Interpretation

Am Ende der Periode 9 ist ersichtlich, dass die Folgeinvestition, hervorgerufen durch die Revision einen negativen Barwert auslöst. Der Kapitalwert am Ende des 15. Jahres beträgt € 2.686. Die Folgerung daraus ist, dass der Investor das eingesetzte Kapital von € 118.430 zurückerhält und zusätzlich einen barwertigen Gewinn von € 2.686 verbucht.

Periode	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Einnahmen																
Einsparkkosten GHK - BHKW	0	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00	€ 18.306,00
Liquidationserlös am Ende der ND																€ 10.345,36
Ausgaben																
Anschaffungskosten	€ 118.430															
Reparatur										€ 23.770						
Wartung		€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00
Summe Ausgaben		€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 25.150	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00	€ 1.380,00
Zeitwert CF (EÜ)	-€ 118.430	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	-€ 6.844,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 16.926,00	€ 27.271,36
Abzinsungsfaktor	1	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	0,564	0,513	0,467	0,424	0,386	0,35	0,319	0,29	0,263	0,239
Barwert CF	-€ 118.430	€ 15.385,73	€ 13.980,88	€ 12.711,43	€ 11.560,46	€ 10.511,05	€ 9.546,26	€ 8.683,04	€ 7.904,44	-€ 2.901,86	€ 6.533,44	€ 5.924,10	€ 5.399,39	€ 4.908,54	€ 4.451,54	€ 6.517,86
C0	€ 2.686															

Tabelle 6: Berechnung des Kapitalwertes

3.6 Berechnung der Amortisationsdauer des BHKW 85

In diesem Kapitel wird die Amortisation des Blockheizkraftwerkes betrachtet. Die statische sowie auch dynamische Amortisationsrechnung findet hier ihre Anwendung.

3.6.1 Statische Amortisationsdauer

Erlöse		
Einsparkosten GHK - BHKW		€ 18.306,71
Kosten		
Wartungskosten	*	€ 1.380,00
Kalkulatorische Abschreibung (ak)		€ 8.790,31
Kalkulatorische Zinsen (Zk)		€ 7.627,27
Summe Gesamtkosten / Jahr		€ 17.797,58
Gewinn = Erlöse - Gesamtkosten		€ 509,1
Amortisationsrechnung		
Anschaffungskosten		€ 118.430,00
+ Reparatur Folgeinvestition	**	€ 23.770,00
- Restwert nach ND		€ 10.345,36
= Investitionskosten		€ 131.854,64
÷ Gewinn + ak+Zk		€ 16.926,7
= Amortisationsdauer [Jahre]		7,79

Weitere Anmerkungen: * Erfahrungswert der Unternehmung

** Herstellerangabe

Tabelle 7: Statische Amortisationsdauer BHKW

Bei der Berechnung wurden die Einnahmen als Kostenersparnis bei der Verwendung des Blockheizkraftwerkes anstatt der Gasheizkessel definiert.

Die Ermittlung des Einnahmeüberschusses (Rückfluss / Jahr) wurde in den Grundlagen bereits erwähnt. Die kalkulatorischen Zinsen wurden im Sinne der Durchschnittsbildung vom

mittleren gebundenen Kapital berechnet und sind folgend definiert: $Z_k = \left(\frac{IA + IF + L}{2} \right) \cdot i_k$

IA = Anfangsinvestition

IF = Folgeinvestition

L = Liquidationserlös

i_k = kalkulatorische Zinssatz

Die kalkulatorische Abschreibung erfolgte linear mittels: $a_k = \left(\frac{IA - IF + L}{ND} \right)$

Zu den Anschaffungskosten müssen die in Zukunft anfallenden Kosten für die Revision (Folgeinvestition) addiert werden. Der Restwert wird von dieser Summe subtrahiert. Die Division durch den Rückfluss pro Jahr ergibt dann die statische Amortisationsdauer von 7,79 Jahren.

3.6.2 Dynamische Amortisationsdauer

Aus den Grundlagen geht hervor, dass zur Berechnung der dynamischen Amortisationszeit die Barwerte kumuliert werden müssen und jene Zeit gesucht wird, bei der der Kapitalwert gleich null ist.

Periode	Barwert	Kumulierter Barwert
1	€ 15.385,73	€ 15.385,73
2	€ 13.980,88	€ 29.366,61
3	€ 12.711,43	€ 42.078,04
4	€ 11.560,46	€ 53.638,49
5	€ 10.511,05	€ 64.149,54
6	€ 9.546,26	€ 73.695,80
7	€ 8.683,04	€ 82.378,84
8	€ 7.904,44	€ 90.283,28
9	-€ 2.901,86	€ 87.381,43
10	€ 6.533,44	€ 93.914,86
11	€ 5.924,10	€ 99.838,96
12	€ 5.399,39	€ 105.238,36
13	€ 4.908,54	€ 110.146,90
14	€ 4.451,54	€ 114.598,44
15	€ 6.517,86	€ 121.116,29

Tabelle 8: Kumulierte Barwerte

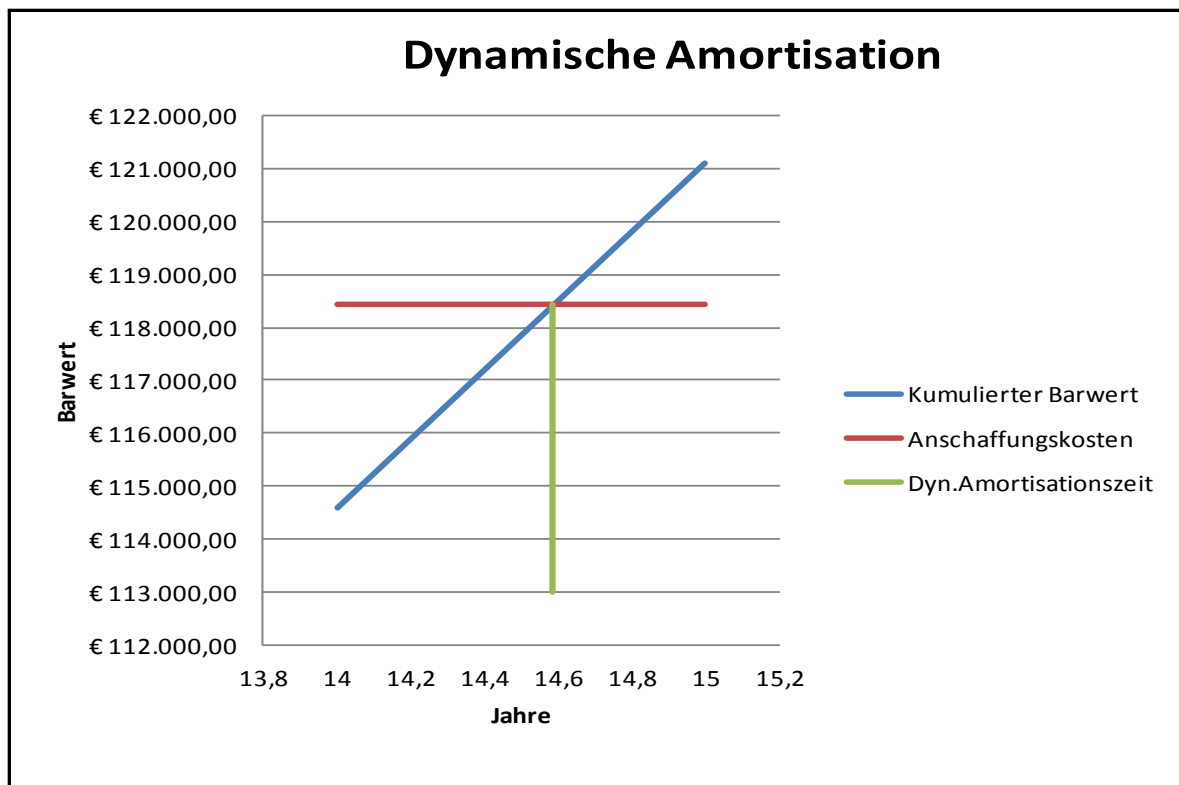


Abbildung 47: Graphische Darstellung der Amortisationszeit

Bei der Kumulation der Barwerte ist ersichtlich, dass sich der Betrag der Anfangsinvestition von € 118.430 zwischen dem 14. und 15. Jahr tilgt. Nach einer Interpolation ergibt sich eine Amortisationsdauer von 14,59 Jahren. Ebenfalls lässt sich diese Zeit auch aus der graphischen Darstellung ablesen.

3.6.3 Ergebnis und Interpretation

Die statische Amortisation beläuft sich auf 7,79 Jahre, wogegen sich die dynamische Berechnung auf 14,59 Jahre beläuft. Aus der Literatur ist es bekannt, dass die dynamischen Amortisationen im Gegensatz zu den statischen höhere Werte ergeben. In diesem Fall ist es auf die Revision, die im 9. Jahr anfällt und dadurch einen negativen Barwert hervorruft, zurückzuführen.

3.7 Berechnung der Einnahmeüberschüsse der Photovoltaikanlagen

Folgend sollen die Grundinformationen, die für die weiteren wirtschaftlichen Berechnungen der Photovoltaik-Angebote notwendig sind, erläutert werden.

3.7.1 Vorläuftätigkeiten

Bevor die Angebote der insgesamt drei PV-Anlagen-Anbieter gestellt werden konnten, wurden die Hallendächer der Griffner Pulverbeschichtung vermessen. Weiters wurden in diesem Zuge ebenfalls alle Abzugskamine, Lichtkuppeln etc., die als Störobjekte wirken und sich mittels Schatten negativ auf den Ertrag auswirken, genau eingemessen. Mit diesen Daten ermittelten die Anbieter mit modernster Software-Simulation den jeweiligen Ertrag ihrer Anlagen. In CAD wurde ein Hallenplan mit den Naturmaßen und Hallenbezeichnungen angefertigt, der als Grundlage dienen soll.

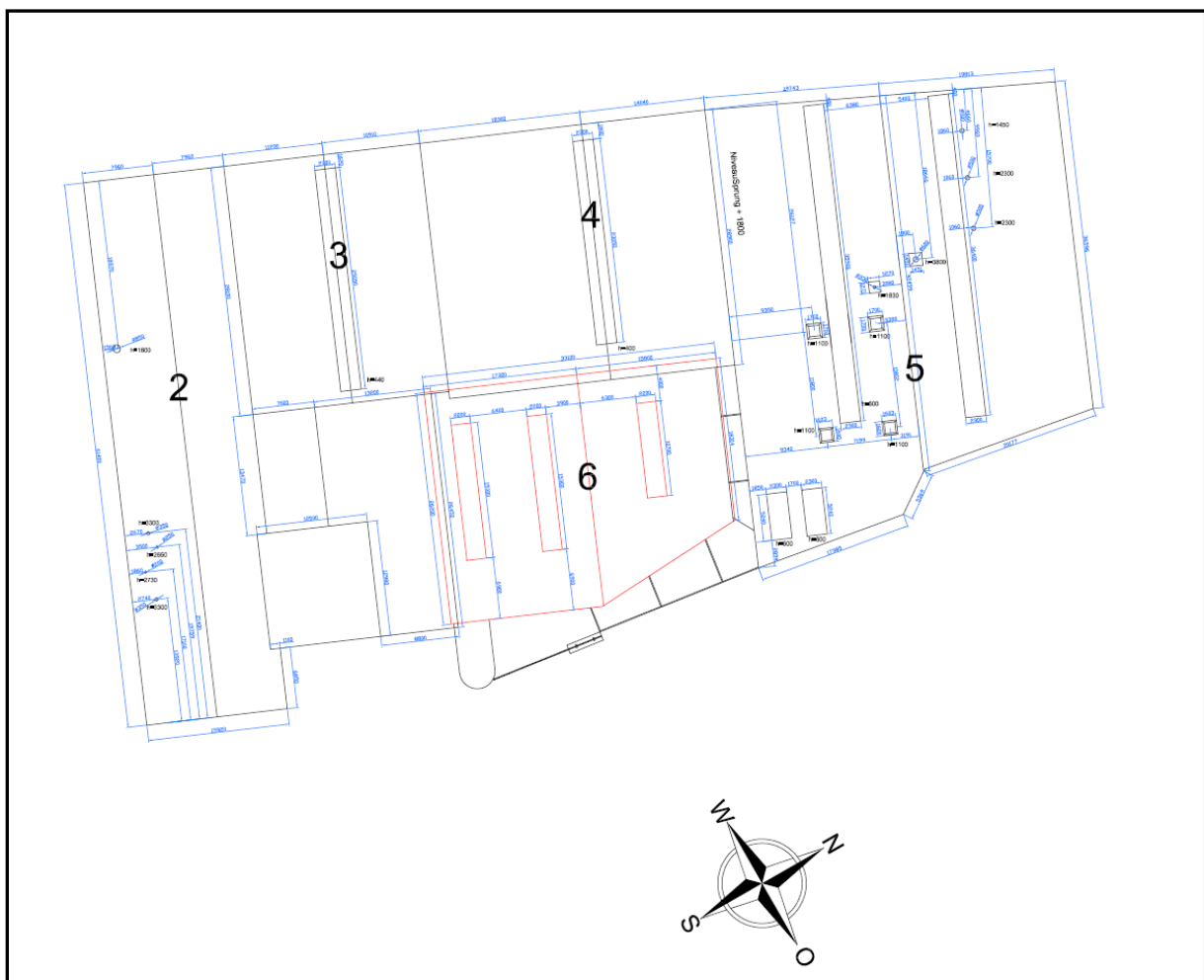


Abbildung 48: Hallenplan und Hallenbezeichnung

Die Gesamtfläche der Hallen beträgt ~ 5290m², davon werden ca. 1400m² mit Photovoltaik-Modulen bestückt.

Bei der Anbindungsart (Montagesystem) einigte sich das Unternehmen auf das System „ohne Anbindung“, um so die Flexibilität bei etwaigen Umgestaltungen der Hallen beizubehalten.

In Tabelle 9 sind die drei Angebote und dessen Dachbelegung mit unterschiedlichen Leistungen ersichtlich.

Dachbelegung			
Hallen Dach#	A [kWp]	B [kWp]	C [kWp]
1	0	0	0
2	44	50,4	20,16
3	19,78	24	40,32
4	33,8	38,88	14,4
5	33,6	38,88	43,44
6	28	14,4	25,68
Gesamt kWp	159,18	166,56	144

Tabelle 9: Hallenbelegung

Jahresertrag pro Jahr			
Hallen Dach#	A [kWh]	B [kWh]	C [kWh]
1	0	0	0
2	46.992	52.304	21.583
3	21.620	24.666	44.165
4	36.943	40.360	15.354
5	36.658	40.360	47.526
6	29.139	14.934	28.134
Σ kWh / a	171.351,5	172.624,0	156.762,0

Tabelle 10: Simulierte Jahreserträge der Angebote

Die aus der Simulation hervorgegangenen Erträge sind aus der Tabelle 10 zu entnehmen.

3.7.2 Kostendefinition der Berechnung

Es folgen Erläuterungen, wie die Kosten definiert worden sind, um die folgenden Berechnungen durchzuführen.

Einspeisevergütung

Bei der Einspeisevergütung handelt es sich um jene Kosten, die vom Energielieferanten für den eingespeisten Strom vergütet werden. Der Ertrag in kWh pro Jahr wurde von den einzelnen Anbietern der PV Anlage mittels Simulationen bekannt gegeben. Im Anhang ist ein

Auszug von einer Ertragssimulation anzufinden. Die simulierten Erträge flossen in die Berechnung als „Worst Case „ ein, da Erfahrungen von Anlagenanbietern und Betreibern zeigten, dass die Realwerte bis zu 30% über den simulierten Erträgen liegen. Somit wurde der „Real Case“ mit plus 15% und der „Best Case“ mit plus 30% von den simulierten Erträgen angenommen. Tabelle 11 zeigt die daraus resultierenden Werte.

Netzeinspeisung			
	A [kWh]	B [kWh]	C [kWh]
Worst	171.351,5	172.624,0	156.762,0
Real	197.054,3	198.517,6	180.276,3
Best	222.757,0	224.411,2	203.790,6

Tabelle 11: Erträge der PV-Anlagen

Die Einspeisevergütung betrug 2012 € 0,23 pro kWh. Da die Herstellungskosten der PV-Module in Zukunft sinken, wurde für die Berechnungen eine Einspeisevergütung von € 0,19 pro kWh gewählt.

Reparaturkosten

Die kritischsten Bauteile der Photovoltaikanlage sind die Wechselrichter. Hersteller garantieren eine Lebensdauer von 10 Jahren. In den Berechnungen wurde angenommen, dass die im „Worst Case“ nach 6 Jahren alle Wechselrichter zu ersetzen sind. Beim „Real Case“ ist vom Ausfall die Hälfte betroffen. Im „ Best Case“ rechnet man damit, dass innerhalb der Nutzungsdauer von 13 Jahren keiner der Wechselrichter zu ersetzen ist, und dadurch keine Folgeinvestitionskosten entstehen.

Wartungskosten

Bei Verunreinigungen der Moduloberflächen durch Pollenstaub, Vogelkot etc. kommt es zu Einbußen der Erträge. Um optimale Erträge der Anlage zu gewährleisten, müssen die Modulflächen stets sauber gehalten werden. Die Kosten für die Säuberung, durchgeführt von Reinigungsunternehmen, sind somit in den Wartungskosten verankert. Nicht zu vernachlässigen ist ebenfalls die Beseitigung und Schneeräumung, die unter Umständen auch zu enormen Verlusten führen kann. Die drei einzeln berechneten Fälle unterscheiden sich nur in der Anzahl der vorgenommenen Reinigungen und damit verbundenen Kosten. Laut Angebot eines Reinigungsunternehmens belaufen sich die Kosten für eine Grundsäuberung auf € 2786.

Versicherungskosten

Die Versicherungskosten sollen bei etwaigen Naturkatastrophen den dadurch entstandenen Schaden decken. Die Jahresprämie beträgt dabei € 945. Im „Worst Case“ soll mit einer Anhebung der Prämie gerechnet werden.

Restwert der PV-Anlage

Die Berechnung des Restwertes wurde ident der Berechnung des BHKW 85 (siehe Kapitel: 3.4.1.3 Restwertberechnung von BHKW) durchgeführt. Der Prozentsatz der Wertminderung pro Jahr beträgt 15%.

3.7.3 Berechnung der Einnahmeüberschüsse für Investition A

In Tabelle 12 sind alle Kostenfaktoren detailliert für alle Fälle dargestellt. Diese Berechnung in Tabellenform wurde für alle drei Angebote durchgeführt. Es soll hierbei angemerkt werden, dass alle folgenden Berechnungsvorgänge nur für das Angebot A dargestellt werden. Zusammenfassend gibt es einen Überblick, in dem alle Ergebnisse der Berechnungen anzufinden sind.

	A	Worst	Real	Best
	Einnahmen			
I	Einspeisevergütung am Ende jedes Jahres	€ 32.556,79	€ 37.440,31	€ 42.323,83
	Ausgaben			
	Reparaturkosten Ende 6 Jahr (IF)	€ 27.108,00	€ 13.554,00	€ 0,00
II	Wartungskosten	€ 11.144,00	€ 5.572,00	€ 0,00
III	Versicherungskosten	€ 1.890,00	€ 945,00	€ 0,00
IV=II+III	Summe Ausgaben / Jahr ohne IF	€ 13.034,00	€ 6.517,00	€ 0,00
V=I-IV	Jährlich konstante EÜ	€ 19.522,79	€ 30.923,31	€ 42.323,83
	Kapitalwert C_{0,1} 13	-€ 129.334,77	-€ 40.835,57	€ 47.663,63
	Kapitalwert C_{0,2} 13	-€ 172.340,50	-€ 111.440,62	-€ 50.540,74
	C₀= -IA+ (EÜ / KWF ₁₃) + LE*AZF ₁₃ - IF*AZF ₆			

Tabelle 12: Kostendarstellung

Aus der Subtraktion von Einnahmen und Ausgaben, ergeben sich die jährlich konstanten Einnahmeüberschüsse der Anlage A. Diese werden für die weiteren Berechnungen von Kapitalwert und den internen Zinssatz benötigt.

3.8 Berechnung des Kapitalwertes von Investition A

Die Berechnung des Kapitalwertes wurde bereits ausführlich erklärt. Bei konstanten jährlichen Einnahmeüberschüssen ist es jedoch sinnvoll, mit dem

Kapitalwidergewinnungsfaktor zu rechnen: $KWF = \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1}$ Er ist somit der reziproke Wert

des Abzinsungsfaktors und wird auch Annuitätenfaktor genannt. Er dient zur Umrechnung der Barwerte von Einnahmen in jährlich konstant bleibende Beträge.

Die Gleichung zur Berechnung des Kapitalwertes ist wie folgt definiert.

$$C_0 = -IA + \left(\frac{E\ddot{U}}{KWF |_{13}} \right) + LE \cdot AZF |_{13} - IF \cdot AZF |_6$$

IA = Anfangsinvestition

E \ddot{U} = Jährlich konstante Einnahmeüberschüsse

LE = Liquidationserlös nach der Nutzungsdauer von 13 Jahren

IF = Folgeinvestition nach der 6. Periode

Der Kalkulationszinssatz wurde mit 10% festgelegt. In Tabelle 12 ist die Berechnung der Kapitalwerte unter allen drei Fällen dargestellt. Des Weiteren wurde ebenfalls die Berechnung des Kapitalwertes mit einem Kalkulationszinssatz von 18% vorgenommen, um in späterer Folge den internen Zinssatz bestimmen zu können. Es ist zu erkennen, dass sich ein positiver Kapitalwert nur bei besten Bedingungen ergibt.

Kapitalwert Vergleich bei i=10%			
Investition	WORST	REAL	BEST
A	-€ 129.335	-€ 40.836	€ 47.664
B	-€ 171.636	-€ 82.346	€ 6.944
C	-€ 169.281	-€ 83.295	€ 2.690

Tabelle 13: Kapitalwerte aller Investitionen

Die Kapitalwerte aller Angebote mit einem Kalkulationszinssatz von 10% und Nutzungsdauer von 13 Jahren sind in der Tabelle 13 niedergeschrieben. Wie bereits erwähnt, sind auch bei den anderen beiden Investitionsobjekten, nur bei besten Voraussetzungen positive Kapitalwerte zu verzeichnen.

3.9 Berechnung des internen Zinssatzes von Investition A

Es folgt die zweite dynamische Methode, die für Investitionsentscheidungen herangezogen wird. Üblicherweise werden stets zwei Kapitalwerte mit unterschiedlichen Zinssätzen und daraus resultierenden Vorzeichen ermittelt. Mit anschließender Interpolation wird der interne Zinssatz der Investition berechnet. In diesem Fall wurden jedoch die Kapitalwerte laut oben genannter Gleichung in Abhängigkeit ansteigender Prozentsätze tabellarisch errechnet. Mittels Interpolation, oder graphischer Lösung, konnte der jeweilige interne Zinssatz erhoben werden.

%	AZF 13a	AZF 6a	KWF 13a	C ₀ Worst	C ₀ Real	C ₀ Best
1	0,879	0,942	0,082	-€ 21.323,13	€ 130.475,45	€ 282.274,04
2	0,773	0,888	0,088	-€ 39.445,92	€ 102.141,39	€ 243.728,69
3	0,681	0,837	0,094	-€ 55.134,79	€ 77.492,02	€ 210.118,83
4	0,601	0,79	0,1	-€ 68.853,16	€ 55.859,69	€ 180.572,53
5	0,53	0,746	0,106	-€ 80.957,39	€ 36.705,96	€ 154.369,31
6	0,469	0,705	0,113	-€ 93.185,13	€ 17.259,99	€ 127.705,10
7	0,415	0,666	0,12	-€ 103.914,54	€ 116,75	€ 104.148,03
8	0,368	0,63	0,127	-€ 113.392,83	-€ 15.085,95	€ 83.220,94
9	0,326	0,596	0,134	-€ 121.830,28	-€ 28.673,59	€ 64.483,09
10	0,29	0,564	0,141	-€ 129.334,77	-€ 40.835,57	€ 47.663,63
11	0,258	0,535	0,148	-€ 136.109,84	-€ 51.827,91	€ 32.454,01
12	0,229	0,507	0,156	-€ 143.032,99	-€ 63.080,86	€ 16.871,27
13	0,204	0,48	0,163	-€ 148.466,41	-€ 72.018,65	€ 4.429,10
14	0,182	0,456	0,171	-€ 154.115,22	-€ 81.264,90	-€ 8.414,57
15	0,163	0,432	0,179	-€ 159.168,26	-€ 89.622,88	-€ 20.077,51
16	0,145	0,41	0,187	-€ 163.807,30	-€ 97.284,82	-€ 30.762,34
17	0,13	0,39	0,195	-€ 168.022,79	-€ 104.272,53	-€ 40.522,28
18	0,116	0,37	0,204	-€ 172.340,50	-€ 111.440,62	-€ 50.540,74
19	0,104	0,352	0,212	-€ 175.843,54	-€ 117.296,49	-€ 58.749,45
20	0,093	0,335	0,221	-€ 179.480,94	-€ 123.354,29	-€ 67.227,64
21	0,084	0,319	0,229	-€ 182.418,02	-€ 128.310,37	-€ 74.202,72
22	0,075	0,303	0,238	-€ 185.492,87	-€ 133.484,67	-€ 81.476,46
23	0,068	0,289	0,247	-€ 188.323,72	-€ 138.250,67	-€ 88.177,61
24	0,061	0,275	0,256	-€ 190.944,42	-€ 142.683,79	-€ 94.423,16
25	0,055	0,262	0,265	-€ 193.371,84	-€ 146.799,86	-€ 100.227,89
interner Zinssatz [%]				<0	7,01	13,34

Tabelle 14: Tabellarische Berechnung von Angebot A

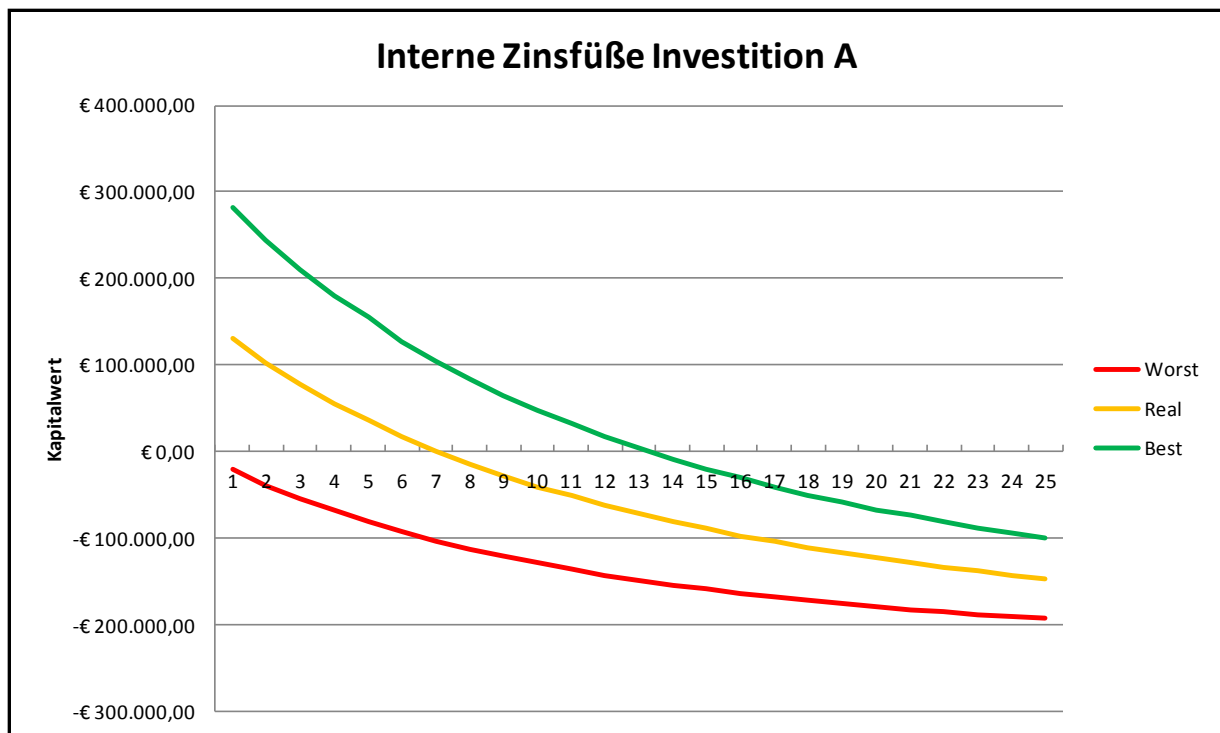


Abbildung 49: Graphische Darstellung des internen Zinssatzes von Angebot A

Diese Berechnung wurde bei allen Angeboten durchgeführt. Die Zusammenfassung aller Zinssätze ist in Tabelle 15 zu finden.

Interner Zinsfußvergleich			
Investition	WORST	REAL	BEST
A		7,01	13,34
B		4,85	10,45
C		4,27	10,19

Tabelle 15: Interne Zinssätze aller Angebote

Ergebnis und Interpretation

Unter Annahme von schlechtesten Bedingungen ergibt sich so gut wie kein verwertbarer Prozentsatz. Auch bei realen Annahmen bleibt der interne Zinssatz weit entfernt von den Mindestanforderungen des Investors von 10%. Mit diesen Rahmenbedingungen ist unter Realbedingungen von einer Investition abzuraten.

3.10 Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer von Angebot A

Die dritte und letzte Investitionsentscheidungsmethode wird in diesem Kapitel behandelt. Zur Ermittlung der dynamischen Amortisationszeiten wurde wiederum die tabellarische Darstellung der Kosten und Einnahmeüberschüssen (siehe Tabelle 12: Kostendarstellung) herangezogen. Unter Berücksichtigung der einzelnen Kosten und anfallenden Folgeinvestitionen wurden die Barwerte aufkumuliert. Aus dieser Reihe wurde danach die Zeit ermittelt, die zur Tilgung der Investitionssumme notwendig ist. Eine Interpolation führt schlussendlich zum exakten Ergebnis.

Periode	AZF 1	Rückflüsse Best	Barwertige Rückflüsse	Kumulierte Rückflüsse
	I	II	III=I*II	IV= \sum III
1	0,909	€ 42.323,830	€ 38.472,362	€ 38.472,362
2	0,826	€ 42.323,830	€ 34.959,484	€ 73.431,846
3	0,751	€ 42.323,830	€ 31.785,197	€ 105.217,042
4	0,683	€ 42.323,830	€ 28.907,176	€ 134.124,218
5	0,621	€ 42.323,830	€ 26.283,099	€ 160.407,317
6	0,564	€ 42.323,830	€ 23.870,640	€ 184.277,957
7	0,513	€ 42.323,830	€ 21.712,125	€ 205.990,082
8	0,467	€ 42.323,830	€ 19.765,229	€ 225.755,311
9	0,424	€ 42.323,830	€ 17.945,304	€ 243.700,615
10	0,386	€ 42.323,830	€ 16.336,999	€ 260.037,614
11	0,350	€ 42.323,830	€ 14.813,341	€ 274.850,954
12	0,319	€ 42.323,830	€ 13.501,302	€ 288.352,256
13	0,290	€ 42.323,830	€ 12.273,911	€ 300.626,167
14	0,263	€ 42.323,830	€ 11.131,167	€ 311.757,335
15	0,239	€ 42.323,830	€ 10.115,395	€ 321.872,730
16	0,218	€ 42.323,830	€ 9.226,595	€ 331.099,325
17	0,198	€ 42.323,830	€ 8.380,118	€ 339.479,443
18	0,180	€ 42.323,830	€ 7.618,289	€ 347.097,733
19	0,164	€ 42.323,830	€ 6.941,108	€ 354.038,841
20	0,149	€ 42.323,830	€ 6.306,251	€ 360.345,092
			10,111 Jahre Amortisationszeit	

Tabelle 16 : Kumulation der Barwerte von Angebot A Annahme „Best Case“

Es ist ersichtlich, dass sich die Investitionssumme von € 261.680,58 zwischen dem 10 und 11. Jahr tilgt. Die Interpolation liefert im besten Fall das exakte Ergebnis von 10,11 Jahren.

Ergebnis und Interpretation

Die Berechnungen der dynamischen Amortisationszeiten hat ergeben, dass in den Fällen „Worst und Real“ die Amortisationsdauer außerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer liegt.

Amortisationsdauer Vergleich			
Investition	WORST	REAL	BEST
A	ausersh. ND	ausersh. ND	10,11
B	ausersh. ND	ausersh. ND	13,30
C	ausersh. ND	ausersh. ND	13,67

Tabelle 17: Dynamische Amortisation aller Angebote

Unter besten Bedingungen wird jedoch eine Amortisationszeit von 10,11 Jahren erreicht.

3.11 Auswahl der effektivsten Investition

Mit Hilfe der vorhergehenden Berechnungen soll eine Entscheidung der drei Investitionsmöglichkeiten gefällt werden. Bei den Entscheidungsmethoden wird zwischen statischen und dynamischen Auswahlkriterien separiert. Der Unterschied zwischen den beiden Entscheidungsmethoden wurde in den Grundlagen besprochen.

3.11.1 Statische Auswahlkriterien

Verwendung von kalkulatorischen Größen, Bildung von Jahresdurchschnittswerten und nicht Berücksichtigung des Zahlungsanfalles sind typische Merkmale der statischen Berechnungen bei Investitionsentscheidungen.

Kostenvergleich

Bei dem Kostenvergleich wurde die Investitionssumme des jeweiligen Angebotes durch die angebotene Leistung dividiert. Als Ergebnis erhält man die Information, wie viel die Leistungseinheit von einem kWp kostet. Bei diesem Vergleich würde sich das Angebot A mit einer Kostenersparnis von bis zu € 313,03 durchsetzen.

Kostenvergleich			
	Investitionssumme	kWp	€/kWp
A	€ 261.680,58	159,18	€ 1.643,93
B	€ 306.190,00	166,56	€ 1.838,32
C	€ 281.801,90	144	€ 1.956,96

Tabelle 18: Kostenvergleich aller Investitionen

Einspeisevergütung

Der Vergleich der Einspeisevergütung beruht auf der Basis der bereits erwähnten Ertragsberechnungen der Anbieter (siehe Tabelle 11: Erträge der PV-Anlagen). Die Multiplikation mit dem gewählten Einspeisetarif von € 0,19 ergibt die in Tabelle 19 dargestellten Einspeisevergütungen. In der Tabellenübersicht kristallisiert sich das blau eingefärbte Angebot in allen Fällen heraus, wobei die Spanne zu den Mitbewerbern gering ist.

Einspeisevergütung			
	A	B	C
Worst	€ 32.556,8	€ 32.798,6	€ 29.784,8
Real	€ 37.440,3	€ 37.718,3	€ 34.252,5
Best	€ 42.323,8	€ 42.638,1	€ 38.720,2

Tabelle 19: Vergleich der Einspeisevergütung

3.11.2 Dynamische Auswahlkriterien

Der Vorteil der dynamischen Berechnungsmethoden liegt darin, dass die gesamte Nutzungsdauer mit allen Zahlungsströmen (Einzahlung, Auszahlung) und dessen Zahlungszeitpunkten betrachtet wird.

Kapitalwertkriterium

Die Kapitalwertmethode wurde bei allen Angeboten durchgeführt. Alle Kapitalwerte wurden berechnet und zur Übersicht in Tabelle 20 dargestellt.

Kapitalwert Vergleich bei $i=10\%$			
Investition	WORST	REAL	BEST
A	-€ 129.335	-€ 40.836	€ 47.664
B	-€ 171.636	-€ 82.346	€ 6.944
C	-€ 169.281	-€ 83.295	€ 2.690

Tabelle 20: Kapitalwert-Kriterium

Die Kapitalwertberechnungen wurden mit einem kalkulatorischen Zinssatz von 10 % für alle Angebote berechnet. In diesem Fall setzt sich das Angebot A mit enormen Kapitalwerten gegenüber den anderen ab. Es ist auch zu erkennen, dass unter realen Bedingungen innerhalb der Nutzungsdauer von 13 Jahren keine positiven Kapitalwerte erzielt werden.

Interne Zinssatzmethode-Kriterium

Die interne Zinssatzmethode zählt ebenfalls zu den Entscheidungskriterien bei Investitionsobjekten. Wie man den internen Zinssatz einer Investition berechnet, wurde bereits durchexerziert. In Tabelle 21 sind alle Ergebnisse dieser Berechnungen niedergeschrieben. Bei allen Investitionsobjekten ergab die Berechnung im „Worst Case“ keine brauchbaren Zinssätze ($< 0\%$). Ebenfalls erreichen die Zinssätze im realen Fall nicht die vom Investor geforderte Mindestverzinsung und kalkulatorischen Zinssatz von 10% . Zur visuellen Anschauung wurden die internen Zinssätze auch graphisch dargestellt. An dieser Stelle soll auf den Anhang verwiesen werden, der alle Diagramme der Berechnung beinhaltet.

Interner Zinsfußvergleich			
Investition	WORST	REAL	BEST
A		7,01	13,34
B		4,85	10,45
C		4,27	10,19

Tabelle 21: Interne Zinssatzmethode-Kriterium

Beim Vergleich der Zinssätze unterschreiten alle Angebote die 10% Forderung, jedoch ist zu erkennen, dass sich Angebot A von den restlichen positiv distanziert.

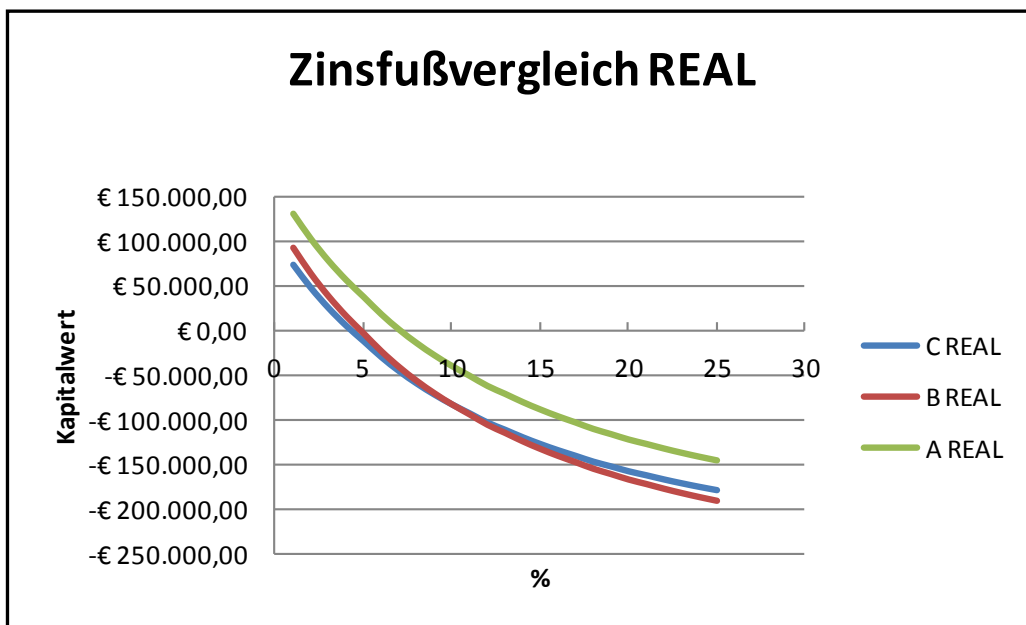


Abbildung 50: Graphische Darstellung im realen Fall für alle Angebote

Dynamische Amortisationsdauer-Kriterium

Die dynamische Amortisationszeit ist die letzte dynamische Entscheidungsmethode, die bei den Berechnungen angewendet wurde. Als Kriterium wird die Zeit herangezogen, die das Investitionsobjekt benötigt, damit es sich amortisiert.

Amortisationsdauer Vergleich			
Investition	WORST	REAL	BEST
A	ausersh. ND	ausersh. ND	10,11
B	ausersh. ND	ausersh. ND	13,30
C	ausersh. ND	ausersh. ND	13,67

Tabelle 22: Amortisationszeit-Kriterium

Die Amortisationsdauer liegt bei allen Angeboten erst im „Best Case“ innerhalb der vorgegebenen Nutzungsdauer von 13 Jahren. Wie auch bei den vorhin erwähnten dynamischen Kriterien setzt sich auch bei der Amortisationsdauer Angebot A durch.

3.11.3 Zusammenfassung und Interpretation der Auswahl

Aufgrund der statischen Auswahlkriterien von Kostenvergleich und Vergleich der Einspeisevergütungen können keine definierten Aussagen über die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Angebote getroffen werden. Diese Auswahlkriterien dienen lediglich zur Kostenkontrolle der einzelnen Anbieter. Die Aussage des Kostenvergleiches € / kWp lässt unter anderem auch auf die Modulpreise zurückschließen. Kostengünstige Module, nicht minderer Qualität, können gegenüber Markenanbietern somit diesen Vergleich stark beeinflussen.

Die dynamischen Entscheidungsmethoden haben dabei schon zu klareren Aussagen geführt. In allen Kriterien hat sich das Angebot A (obwohl die Rahmenbedingungen nicht zur Gänze erfüllt werden) gegenüber den restlichen durchgesetzt. Eine Stellungnahme zu den Rahmenbedingungen seitens des Unternehmens wird im Kapitel Zusammenfassung und Ausblick, erläutert.

3.12 Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Abfallschlamm-trocknung

Das letzte Kapitel der praktischen Problemlösung befasst sich mit dem dritten Ziel der Arbeit – der Abfallschlamm-trocknung. Wie aus den Grundlagen bekannt, soll aus der thermischen Nachverbrennung die Wärme rückgewonnen werden, und somit der Schlamm, welcher bei der KTL-Vorbehandlung anfällt, getrocknet werden. Die Wirtschaftlichkeit dieser Investition soll folgend betrachtet werden.

3.12.1 Kostendefinition

Die bereits erwähnten Kosten bei der Durchführung dieser Investition wurden bereits erwähnt, und werden in diesem Punkt noch einmal ins Gedächtnis gerufen.

Investitionskosten der Trocknungsanlage € 350.000

Die Fremdtrocknung beläuft sich momentan auf € 196 pro Tonne. Im Jahr fallen 12 t an zu trocknendem Schlamm an. Wartungskosten und Folgeinvestitionen durch Großreparaturen wurden bei der Berechnung null gesetzt, da bei dieser geringen Menge keine Erfahrungswerte des Herstellers vorliegen.

3.12.2 Berechnung der statischen Amortisationsdauer

In Tabelle 22 liegt die Berechnung der statischen Amortisation vor. Die kalkulatorischen Zinsen wurden im Sinne der Durchschnittsbildung vom mittleren gebundenen Kapital

berechnet und sind folgend definiert: $Z_k = \left(\frac{IA + IF + L}{2} \right) \cdot i_k$

IA = Anfangsinvestition

IF = Folgeinvestition

L = Liquidationserlös

i_k = kalkulatorischer Zinssatz

Die kalkulatorische Abschreibung erfolgte linear mittels: $a_k = \left(\frac{IA - IF + L}{ND} \right)$

Für den Restwert (Liquidationserlös) wurde wiederum die Exponentialfunktion mit 15% Wertminderung pro Jahr herangezogen. Bei der Berechnung wurde ein kalkulatorischer Zinssatz von 10% angesetzt.

Erlöse	
Einsparkosten durch Eigentrocknung	€ 2.352,00
Kosten	
Wartungskosten	€ 0,00
Kalkulatorische Abschreibung (ak)	€ 22.879,73
Kalkulatorische Zinsen (Zk)	€ 20.217,20
Summe Gesamtkosten / Jahr	€ 43.096,93
Gewinn = Erlöse - Gesamtkosten	-€ 40.744,9
Amortisationsrechnung	
Anschaffungskosten	€ 350.000,00
+ Reparatur Folgeinvestition	€ 0,00
- Restwert nach ND	€ 30.573,98
= Investitionskosten	€ 319.426,02
÷ Gewinn + ak+Zk	€ 2.352,0
= Amortisationsdauer [Jahre]	135,81

Tabelle 23: Statische Amortisationsdauer Abfallschlamm-trocknung

3.12.3 Ergebnisse und Interpretation

Das Ergebnis der statischen Berechnung ergibt eine Amortisationsdauer von 135,8 Jahren, da die Einnahmeüberschüsse der Eigentrocknung im Verhältnis zur hohen Investitionssumme zu gering sind. Der Grund für die hohen Anschaffungskosten liegt laut Hersteller im „Know How“ des gesamten Trocknungsprozesses. Des Weiteren wurde auch darauf hingewiesen, dass die in der Unternehmung die zu trocknenden Mengen aufs Jahr gesehen zu gering sind.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Abschließend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse bezüglich der drei gesetzten Ziele zusammengefasst. Die sich daraus ergebenden Ausblicke und Vorhaben der Griffner Pulverbeschichtung finden sich in den folgenden Kapiteln wieder.

4.1.1 Energiebezug BHKW vs. Gasheizkessel

Durch die wirtschaftliche Berechnung der beiden Energiebezugsquellen von Blockheizkraftwerk und Gasheizkessel konnte dem Unternehmen eine andere Betrachtungsweise dieser Situation ermöglicht werden. Die von der Unternehmung anfangs aufgestellte Behauptung, dass der Bezug der Wärme von den Gasheizkesseln gegenüber dem Blockheizkraftwerk wirtschaftlicher sei, konnte in diesem Punkt ebenfalls widerlegt werden. Der Fehler der Anfangsbetrachtung von der Unternehmung war, dass nur auf den Gasverbrauch und die damit verbundenen Kosten der jeweiligen Beheizungsmöglichkeiten geachtet wurde. In der Berechnung ist klar ersichtlich, dass der Betrieb vom Blockheizkraftwerk einen höheren Gasverbrauch bzw. höhere Gasbezugskosten nach sich zieht bzw. nach sich ziehen. Jedoch werden diese hohen Kosten durch die Stromerzeugung drastisch gesenkt, wodurch sich der Betrieb unter bestimmten Rahmenbedingungen gegenüber den Gasheizkesseln rentiert. Die erwähnten Rahmenbedingungen beziehen sich auf die Gasbezugskosten und Stromkosten. Mittels graphischer Auswertung der Betriebskosten, abhängig von Gaskosten und Stromkosten, wird dem Unternehmen ermöglicht, stets die wirtschaftlichste Variante einzusetzen. Zusätzlich besteht eine hohe Flexibilität bei Entscheidungen vom Primärenergie-Einkauf. Die Berechnungen der Amortisationsdauer führten bei der statischen zu 7,79 und bei der dynamischen zu 14,59 Jahren bis zur Tilgung der Anfangsinvestition. Nach der Nutzungsdauer von 15 Jahren erhält der Investor sein eingesetztes Kapital, mit einem barwertigen Gewinn von € 2.686 zurück.

4.1.2 Errichtung einer Photovoltaikanlage

Das Thema der erneuerbaren Energie – Photovoltaik und dessen Ergebnisse aus dem zweiten Ziel der Arbeit - sollen in diesem Punkt kurz zusammengefasst werden. Anfangs wurde mit dieser Problemstellung absolutes Neuland betreten. Zahlreiche Informationen durch Hersteller vor Ort (in der Unternehmung) führten zur Erweiterung des Wissens und somit auch zu klaren Definitionen des Investitionsobjektes. Maximaler Ertrag (unter Berücksichtigung von Verschattungsobjekten) durch poly- oder monokristalline Module ohne Anbindung des Montagesystems lauteten die Eckdaten für die Anbieter der Photovoltaikanlagen. Die wirtschaftliche Berechnung, welche in späterer Hinsicht auch für einen Investitionsentscheidung herangezogen wird, wurde für drei Investitionsobjekte durchgeführt. Statische wie auch dynamische Verfahren kristallisierten schlussendlich ein Investitionsobjekt heraus, welches gegenüber den restlichen als vorteilhafter beurteilt wurde.

Die Vorstellung des Mindestzinssatzes von 10% konnte mittels der internen Zinssatzmethode nur bei der Annahme „Best case“, d.h. keine zusätzlichen Folgekosten während der Nutzungsdauer von 13 Jahren erreicht werden. Des Weiteren beträgt die Amortisationszeit im besten Falle 10,33 Jahre. Bei den gesamten Berechnungen wurden ein gewisses Maß an Risikozuschlägen in Form von höheren Wartungskosten, Reparaturkosten und verkürzte Lebensdauer der Bauteile hinzugefügt. Der bestmögliche Fall „Best Case“ repräsentiert schlussendlich die Herstellerangaben und Garantien. Bei der Errichtung einer Photovoltaikanlage stehen bei der Griffner Pulverbeschichtung nicht die wirtschaftlichen Aspekte im Vordergrund, sondern vielmehr die Kompensation der hohen CO₂-Ausstöße, die durch die Befuerung von Öfen mit Flüssiggas hervorgerufen werden. Durch diese Bilanzierung steigen in Zukunft die Chancen, weitere Aufträge in der Automobilbranche anzunehmen und sich darin auch weiter zu behaupten. Bis dato wurde vom Bestbieter aus den Berechnungen die Detailplanung durchgeführt, und eine Einreichung beantragt. Die Errichtung der Anlage ist für das erste Quartal 2013 geplant.

4.1.3 Wärmerückgewinnung für die Abfallschlamm-trocknung

Nach ausführlicher Diskussion und Vorlage der statischen Amortisationsdauer von 135,8 Jahren, die Errichtung einer eigenen Abfallschlamm-trocknung betreffend, war das Unternehmen sofort einsichtig über die Unwirtschaftlichkeit der Investition. Die gegenwärtige Trocknung des Abfallschlammes durch ein Fremdunternehmen bleibt somit auch für die Zukunft aufrecht. Hohe Anlageinvestitionen und niedrige Trocknungsmengen pro Jahr sind hauptauschlaggebend für diese Situation.

4.1.4 Persönliches Fazit

Die Ziele der Arbeit wurden von der Unternehmung klar definiert, und in drei Hauptaufgabenbereiche unterteilt. Anfangs herrschte bei mir große Unkenntnis bezogen auf die Anlage, Prozesse und Vorgänge, die zur Pulverbeschichtung und Kathodischen Tauchlackierung vonnöten sind. Nach intensiver Studie der Anlagengrundlagen und zahlreichen Gesprächen mit dem Betreuer der Unternehmung konnten die Wissenslücken geschlossen werden. Durch das Erlangen des Grundwissens wurden auch die für die Berechnungen relevanten Größen erhoben. Bei den Berechnungen gab es manchmal Zweifel, bezüglich der Annahmen und der Richtigkeit der Ergebnisse. Die Zwischenpräsentationen und Beratungsgespräche der Betreuer seitens des BWL-Institutes waren in dieser Hinsicht eine große Hilfe. Abschließend will ich anmerken, dass ich viel an Erfahrung in Bezug auf Abläufe einer Unternehmung, Erheben von rechenrelevanten Größen und Durchführen von wirtschaftlichen Berechnungen gewonnen habe.

Literaturverzeichnis

Benke, H.: Lexikon der Korrosion und des Korrosionsschutzes, 2.Auflage, Essen 2000

Bergmann, W.: Werkstofftechnik 1, 6.Auflage, München 2008

Bette, U.; Vesper, W.: Taschenbuch für den kathodischen Korrosionsschutz, 7.Auflage, Essen 2005

Blohm, H. ; Lüder, K.: Investition, 7.Auflage, Speyer 1991

Brock, T. ; Groteklaes, M. ; Mischke, P.: Lehrbuch der Lacktechnologie, 2.Auflage, Hannover 1998

Däumler, K. D.: Grundlagen der Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung, 11. Auflage, Herne/Berlin 2003

Deppe, P.: Mercedes-Benz Classic-Fanseite, <http://blog.mercedes-benz-passion.com/2011/11/das-mercedes-benz-werk-rastatt-hightec-fur-die-kompaktklasse-so-entsteht-eine-neue-b-klasse/>, Stand 25. 11 2011, Abfrage vom: 23. 08 2012

Dobler, H.-D.; Doll, W. ; Fischer, U. ; Günter, W.: Fachkunde Metall, 54. Auflage, Haan-Gruiten, 2003

Evers, B.: NOW Segel Reise Blog, <http://sy-now.blogspot.co.at/2011/11/arc-noch-zwei-tage-bis-zum-start-in-die.html>, Abfrage vom: 07. 08 2012

Gema Powder Coating : Applikationsverfahren, <http://www.gemapowdercoating.com/content/Portals/0/media/NeueDaten/NeuePDF/Standardvortraege/Applikationsverfahren2007.pdf>, Abfrage vom: 19. 08 2012

Goldschmidt, A.; Streitberger, H.-J.: BASF Handbuch Lackiertechnik, Hannover 2002

Henkel. CSC Jäcklechemie.: Chromfreie Konversionsbehandlung von Leichtmetallen und chromfreie Nachpassivierung von Phosphatschichten, http://www.csc-jaekle.de/fileadmin/MeBI/752/MeBI_752027_DE.pdf, Stand 31. 08 2009, Abfrage vom: 27. 08 2012

Hild, S.: Herstellung und Charakterisierung von Korrosionsschutzschichten auf Basis von selbstorganisierenden Monoschichten, Frankfurt Am Main 2006

Hofmann, H. ; Spindler, J.: Verfahren der Oberflächentechnik, Leipzig 2004

Hutzschenreuter, T. : Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 3.Auflage:Wiesbaden 2009

Ikanovic, R.: Betriebsbeschreibung der Griffner Pulverbeschichtung, Griffen 2010

Kaserer, C.: Investition und Finanzierung case by case, 3.Auflage: Frankfurt am Main 2009

Koether, R. ; Rau, W.: Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure, 3.Auflage, München 2008

Liederer, D.: Diagonalzäune, <http://www.wenk-liederer.ch/21101/21143.html>, Abfrage vom: 25. 08 2012

Matschek, R.: Matschek Glas, <http://www.matschek-glas-metall.at/glas-metall.html>, Abfrage vom: 25. 08 2012

Mendler, H.: Die Pulvergeschichte aus der Sicht eines Schweizers, in: JOT Journal für Oberflächentechnik, 2009, 7, S. 20 ff

Molitor, P.: Der Photovoltaik-Anlagen Projektleitfaden, Reihe Nachhaltigkeit Band 24, Hamburg 2009

Müller, A.: Korrosion, <http://www.der-andreas.de/>, Abfrage vom: 07. 08 2012.

Müller, B.: Coatings technology, special coatings and colour design, <http://www.hs-esslingen.de/index.php?id=36523&L=1>, Abfrage vom: 08. 08 2012

Milavec, P.: Griffner Pulverbeschichtung, Gespräch am 07. 11. 2011

Nanetti, P.: Lack für Einsteiger, 3.Auflage, Hannover 2009

o.V.: Gebirgsanker von Atlas Copco für den Untertagebergbau passen sich Erdbewegungen an,
http://www.atlascopco.com/dede/news/productnews/070507_atlas_copco_launches_deep_mine_rock_bolt_that_adapts_to_movements_underground.aspx, Abfrage vom: 24. 08 2012

o.V.: Baumaschinenhersteller setzt auf neue Düsenteknik, in: JOT Journal für Oberflächentechnik,2012, 10, S. 76-81.

o.V.: Blockheizkraftwerk. <http://www.blockheizkraftwerk.at/>, Abfrage vom: 03. 09 2012

o.V.: Beschichten, <http://www.chemie.de/lexikon/Kategorie:Beschichten.html>, Abfrage vom: 08. 08 2012

o.V.: Erneuerbare Energien Zwei Neue Filme, <http://www.evi-hildesheim.de/hildesheimGips/Gips?SessionMandant=Hildesheim&Anwendung=CMSTickerEintrag&Methode=ShowHTMLOAusgabe&RessourceID=156980&SessionMandant=Hildesheim>, Abfrage vom: 06. 09 2012

o.V.: Wie Funktioniert Pulverbeschichtung, <http://www.pulverbeschichtung-eckla.de/wie-funktioniert-pulverbeschichtung>, Abfrage vom: 19. 08 2012

o.V.: Kathodische Tauchlackierung, <http://www.eisenmann.com>, Abfrage vom: 23. 08 2012

o.V.: Die Griffner Pulverbeschichtung: Betriebsanleitung Ultrafiltration-Anlage mit Wickelmodul Eisenmann, 2006

o.V.: Emaillieren, <http://www.fachwissen-technik.de/verfahren/emaillieren.html>, Abfrage vom: 10. 08 2012

o.V.: Prinzip Sprühtrockner, <http://foter.com/photo/labspraydryer/>, Abfrage vom: 07. 09 2012

o.V.: Chemie, <http://www.chemgapedia.de>, Abfrage vom 15. 09.2012

o.V.: Pulverlacke, <http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/netzwerke/lacke/lacke.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/netzwerke/lacke/pulverl.vscml.html>, Abfrage vom: 23. 08 2012

o.V.: Kathodischer Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen, http://www.vc-austria.com/fileadmin/media/downloads/broschueren/vc_rohrleitungsschutz.pdf, Abfrage vom: 07. 08 2012

o.V.: Swellex Gebirgsanker von Atlas Copco, www.minovarsa.co.za/pdf/BROCHURE_SWELLEX.pdf, Abfrage vom: 24. 08 2012

o.V.: Monokristalline Solarzellen: Alle wichtigen Informationen, http://de.overblog.com/Monokristalline_Solarzellen_Alle_wichtigen_Informationen-1228321780-art325539.html, Abfrage vom: 06. 09 2012

o.V.: Preisblatt Überschusseinspeisung, http://www.pvaustria.at/upload/3711_PV%20Tarif.pdf, Abfrage vom: 06. 09 2012

o.V.: Praktischer Leitfaden für den kathodischen Korrosionsschutz, 2.Auflage, Ehningen bei Böblingen 1991

o.V.: Technologische Aspekte und Voraussetzung für die Kalkulation der Potenzial
<http://www.regioenergy.at/photovoltaik>, Abfrage vom: 06. 09 2012

o.V.:Physikalische Eigenschaften von Flüssiggas,
http://www.propan.com/de/flgas_properties.html, Abfrage vom: 13. 09 2012

o.V.:Flüssiggas Propan,
[http://www.pangas.ch/international/web/lg/ch/likegchpangasde.nsf/repositorybyalias/pangas_pdb_103660_d/\\$file/pangas_pdb_103660_d.pdf](http://www.pangas.ch/international/web/lg/ch/likegchpangasde.nsf/repositorybyalias/pangas_pdb_103660_d/$file/pangas_pdb_103660_d.pdf), Abfrage vom: 13. 09 2012

o.V.: Wolf Heiztechnik. <http://www.wolf-heiztechnik.de>, Abfrage vom: 03. 09 2012

o.V.: Strom aus Sonnenlicht, <http://www.w-quadrat.de/Wquadrat/solarstrom/?navid=1>,
Abfrage vom: 06. 09 2012

o.V.: Eloxieren von Aluteilen, <http://diwo.berndt-edv.de/cms/website.php?id=fahrzeugveredelung/eloxieren.html>, Abfrage vom: 23. 08 2012

Olfert, K. ; Reichel, C.: Investition, 10. Auflage, Ludwigshafen 2006

Prötsch, E.: Sprühtrocknung Fa. AMMAG, Gespräch am 13. 02 2012

Pototschnik, S.: Griffner Pulverbeschichtung, Gespräch am 16. 01 2012

Schilling, J.: Eloxieren von Aluminium nach dem GS-Verfahren (Gleichstrom, Schwefelsäure), <http://www.sr71.dyndns.info/info--eloxieren-von-aluminium.php>, Stand: 05. 04 2010, Abfrage vom: 07. 08 2012

Schöneich:, H.-G.: Ein Stand der Technik beim Kathodischen Korrosionsschutz, Vortrag, Essen 2007

Svejda, P.: Prozesse und Applikationsverfahren in der industriellen Lackiertechnik,: Vincentz Hannover 2003

Wossog, G.: Handbuch Rohrleitungsbau, Band I: Planung, Herstellung, Errichtung, 3.Auflage, Essen 2008

o.V.:Alternativenergie <http://www.wvla.at/photovoltaik.html>, Abfrage vom: 06. 09 2012

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieschema der Unternehmung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 2: Möglichkeiten des Korrosionsschutzes	9
Abbildung 3: Stromdichte Potenzial Kurve passivierbarer Metalle	10
Abbildung 4: Eloxiertes Aluminium	11
Abbildung 5: Elektrochemische Spannungsreihe.....	11
Abbildung 6: Funktionsweise Kathodischer Schutz mit Opferanode	12
Abbildung 7: Opferanode bei einem Schiff.....	12
Abbildung 8: Funktionsweise Kathodischer Schutz mit Fremdstromanode	13
Abbildung 9: KKS mit Fremdstromanode bei Rohrleitungen	14
Abbildung 10: Prinzip pneumatische Spritzpistole	16
Abbildung 11: Gliederung der beschichtenden Verfahren.....	17
Abbildung 12: Prinzip der elektrostatischen Aufladung (Corona)	19
Abbildung 13: Prinzip Tribo Aufladung.....	20
Abbildung 14 Schema Pulverbeschichtung.....	20
Abbildung 15: Schema KTL.....	22
Abbildung 16: KTL bei Karosserien	23
Abbildung 17: Eloxierte Motorradfelgen.....	23
Abbildung 18: Verzinktes Gartentor	23
Abbildung 19: Beschichtete Fassade.....	23
Abbildung 20: Swellex Gebirgsanker von Atlas Copco	24
Abbildung 21: Prozessablauf Pulverbeschichtung	25
Abbildung 22: Kammer mit Sprühring	25
Abbildung 23: Quertaktanlage mit Warenträger	26
Abbildung 24: Bad-Kammern-Bezeichnung der Quertaktprühanlage	26
Abbildung 25: Automatik Beschichtung.....	29
Abbildung 26: Hand Beschichtung.....	25
Abbildung 27: Prozessablauf KTL.....	30
Abbildung 28: Vorbehandlung im Tauchbecken.....	31
Abbildung 29: Tauchbecken der 11 Zonen Vorbehandlung	31

Abbildung 30: Prinzip Blockheizkraftwerk	36
Abbildung 31: p- und n-Schicht.....	37
Abbildung 32: Raumladungszone	38
Abbildung 33:Lösen der Bindung durch Photonen.....	38
Abbildung 34: Photovoltaikzelle mit Verbraucher	39
Abbildung 35: Monokristalline PV Zelle	39
Abbildung 36: Polykristalline PV Zelle	40
Abbildung 37: Dünnschicht / Amorphe PV-Zelle	40
Abbildung 38: Prinzip der Sprühtrocknung.....	44
Abbildung 39: Aufzinsen einer Zahlung	47
Abbildung 40: Abzinsen einer Zahlung	48
Abbildung 41: Interpolation des internen Zinssatzes.....	51
Abbildung 42: Messung an der Quertaktanlage	55
Abbildung 43: Messung beim Hochfahren aus dem Standby.....	56
Abbildung 44: Graphische Lösung.....	63
Abbildung 45: Graphische Darstellung der Wertminderung	66
Abbildung 46: Graphische Darstellung der Amortisationszeit.....	71
Abbildung 47: Hallenplan und Hallenbezeichnung.....	72
Abbildung 48: Graphische Darstellung des internen Zinssatzes von Angebot A	78
Abbildung 49: Graphische Darstellung im realen Fall für alle Angebote.....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtwärmebedarf beider Anlagen.....	56
Tabelle 2: Stundendarstellung.....	57
Tabelle 3: Betriebskosten BHKW 85.....	59
Tabelle 4: Betriebskosten Gasheizkessel.....	60
Tabelle 5: Restwert nach ND.....	66
Tabelle 6: Berechnung des Kapitalwertes.....	68
Tabelle 7: Statische Amortisationsdauer BHKW.....	69
Tabelle 8: Kumulierte Barwerte.....	70
Tabelle 9: Hallenbelegung.....	73
Tabelle 10: Simulierte Jahreserträge der Angebote.....	73
Tabelle 11: Erträge der PV-Anlagen.....	74
Tabelle 12: Kostendarstellung.....	75
Tabelle 13: Kapitalwerte aller Investitionen.....	76
Tabelle 14: Tabellarische Berechnung von Angebot A.....	77
Tabelle 15: Interne Zinssätze aller Angebote.....	78
Tabelle 16 : Kumulation der Barwerte von Angebot A Annahme „Best Case“.....	79
Tabelle 17: Dynamische Amortisation aller Angebote.....	80
Tabelle 18: Kostenvergleich aller Investitionen.....	81
Tabelle 19: Vergleich der Einspeisevergütung.....	82
Tabelle 20: Kapitalwert-Kriterium.....	82
Tabelle 21: Interne Zinssatzmethode-Kriterium.....	83
Tabelle 22: Amortisationszeit-Kriterium.....	84
Tabelle 23: Statische Amortisationsdauer Abfallschlamm-trocknung.....	86

Abkürzungsverzeichnis

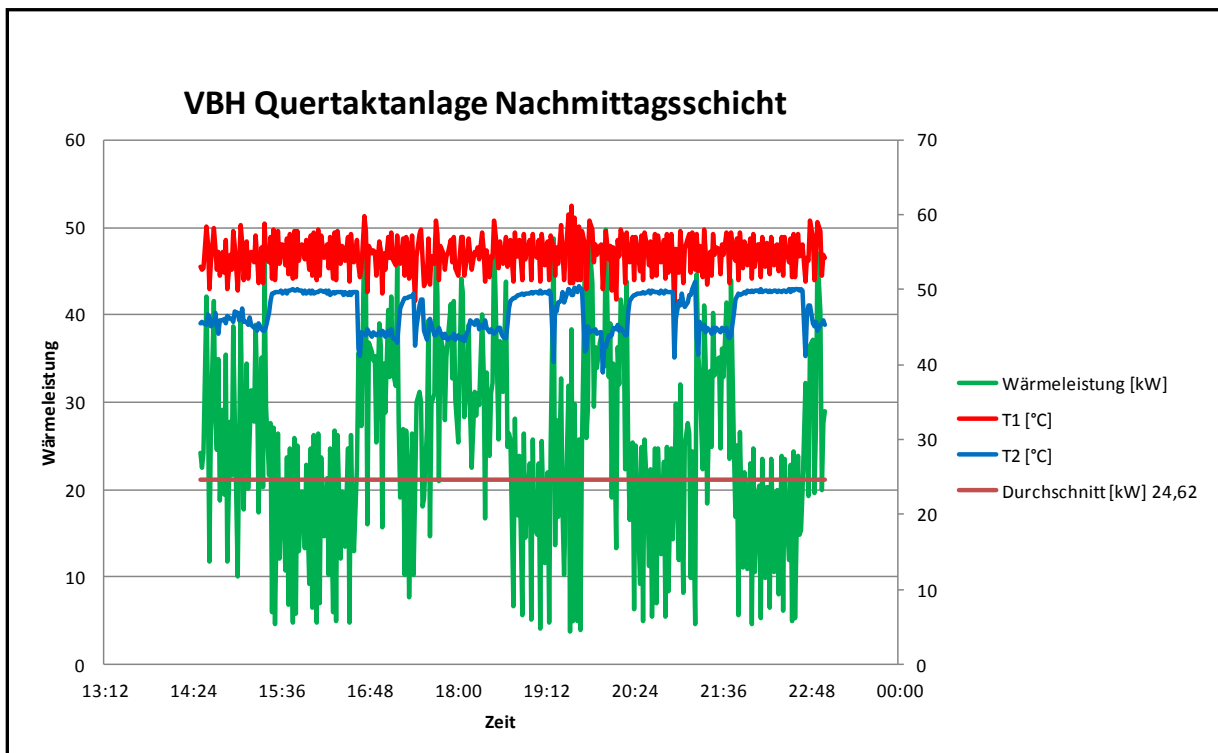
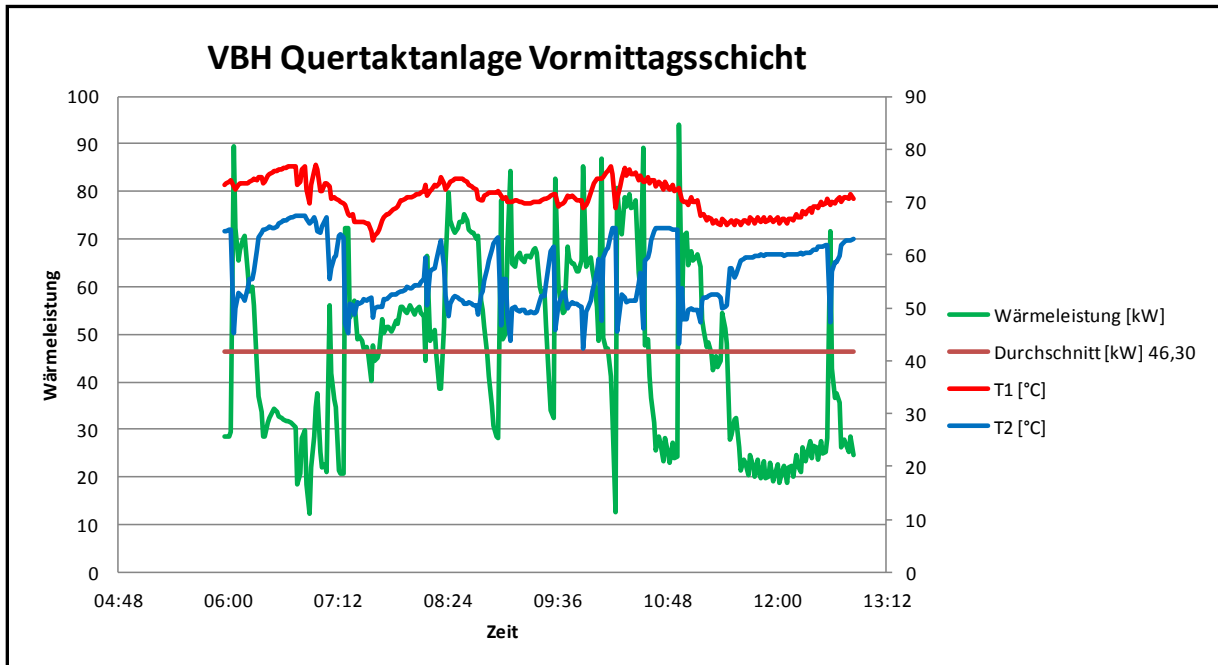
BHKW	Blockheizkraftwerk
etc.	et cetera
EUR	Euro
GHK	Gasheizkessel
GP	Griffner Pulverbeschichtung
HWT	Haftwassertrockner
KS	Korrosionsschutz
KKS	Kathodischer Korrosionsschutz
KTL	Kathodische Tauchlackierung
ND	Nutzungsdauer
PBA	Pulverbeschichtung Automatik
PBH	Pulverbeschichtung Hand
PV	Photovoltaik
TNV	Thermische Nachverbrennung
UF	Ultrafiltrat
VBH	Vorbehandlung
VE	Vollentsalzt

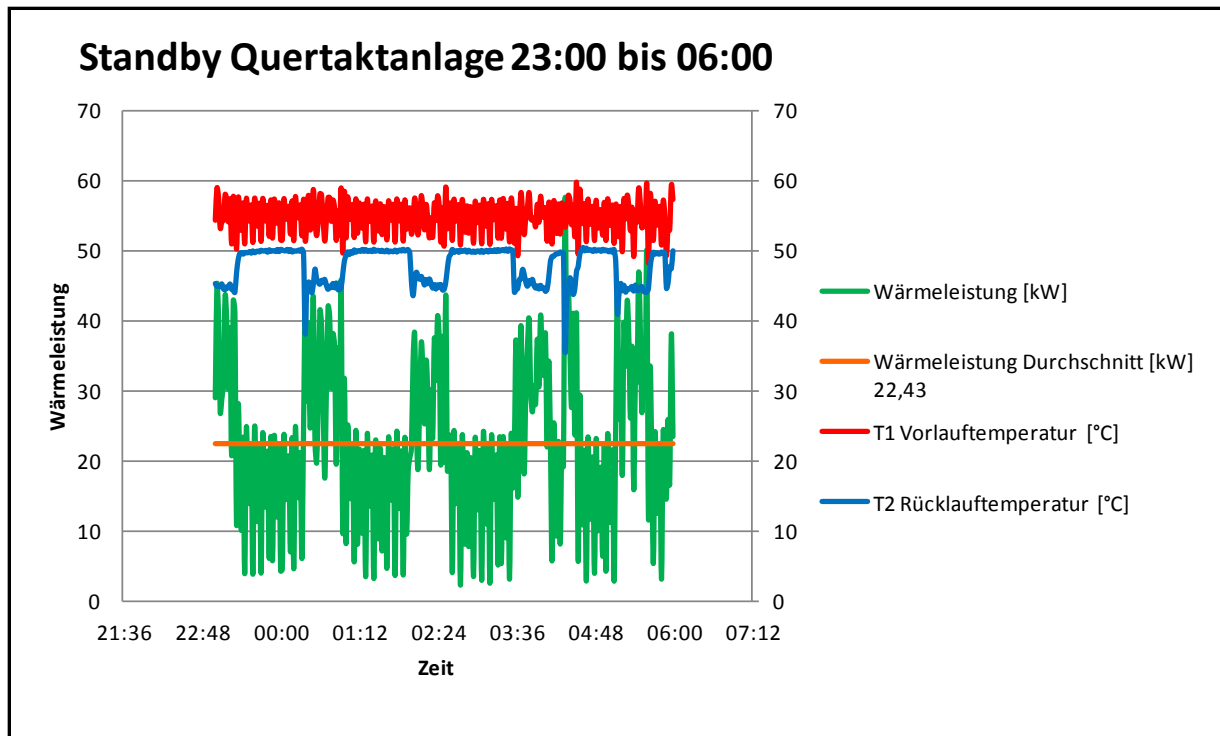
Anhang

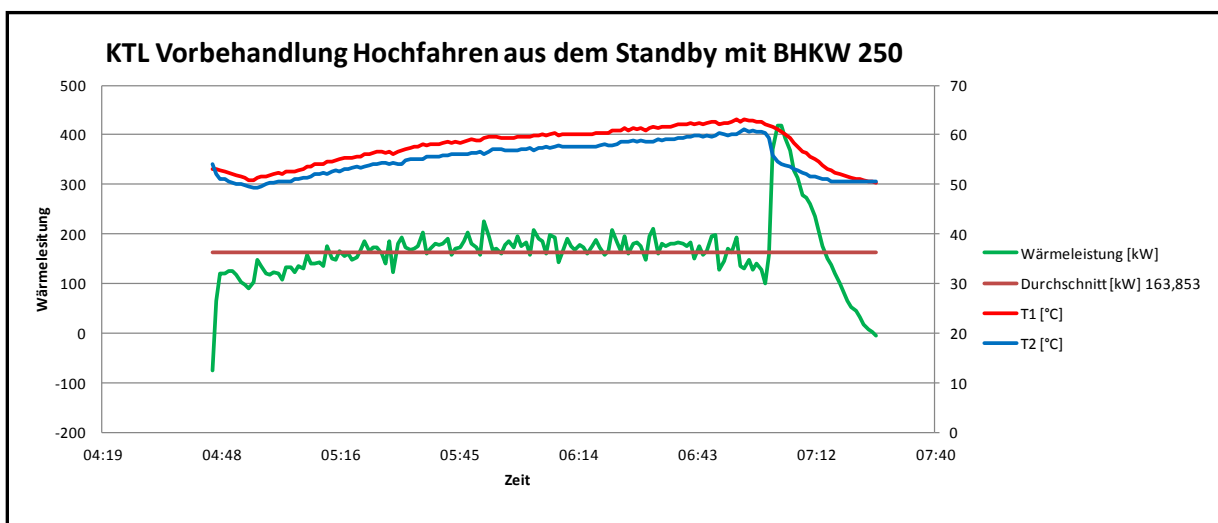
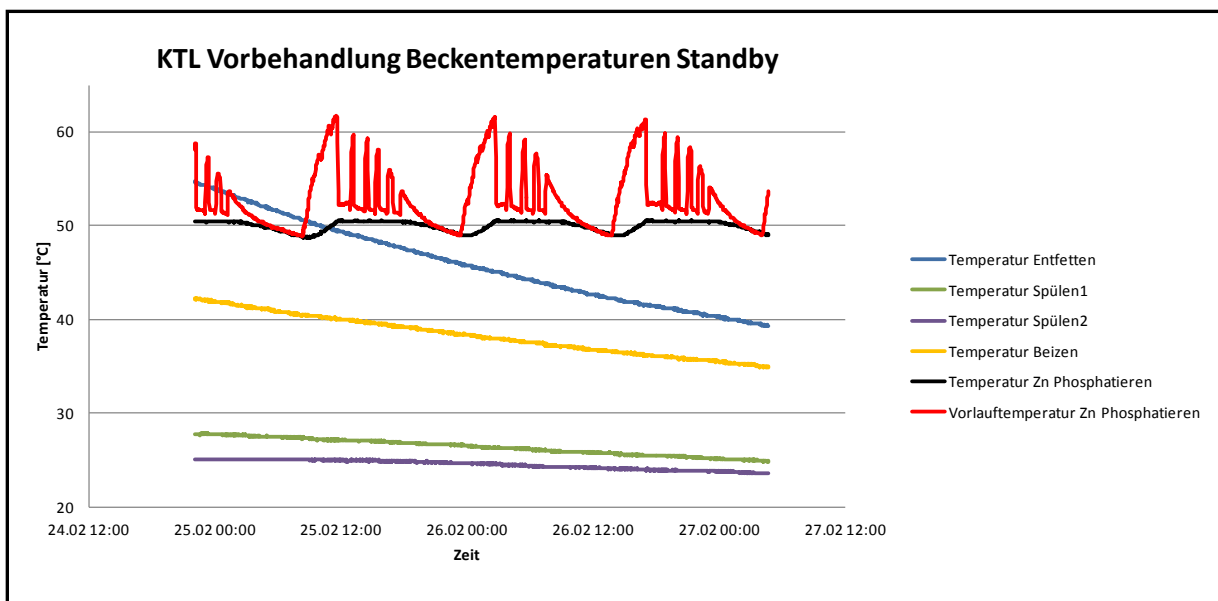
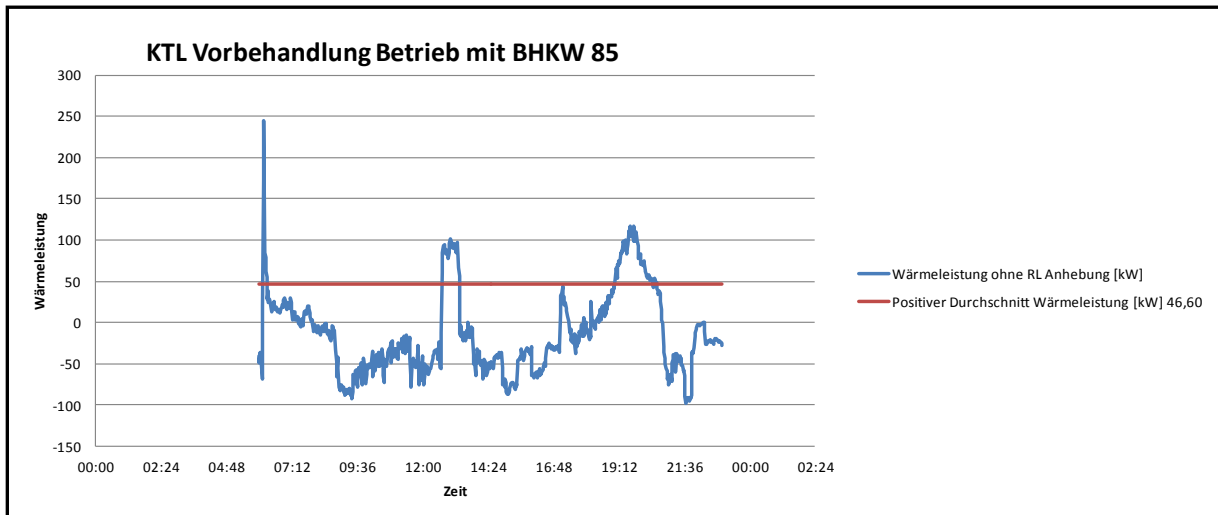
Anhang 1: Messungen des Wärmebedarfes.....	98
Anhang 2: Photovoltaikanlage Angebot.....	101
Anhang 3: Photovoltaik Ertragssimulation	101
Anhang 4: Interne Zinssätze.....	101

Anhang 1: Messungen des Wärmebedarfes

Es folgen alle Auswertungen der Wärmebedarfsmessungen von Quertakanlage und KTL Vorbehandlung







Anhang 2: Photovoltaikanlage Angebot

Im Anhang 2 ist ein Angebot von insgesamt drei Anbietern dargestellt.

Griffner Pulverbeschichtung
Griffen 160
A-9112 Griffen

Angebot
von Fa.
A

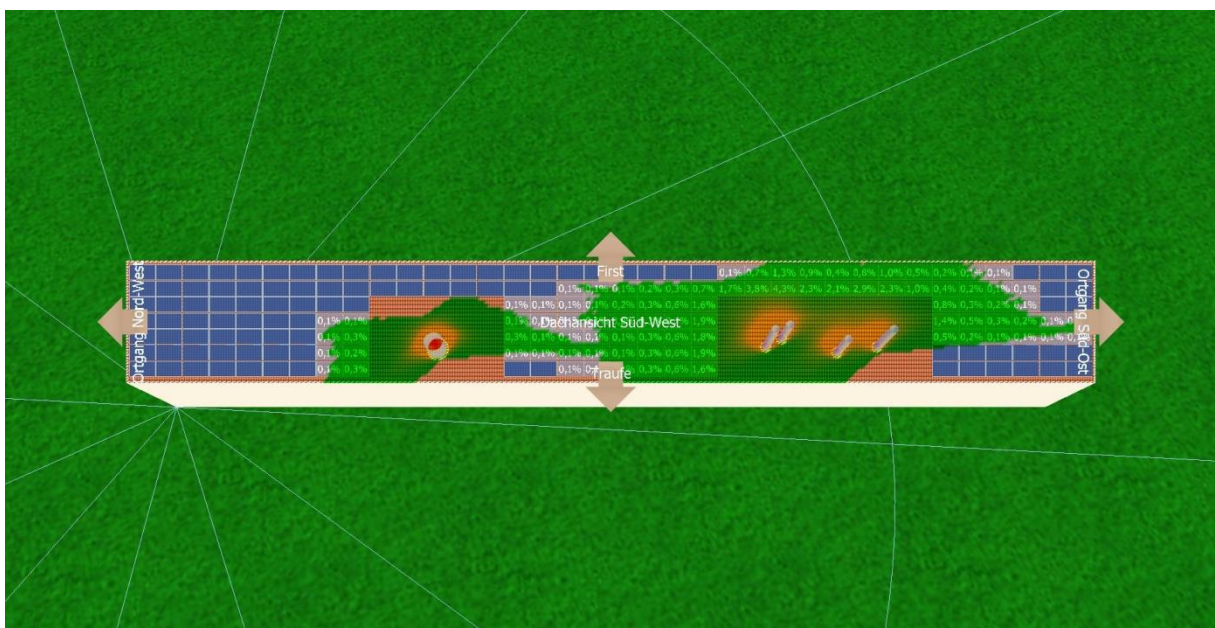
Betrifft: Angebot Photovoltaik

Pos.	Menge	EH	Bezeichnung	E- Preis	Gesamtpreis
1 Photovoltaikanlage REC Solar 235Wp Polykristallin					
1.1	487	Stk	Dach 1 Solarmodul REC-Solar 235 PE Polykristallin; IEC 61215-Zertifikat, geprüft bis 5400Pa; Schutzklasse II; CE Zeichen; ISPR CEC 503; Oberfläche: sauer texturiert (premium); Abmessungen 1665x991x38; Gewicht 18Kg; 63 Monate Produktgarantie; 10 Jahre 90%, 25 Jahre 80% der Leistung; Generatorleistung 119,3 KWp	217,14	105.747,18
1.2	210	Stk	Dach 2 Solarmodul REC-Solar 245 PE Polykristallin; IEC 61215-Zertifikat, geprüft bis 5400Pa; Schutzklasse II; CE Zeichen; ISPR CEC 503; Oberfläche: sauer texturiert (premium); Abmessungen 1665x991x38; Gewicht 18Kg; 63 Monate Produktgarantie; 10 Jahre 90%, 25 Jahre 80% der Leistung; Generatorleistung 49,35 KWp	217,14	45.599,40
1.3	8	Stk	Siemens Sinvert PVM 20	3096,00	24.768,00
1.5	1	Stk	Siemens Sinvert PVM 10	2340,00	2.340,00
1.6	1	PA	Dach 1 : 119,32KWp Aero Tegra 119,32 Systemneigung 15°	33705,00	33.705,00
1.7	1	PA	Dach 2: 49,35KWp Befestigung mit Stockschrauben und zweilagigen Schienensystem	6527,00	6.527,00

1.8	1	PA	Überspannungsschutz im FR-Gehäuse (DC Freischaltbox nicht notwendig Freischalter ist im Wechselrichter integriert) Box dient gleichzeitig als Generatoranschlussbox	3618,00	3.618,00
1.9	1	PA	DC Verkabelungsmaterial inkl. Steckverbinder f. Modulverbindungen (inkl. zusätzlicher Steckverbinder)	3840,00	3.840,00
1.10	1	PA	Hauptverteilung inkl. Rittal Schrank mit Leistungsschalter (Entkopplungsschutz Unterspannungsauslösung L1; L2; L3); und Eingangstrenner NH 00 für Wechselrichter	2640,00	2.640,00
1.11	1	PA	Unterverteiler für Wechselrichter inkl. der Notwendigen Einbauten Leitungsschutzschalter (Fehlerstromschutzschalte**) und Überspannungsableiter im AC	1440,00	1.440,00
1.12	1	PA	AC Verkabelungsmaterial Unterverteiler Wechselrichter bis zum Hauptverteiler nahe der Einspeisung in der Kalkulation Enthalten 150m EYY-J-5x35RM Kupfer 8 (genaueres nach Besichtigung vor Ort)	3456,00	3.456,00
1.13	1	PA	Montage und Installation Vorort, inkl. Werkzeug (Elektrotechnik inkl. Auslöse)	25000,00	25.000,00
1.14	1	PA	Dokumentation (Schaltpläne, Bedienungsanleitungen, Wartungsanleitungen, Messungen, usw.)	3000,00	3.000,00
Positionspreis				EUR	261.680,58
20 % UST				EUR	52.336,12
Gesamtpreis				EUR	314.016,70

Anhang 3: Photovoltaik Ertragssimulation

Die in der Arbeit bereits erwähnte Simulation, die zur Ertragsberechnung der Photovoltaikanlage dient, ist im Anhang 3 dargestellt. In diesen Simulationen ergeben sich s.g. „Tote Gebiete“ die von Störobjekten wie z.B. Kaminen hervorgerufen werden. Diese Bereiche sollen von der Bestückung mit PV-Modulen gemieden werden, da der erzeugte Schatten zu Minderungen der Erträge führt.



Anhang 4: Interne Zinssätze

