

# Stromverbrauchs-Prognosemodelle für die Hüttenindustrie mit dem Ziel der Ausgleichsenergiemengenreduktion

Masterarbeit  
von  
BSc Fabian ECKER



eingereicht am  
Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften  
der  
Montanuniversität Leoben

Leoben, am 01. März 2013

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	ii
Abbildungsverzeichnis .....	iv
Tabellenverzeichnis .....	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	vii
<b>1 Einführung in die Aufgabenstellung und Ausgangssituation .....</b>	<b>8</b>
1.1 Zielsetzung der Arbeit und besondere Herausforderungen.....	8
1.2 Vorgehensweise beim Erstellen der Arbeit .....	9
1.3 Vorstellung der voestalpine AG.....	15
1.4 Anlagen am Standort Donawitz .....	18
<b>2 Der österreichische Strommarkt mit besonderem Augenmerk auf Methoden und Strategien zur Fahrplanerstellung .....</b>	<b>29</b>
2.1 Grundlagen des liberalisierten Strommarktes .....	29
2.1.1 Stromlieferung und Vertragsbeziehungen .....	30
2.1.2 EU-Forderung nach einer Regulierungsbehörde und deren Aufgaben laut österreichischem Bundesgesetz .....	31
2.1.3 Auflistung der wesentlichen Marktteilnehmer und deren Aufgaben.....	32
2.2 Rahmenbedingungen des österreichischen Strommarktmodells.....	36
2.2.1 Übersicht über die Verantwortlichkeiten in den grundlegenden Marktprozessen.....	36
2.2.2 Das Bilanzgruppenmodell.....	37
2.2.3 Datenaustauschformate zur elektronischen Übermittlung.....	38
2.2.4 Stromzähler und Messung.....	39
2.2.5 Standardisierte Lastprofile.....	40
2.3 Klassifizierung von Energieströmen - Regelenergie und Abgrenzung zur Ausgleichenergie .....	41
2.3.1 Netzregelung .....	41
2.3.2 Begriffliche Abgrenzung von Ausgleichsenergie und Regelenergie.....	44
2.4 Fahrplanerstellung .....	45
2.4.1 Fahrplanmanagement und funktionale Abgrenzung zur Fahrplanerstellung	45
2.4.2 Grundsätzliche Strategien und Methoden zur Fahrplanerstellung.....	46
2.4.3 Lastprognosen und Fahrplanerstellung in der Hüttenindustrie am Beispiel eines Pilot-Forschungsvorhabens .....	48
2.5 Preisbildung und Verrechnung.....	53

2.5.1 Clearing .....	53
2.5.2 Preisbildung – Regelenergie .....	54
2.5.3 Preisbildung – Ausgleichsenergie .....	58
<b>3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz .....</b>	<b>61</b>
3.1 Analyse der Verbrauchscharakteristika nach Hauptverbrauchern .....	61
3.2 Erhebung der zur Verfügung stehenden Daten .....	69
3.2.1 Daten für den Strombezug .....	69
3.2.2 Produktionsprogramme .....	70
3.3 Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge für den Energieverbrauch der Hauptverbraucher .....	79
3.4 Vergleich der Berechnungsmodelle für die Fahrplanerstellung .....	86
3.5 Planungstool zur teilautomatischen Fahrplanerstellung und Zielkontrolle .....	96
3.6 Vergleich der Gesamtfahrpläne und Bewertung der Verbesserung .....	102
<b>4 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>104</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>106</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>a</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - führende Position in den vier Kernsegmenten der voestalpine .....	15
Abbildung 2 - voestalpine Standorte weltweit.....	16
Abbildung 3 - Umsatz der voestalpine nach Regionen und Branchen.....	17
Abbildung 4 - F&E Aufwendungen des voestalpine-Konzerns.....	18
Abbildung 5 - Die Anlagen der voestalpine Donawitz: 1 Sinteranlage, 2 die beiden Hochöfen mit den numerischen Bezeichnungen eins und vier, 3 Stahlwerk, 4 Schienenwalzwerk, 5 Schienenlager, 6 Drahtwalzwerk.....	19
Abbildung 6 - Verfahrensfließbild für die Sinteranlage .....	20
Abbildung 7 – Verfahrensfließbild des Hochofens.....	22
Abbildung 8 – Verfahrensfließbild des Stahlwerks.....	24
Abbildung 9 - Zähler im PGIM Signal Explorer.....	26
Abbildung 10 - Grafische Aufbereitung eines Zählers über die letzten 7 Tage im PGIM.....	27
Abbildung 11 - Übersicht des Verantwortungsbereichs der Abteilung Energie und Medien.	27
Abbildung 12 - Schematische Darstellung der Vertragsbeziehungen und Stromflüsse im österreichischen Strommarktmodell .....	31
Abbildung 13 - Grafische Darstellung der Regelmöglichkeiten .....	42
Abbildung 14 – Steuerungsschema mit Aktionen, ausgehend von der Netzfrequenz.....	43
Abbildung 15 - Beispiel einer Frequenzabweichung und Aktivierung der entsprechenden Reserven in weiterer Folge.....	44
Abbildung 16 - Kosten für Marketmaker von 2002 bis 2011 .....	55
Abbildung 17 – Mengen von Tertiärregelenergie von 2002 bis 2011.....	55
Abbildung 18 – Erlöse/Kosten durch Tertiärregelung von 2002 bis 2011 .....	56
Abbildung 19 - Preisbildung bei Grenzpreisverfahren (links) und Pay-as-bid Verfahren (rechts).....	56
Abbildung 20 - Typisches Lastprofil von Sinteranlage + Hochofen über 7 Tage.....	62
Abbildung 21 - Typisches Lastprofil des Stahlwerks über 7 Tage .....	63
Abbildung 22 - Typisches Lastprofil des Drahtwerks über 7 Tage.....	64
Abbildung 23 - Typisches Lastprofil des Schienenwalzwerks über 7 Tage .....	65
Abbildung 24 - Typisches Lastprofil der Anlagen der Fremdfirma Air Liquide über 7 Tage.	66
Abbildung 25 - Typisches Lastprofil der Eigenerzeugung durch das Kraftwerk am Standort Donawitz über 7 Tage .....	67
Abbildung 26 - Typisches Lastprofil der E-Gebläse über 7 Tage.....	68
Abbildung 27 - TE-Energiebilanz Tool zur tagesaktuellen Abfrage von Bezugsdaten .....	70
Abbildung 28 - Ist-Daten der Roheisenproduktion der beiden Hochöfen .....	71
Abbildung 29 - Plandaten für die beiden Hochöfen .....	72
Abbildung 30 - Ist-Daten der Stahlproduktion.....	73
Abbildung 31 - Geplante Chargen der Rohstahlproduktion des Stahlwerks.....	74
Abbildung 32 - Ist-Daten der Drahtproduktion .....	75
Abbildung 33 - geplantes Walzprogramm des Drahtwerks .....	76

---

Abbildung 34 - Walzprogramm des Schienenwalzwerks.....	77
Abbildung 35 - Genauere Tagesbetrachtung des Hochofenbezugs.....	80
Abbildung 36 - Genauere Tagesbetrachtung des Stahlwerkbezugs .....	81
Abbildung 37 - Korrelation zwischen Bezug und Dimension des gewalzten Drahtes .....	82
Abbildung 38 - Genauere Tagesbetrachtung des Drahtwerks .....	83
Abbildung 39 - Genauere Tagesbetrachtung des Schienenwalzwerks.....	84
Abbildung 40 - Genauere Tagesbetrachtung der Fremdfirma Air Liquide .....	84
Abbildung 41 - Bisheriger Fahrplan für Hochofen und Sinteranlage.....	87
Abbildung 42 - Schematische Beschreibung der Funktionsweise der Heuristik für die Berechnung des Hochofenfahrplans .....	88
Abbildung 43 - Neuer Fahrplan für Hochofen und Sinteranlage .....	88
Abbildung 44 - Bisheriger Fahrplan für das Stahlwerk.....	89
Abbildung 45 - Neuer Fahrplan für das Stahlwerk.....	90
Abbildung 46 – Bisheriger Fahrplan für das Drahtwerk .....	91
Abbildung 47 - Korrelation von gewalzter Drahtdimension und Stromverbrauch des Drahtwerks.....	91
Abbildung 48 - Bisheriger Fahrplan des Schienenwalzwerks.....	92
Abbildung 49 - Bisheriger Fahrplan der Eigenerzeugung .....	93
Abbildung 50 - Prognosegenauigkeit der Hochofenausbringung .....	94
Abbildung 51 - Prognosegenauigkeit der Stahlwerksausbringung .....	95
Abbildung 52 - Benutzereingabefeld des neuen Fahrplantools.....	97
Abbildung 53 – Automatisches Einlesen der relevanten PGIM Daten der individuellen Bezüge.....	98
Abbildung 54 - Konsolidierung der individuell berechneten Fahrpläne und Korrekturmöglichkeit .....	99
Abbildung 55 - Feedbacktool und automatische grafische Analyse der Fahrplangenaugkeit	100
Abbildung 56 - Automatische Generierung der vom Verbund geforderten Excel-Datei .....	101
Abbildung 57 - Gesamtbetrachtung der bisherigen und neuen Fahrpläne und des tatsächlichen Strombezugs .....	102

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Einstellbare Gehalte an Legierungselementen.....	23
Tabelle 2 - Übersicht über Marktteilnehmer in diversen Marktprozessen am österreichischen Strommarkt .....	36
Tabelle 3 - Die zu verwendenden Datenformate bei Datenaustauschprozessen.....	39
Tabelle 4 – Ausgleichenergiepreis in einem Einpreissystem .....	59
Tabelle 5 - Ausgleichsenergiepreis in einem Zweipreissystem.....	60

## Abkürzungsverzeichnis

BGV	Bilanzgruppenverantwortlicher
BKO	Bilanzgruppenkoordinator
Ch.	Chargen
Diss.	Dissertation
EIWOOG	Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz
et al.	et alteri oder et alii = und andere
f.	folgende Seite
ff.	folgende Seiten
HO	Hochofen
Hrsg.	Herausgeber
hrsg.	herausgegeben
KNN	künstliches neuronales Netz
NB	Netzbetreiber
o.V.	ohne Verfasserangabe
PGIM	IT-System zur Zeitreihenerfassung von Stromverbräuchen
RZF	Regelzonenführer
s.	siehe
S.	Seite
VBA	Visual Basic
vgl.	Vergleiche
zit. nach	zitiert nach

# 1 Einführung in die Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Dieses Kapitel soll zunächst einen Überblick über die Zielsetzung der Arbeit geben und die damit verbundenen Herausforderungen beschreiben, die es zu bewältigen galt. Danach folgt eine Zusammenfassung der Vorgehensweise beim Erstellen der Arbeit. Die Reihenfolge der Tätigkeiten spiegelt sich auch in der Struktur des Aufbaus der Arbeit wieder. Im dritten Teil dieses Kapitels wird der voestalpine Konzern kurz vorgestellt und im letzten Abschnitt werden die wichtigsten Anlagen am Standort Donawitz beschrieben.

## 1.1 Zielsetzung der Arbeit und besondere Herausforderungen

Der Standort Donawitz ist vertraglich verpflichtet sogenannte Fahrpläne an den Verbund zu melden. Der Verbund ist der aktuelle Vertragspartner der voestalpine Donawitz. Ein Fahrplan ist eine auf 15-Minuten-Basis aufgeschlüsselte Energiebedarfsprognose für den Folgetag und dient als Berechnungsgrundlage für die Ausgleichsenergieverrechnung. Die theoretischen Grundlagen dieses Themas werden in Kapitel 2 genauer abgehandelt. Ein Fahrplan ist gültig ab 00:00 Uhr des Folgetages für vierundzwanzig Stunden und muss bis spätestens zehn Uhr vormittags abgeschickt werden. Bisher wurden die Fahrpläne für eine Woche im Voraus geplant und bei Bedarf, Änderungen nachträglich gemeldet. Die Erstellung erfolgte bisher meist mithilfe der Produktionsprogramme der Folgetage als Berechnungsgrundlage in einer Microsoft Excel Datei. Des Weiteren spielte die Erfahrung und das Knowhow der involvierten Mitarbeiter eine entscheidende Rolle bei der Erstellung, da die Berechnungen meist manuell nachkorrigiert werden mussten.

Ziel dieser Arbeit ist es, zu identifizieren zu welchem Zeitpunkt und aus welchen Gründen am Standort Donawitz große Mengen an Ausgleichsenergie anfallen und diese, falls möglich, zu reduzieren. Als Grundlage dafür dienen weiterhin die Produktionspläne der einzelnen Divisionen. Durch die Reduktion der Ausgleichsenergiemengen sollte es in weiterer Folge möglich sein, auch die anfallenden Ausgleichsenergiekosten zu reduzieren.

Die Ausgangssituation gestaltet sich durch eine große Anzahl von korrelierten und unkorrelierten Faktoren als ausgesprochen komplex. Dieser Abschnitt beschreibt einige der Herausforderungen, welche dann im Laufe der Arbeit genauer abgehandelt werden. Die Abteilung Energie und Medien betreibt unter anderem Kraftwerksanlagen mithilfe derer, die bei der Produktion anfallenden Hüttengase verstromt werden können. Weiters kann auch Erdgas in den Kesseln gesetzt werden um sich bei ungünstiger Preisentwicklung vom Strommarkt emanzipieren zu können. Der Zustrom von Hüttengasen hängt jedoch hauptsächlich von der Produktionsmenge des Hochofens und des Stahlwerks ab. Deren Strombedarf wiederum ändert sich mit der Ausbringungsmenge und man kann bereits erkennen, dass viele Verbrauchpunkte in Abhängigkeitsbeziehungen zueinander stehen und dieser Umstand eine Prognose schwierig macht. Des Weiteren sind die derzeit kommunizierten Produktionsprogramme nur sehr grob aufgelöst und können nicht als alleinige Grundlage für Prognosen verwendet werden. Der Grund dafür ist, dass man zwar die grundsätzliche Tagesproduktion für den Folgetag kennt, aber die Zeitpunkte der Lastgänge nur mit großer Unschärfe prognostizierbar sind.

Die verfügbaren Daten beschränken sich auf historische Daten welche aus einem Leittechnik System ausgelesen werden können, Produktions-Ist-Daten und Planproduktionsdaten der jeweiligen Divisionen am Standort. Sowohl Plan- als auch Ist-Daten sind in der Regel auf Tagesbasis verfügbar, in manchen Fällen aber auf Schichtbasis. Genauere Planungsdokumente werden derzeit von Seiten der Werke nicht übermittelt. Die Stromzähler-Daten sind auf fünfzehn Minuten genau.

Die Fahrpläne müssen ebenfalls auf fünfzehn-Minuten Basis gemeldet werden. Somit war eine der größten Herausforderungen der Arbeit, die oft sehr ungenauen Planungsdaten optimal zu nutzen und die fehlenden Informationen mithilfe von Konzepten aus der Statistik auszugleichen, um akzeptable Planungsgenauigkeit zu erreichen.

Eine Teilaufgabe der Arbeit war es, ein Planungstool zu programmieren, welches zur Gänze auf Microsoft Excel basieren muss. Das bedeutet, dass zur Prognoseerstellung ausschließlich Excel Funktionen und Visual Basic Code zum Einsatz kommen konnten. Eine weitere Herausforderung ergab sich daraus, dass das Tool so zu gestalten war, dass es leicht zu adaptieren und verstehen sein sollte.

## 1.2 Vorgehensweise beim Erstellen der Arbeit

Grundlage jeder wissenschaftlichen Arbeit ist das Beschaffen von geeigneten Informationen und Daten. Da diese auf verschiedene Arten erhoben werden können, ist es wichtig die Methodik zu beschreiben. Grundsätzlich lassen sich die elementaren Typen der Informationsbeschaffung und -erhebung aus dem Qualitätsmanagement übernehmen. Zu diesen zählen:<sup>1 2</sup>

- Fragebogen
- Beobachtung
- Experiment
- Auswertung vorhandener Unterlagen/Informationen
- Persönliche Befragung
  - Schriftlich
  - Telefonat
  - Mündlich

In diesem Kapitel wird immer wieder auf diese elementaren Grundtypen Bezug genommen um die Art der Informationserhebungen zu klassifizieren.

Alle Befragungen und Interviews wurden sowohl strukturiert, mittels vorbereiteter Fragen sowie auch unstrukturiert auf Basis neuer Informationen und Situationen durchgeführt.

---

<sup>1</sup> Koch S. (2011), S. 68

<sup>2</sup> Werner C. (2009), S. 37

## Grundlagen- und Literaturrecherche

Die grundlegende Informationsbasis dieser Arbeit wurde auf verschiedene Arten geschaffen. Zu den notwendigen Informationen zählen die Funktionsweise die grundsätzlichen Komponenten eines Hüttenbetriebs, die Abläufe in einem Kraftwerk, dessen Einsatzzweck in erster Linie die Verstromung von Hüttengasen ist, sowie die wesentlichen Komponenten des österreichischen Strommarktes. Darüber hinaus war es notwendig fundierte Kenntnisse in Microsoft Excel sowie der Programmierung in Visual Basic zu erwerben. Ebenfalls unerlässlich waren Methoden der Kennlinienanpassung wie lineare Regression und einfache statistische Konzepte wie Standardabweichung und Korrelationstests.

Im Rahmen der Grundlagen und Literaturrecherche spielten besonders die folgenden Typen der Informationserhebung eine führende Rolle:

- Beobachtung,
- persönliche Befragung,
- Auswertung vorhandener Unterlagen und Informationen

Im Rahmen der theoretischen Nachforschungen, die in dieser Arbeit Verwendung finden, wurden die folgenden Themen mit besonderer Sorgfalt behandelt:

- Funktionsweise des österreichischen Strommarktes
- Definition von Ausgleichsenergie und Verrechnung
- Betrieb von Kraftwerken
- Funktionsweise von Gaskraftwerken
- Aufgabe und geografische Verteilung von Regelzonen
- Definition von Regelenergie und deren begriffliche und funktionale Abgrenzung zur Ausgleichsenergie
- Methodik und Möglichkeiten zur Erstellung von Energieverbrauchsprognosen im industriellen Umfeld, insbesondere in der Hüttenindustrie
- Microsoft Excel Funktionalität
- Programmiersprache Visual Basic
- Statistische Methoden und Theorie aus dem Gebiet der Kennlinienanpassung

## **Aufnahme der betrieblichen Prozessabläufe**

Nach einer rein Literatur- und Aufzeichnungs-basierten Einarbeitungszeit, kamen im Rahmen von Betriebsrundgängen und Führungen die folgenden beiden Methoden verstärkt zum Einsatz:

- Beobachtung
- Befragung

Um die Beobachtungen und Befragungen möglichst effizient und nicht-disruptiv für das Tagesgeschäft zu gestalten, wurde eine geeignete Strategie in Abstimmung mit der Abteilungsleitung gewählt. Es wurde von Seiten der Leitung des Energiemanagements gewünscht, dass Befragungen und Beobachtungen im Rahmen der täglichen Routinetätigkeiten abzuwickeln sind, um Mitarbeiter nicht unnötig von ihren Tätigkeiten abzuhalten.

Die Schichtleitung der Abteilung Energie und Medien muss mehrmals täglich Inspektionen und Sichtkontrollen verschiedenster Bereiche des Kraftwerks und anderer Abteilungen durchführen. Im Zuge dessen werden innerhalb kürzester Zeit alle für die Arbeit relevanten Komponenten abgedeckt, ohne unnötig Mannstunden für Führungen zu verschwenden. Im Zuge dieser Rundgänge und Inspektionen fanden auch die fachspezifischen Personenbefragungen statt, welche immer wieder neue Perspektiven, Probleme und Ideen aufzeigten.

Für die Erhebung eines Teils der notwendigen Informationen sind diese Rundgänge natürlich ideal. Es wäre jedoch des Öfteren wünschenswert gewesen, kleine Workshops oder Moderationsrunden abhalten zu können, um Probleme und mögliche Lösungen in der Runde diskutieren zu können und Meinungen einzuholen. Dies war von Seiten der Leitung leider nicht gewünscht. Weiters gestaltete es sich in der Zeit der Erstellung der Arbeit oft als sehr schwierig länger als wenige Minuten mit den verantwortlichen Personen zu sprechen, da diese durch das Tagesgeschäft meist extrem beschäftigt waren.

Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Punkt ist die Kenntnis der notwendigen Arbeitsabläufe, die für die Fahrplanerstellung erforderlich sind. Um möglichst großes Verständnis für den Ablauf dieser Prozesse aufbauen zu können, wurde der Arbeitsplatz für die Zeit der Erstellung dieser Arbeit in unmittelbarer Nähe zu den für die Fahrplanerstellung verantwortlichen Mitarbeitern gewählt. Aus diesem nahen Dienstverhältnis resultierten oft erstaunliche Erkenntnisse, welche die Arbeit im Positiven beeinflusst haben.

## **Beschaffung der Ressourcen**

Der Prozess der Beschaffung der Ressourcen kann eigentlich bis zum Abschluss der Arbeit nicht als beendet gesehen werden und zieht sich somit fortwährend durch alle Phasen der Arbeit.

Es gibt natürlich nicht unendlich große Mengen an Daten und des Weiteren haben diese auch nicht immer die gewünschte Qualität. Im Laufe der Arbeit entsprachen die erhaltenen Daten oft nicht dem was angefordert wurde. Ein ständiger Dialog war notwendig um vorwärts zu kommen. Gerade dieser stellte sich jedoch oft als sehr problematisch dar, da

durch den Umstand, dass jedes Werk am Standort als eigenständiger Betrieb geführt wird, sich ein durchwegs vehementes Abteilungs- und auch Betriebsdenken etabliert hat, welches die interne Kommunikation oft stark behindert.

Dieses gilt es für die Zukunft aufzubrechen und die Kommunikation zu verbessern, jedoch ist dies nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit und würde den Rahmen massiv sprengen.

Aus diesen Gründen mussten bis zum Schluss immer wieder Datensätze für einzelne Monate und aus den jeweiligen Betrieben angefordert werden, um die Analyse abschließen zu können. Zu den Daten gibt es abschließend zu sagen, dass alle verfügbaren Daten letztendlich mit erheblichem Aufwand beschafft wurden und für Analysen zur Verfügung standen.

Auch die personellen Ressourcen seien hier erwähnt. Genauso wie Daten müssen auch personelle Ressourcen zu Beginn und im Laufe des Projekts identifiziert und allokiert werden. Es stand grundsätzlich im Vordergrund ein gut funktionierendes Netzwerk unter den Personen aufzubauen, die für die Fahrplanerstellung verantwortlich sind.

Des Weiteren wurden auch Arbeitsleistungen von Praktikanten in Anspruch genommen. Im Besonderen zur Aufbereitung gewisser Daten und anderen zeitaufwändigen aber dennoch einfachen Tätigkeiten. Da Daten oft nur als Kopien von Ausdrucken vorlagen und somit keine EDV-technische Verwertung möglich war, war es oft sehr hilfreich Unterstützung bei der manuellen Digitalisierung von Produktionsprogrammen zu erhalten.

Wie bereits auch schon im letzten Abschnitt dieses Kapitels angesprochen, lässt die innerbetriebliche Kommunikation mit ihrem momentanen Stand große Potenziale erkennen. Aus diesem Grund war es im Laufe der Diplomarbeit nicht möglich Besichtigungen der einzelnen Betriebe zu organisieren, um unter Umständen einen besseren Einblick in die Abläufe und Prozesse, die hinter den Bezugsprofilen stehen, erlangen zu können.

### **Definition der Rahmenbedingungen**

Die festgelegten Einschränkungen lassen sich in 3 Kategorien einteilen. Zum einen gibt es terminliche Restriktionen, die somit auch Einfluss auf den Umfang der Arbeit haben. Zum anderen gibt es ablauforganisatorische Gegebenheiten, die im Rahmen der Arbeit als nicht veränderlich gelten. Dazu zählen Kommunikationsstrukturen und Informationssysteme. Die damit verbundenen Herausforderungen und Probleme wurden in einem früheren Abschnitt dieses Kapitels bereits angesprochen. Und zuletzt ist auch die Datenqualität als einschränkender Faktor zu sehen. Auch dieser ist im Zuge der Arbeit als gegeben anzunehmen und deren Verbesserung gilt nicht als Gegenstand der Arbeit. Wohl aber werden Potentiale und Verbesserungsvorschläge in diesem Zusammenhang aufgezeigt und diskutiert. Zusammenfassend sind hier nochmals die relevanten Einschränkungen aufgelistet:

- Die Qualität der IST und PLAN-Daten ist als gegeben hinzunehmen und es ist nicht Aufgabe der Arbeit daran etwas zu ändern
- Die Projektdauer ist mit sechs Monaten veranschlagt
- Die verwendeten Modelle sollen leicht verständlich, leicht änderbar und adaptierbar sein
- Das zu programmierende Tool soll
  - Klein genug sein um als Attachment versendbar zu sein

- Benutzerfreundlich sein
- Leicht verständlich sein
- In Microsoft Excel mit VBA Code lauffähig sein
- Kurze Berechnungslaufzeiten besitzen

Ausgehend von diesen Einschränkungen wurden die nächsten Schritte der Arbeit eingeleitet. Diese werden in den folgenden Absätzen genauer beschrieben.

### **Kategorisierung der Hauptverbraucher und Erhebung sowie Bewertung der zur Verfügung stehenden Daten**

Nach dem Festlegen des Arbeitsumfangs wurden zunächst die Haupt-Energieverbraucher und deren Verbrauchscharakteristika analysiert. Im Zuge dessen wurden auch alle verfügbaren Daten, sowohl IST als auch PLAN-Daten, analysiert und in Bezug auf ihre Qualität und Genauigkeit bewertet.

In diesem Zusammenhang wurde auch eine funktionale Gliederung des Standortes in die Hauptverbraucher erstellt. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf der funktionalen Ausdifferenzierung der einzelnen Verbraucher um bei der Fahrplanerstellung mit möglichst wenigen Interdependenzen zwischen den einzelnen Anlagen konfrontiert zu sein. Die Reihenfolge der Abarbeitung wurde in erster Linie von der Informationsverfügbarkeit und den Bereitstellungszeitpunkten durch die entsprechenden Verantwortlichen diktiert.

### **Ermittlung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei den Hauptverbrauchern**

Dem Ermitteln von Korrelationen wurde im Rahmen dieser Arbeit besonderes Augenmerk geschenkt, da sich unter anderem daraus die zum Einsatz kommenden Modelle ableiten sollten. Zunächst wurden gängige statistische Methoden angewandt und einfache Kennzahlen berechnet. Untersuchte Kriterien und genutzte Methoden waren:

- Standardabweichung und Varianz
- Korrelationskoeffizienten nach Pearson für Stichproben mit der Formel:<sup>3</sup>

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

- Regressionsanalysen nach der „Least Squares“ Methode

---

<sup>3</sup> Jackson S. L. (2012), p. 162

Des Weiteren fanden bei Bedarf immer wieder Gespräche mit Statistikern und Mathematikern statt, die Expertenwissen auf den Gebieten der statistischen Auswertung von Daten und Algorithmentheorie haben.

### **Neue Berechnungsmodelle für die Fahrplanerstellung**

Das Entwerfen von neuen Berechnungsmodellen stellte sich als besonders große Herausforderung dar, da wie bereits beschrieben eine Reihe von Einschränkungen die Freiheitsgrade erheblich reduzierten und vor allem zum Erstellungszeitpunkt der Arbeit nur sehr wenige Präzedenzfälle zum Thema Fahrplanerstellung mit wissenschaftlichem Hintergrund verfügbar waren. Aus diesem Grund wurden die Berechnungsmodelle und Strategien zur Fahrplanerstellung, die in dieser Arbeit vorgestellt werden, völlig neu entwickelt und auf die speziellen Anforderungen am Standort Donawitz zugeschnitten. Des Weiteren tragen die Berechnungsmethoden auch der Datenqualität und der Datenverfügbarkeit Rechnung. Wenn zum Beispiel die Planungsgenauigkeit höher wäre, würden in dieser Arbeit andere Methoden vorgeschlagen werden. Die vorgeschlagenen Berechnungsmodelle sind bei den aktuellen Rahmenbedingungen und allen berücksichtigten Einschränkungen die genauesten, die im Zuge dieser Arbeit ermittelt werden konnten.

Somit stützt sich die gesamte Modellentwicklung auf Nachforschungen in anderen Gebieten mit Parallelen zur Fahrplanentwicklung, Expertenratschläge und an die jeweiligen Betriebe angepasste, neue Konzepte.

### **Programmierung des Planungstools**

Beim Design des Planungstools bestanden, wie bereits besprochen, eine Reihe von Einschränkungen welche allesamt im Entstehungsprozess berücksichtigt wurden. Weiters wurde das Tool nach den Anforderungen der betreffenden Mitarbeiter erstellt. Um den Rahmen der Arbeit und die Komplexität des Tools in Grenzen zu halten, wurde eine vollautomatische Lösung ausgeschlossen. Dies wäre ohnehin in keinem Fall wünschenswert, da immer ein Mitarbeiter die berechneten Werte kontrollieren muss und bei Bedarf auch manuelle Korrekturen vornehmen können muss.

Dennoch stand der Gedanke im Mittelpunkt, dem Mitarbeiter so viele Arbeitsschritte wie möglich abzunehmen und die verbleibenden Schritte so anwenderfreundlich wie möglich zu gestalten, da die Akzeptanz von Veränderungen dieser Art stark von der Benutzerfreundlichkeit der angebotenen Lösung abhängt.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Chaudhry S. et al (2007), S. 283

### 1.3 Vorstellung der voestalpine AG

Der Konzern voestalpine hat Standorte auf der ganzen Welt und ist in höchstem Maße wettbewerbsfähig, mit einer Vielzahl von spezialisierten und flexiblen Unternehmen, die hochwertige Stahlprodukte fertigen, verarbeiten und weiterentwickeln. Insgesamt gibt es weltweit über 500 Konzerngesellschaften und -standorte in über 50 Ländern auf allen 5 Kontinenten. Durch Technologieführerschaft und strategisch vorteilhafter Vorwärtsintegration in vielen Unternehmensbereichen und Marktsegmenten erfreut sich der Konzern einer guten Auftragslage in wirtschaftlich schwierigen und turbulenten Zeiten.

Aus diesen Gründen ist die voestalpine weltweit oft der erste Ansprechpartner für anspruchsvolle Produktlösungen rund um Stahlerzeugnisse. Mit ihren höchstqualitativen Flachstahlprodukten ist sie einer der führenden europäischen Partner der Automobil-, Energie-, Hausgeräte- und Konsumgüterindustrie. Sie ist des Weiteren Weltmarktführer in den Bereichen Weichentechnologie, Werkzeugstahl und bei Spezialprofilen. Weltweit bekannt ist auch die Technologieführerschaft der voestalpine bei der Herstellung speziell kopfgehärteter Schienen, welche gleichzeitig auch die längsten der Welt sind. Das bedeutet, die Schienen haben besonders lange Produktlebenszyklen, sowie weniger Verlegeaufwand mit niedrigeren Kosten beim Bau neuer Trassen.<sup>5</sup>

Das Unternehmen konnte im Geschäftsjahr 2011/12 einen Umsatz von 12,1 Mrd. EUR erzielen. Im gleichen Jahr beschäftigte es weltweit etwa 46.500 Mitarbeiter. Weitere Eckdaten des Unternehmens sind, dass es in vier Divisionen unterteilt ist und seit dem Jahre 1995 an der Wiener Börse notiert. Diese Aufteilung wird in Abbildung 1 genauer aufgeschlüsselt und erläutert.<sup>6</sup>

			
<b>Steel</b>	<b>Special Steel</b>	<b>Metal Engineering</b>	<b>Metal Forming</b>
<b>Europäischer Top-Player</b>	<b>Weltweite Führerschaft</b>	<b>Weltweite Führerschaft</b>	<b>Weltweite Führerschaft</b>
Europäischer Top-3-Lieferant bei höchstwertigem Stahlband und weltweit führende Position bei Grobblech für anspruchsvollste Anwendungen.	Weltweite Führerschaft im Werkzeugstahl; führende Position bei Schnellarbeitsstahl und Spezial-Schmiedeteilen.	Europäischer Marktführer bei Schienen und veredeltem Draht, Weltmarktführer in der Weichentechnologie sowie bei kompletten Bahnsystemen; führende Position bei Schweißzusatzstoffen und Nahtlosrohren.	Weltweit führender Anbieter von hochwertigen Metallweiterverarbeitungsleistungen – insbesondere Sonder- und Spezialprofile, Präzisionsstahlband sowie Spezialkomponenten für die Automobilindustrie.

Abbildung 1 - führende Position in den vier Kernsegmenten der voestalpine<sup>7</sup>

Die Standorte der voestalpine rund um den Globus sind in Abbildung 2 grafisch aufbereitet. Man erkennt klar den Hauptschwerpunkt des Unternehmens in Europa, aber auch die starke Präsenz in vielen Industriestaaten sowie aufstrebenden Nationen der restlichen Welt.

<sup>5</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

<sup>6</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

<sup>7</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)



Abbildung 2 - voestalpine Standorte weltweit<sup>8</sup>

Aus dieser starken Präsenz rund um die Welt ergibt sich, dass fast 54 Prozent der momentan rund 46500 voestalpine-Mitarbeiter an internationalen Standorten außerhalb Österreichs beschäftigt sind. Weiters ist der Konzern mit fast 1300 Jugendlichen, von denen etwa 800 an österreichischen Standorten tätig sind, der größte industrielle Lehrlingsausbildner Österreichs.

Den Großteil des Umsatzes macht die voestalpine in der EU mit rund 72 Prozent, gefolgt von Nordamerika mit acht Prozent, etwa 20 Prozent entfallen auf den Rest der Welt. Nach Branchen gegliedert ist das Unternehmen am stärksten im Automobilssektor beteiligt, hierauf entfallen ungefähr 30 Prozent des Umsatzes. Nennenswert sind auch die Energieindustrie mit 15 Prozent, Bahnsysteme sowie, der Maschinen- und Stahlbau mit 12 und 13 Prozent respektive. Zusammen machen die beiden Bereiche Mobilität und Energie 60 Prozent des Konzernumsatzes aus.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

<sup>9</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

Eine genaue Aufschlüsselung dieser Zusammenhänge findet man in Abbildung 3.

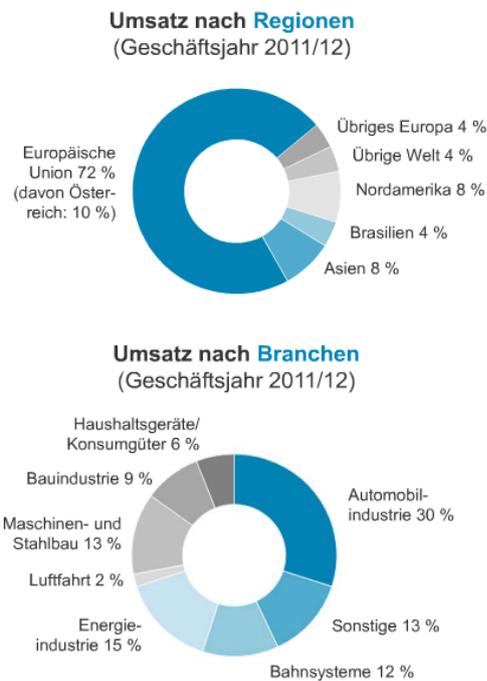


Abbildung 3 - Umsatz der voestalpine nach Regionen und Branchen<sup>10</sup>

Der voestalpine-Konzern konnte in den letzten Jahren seine Wettbewerbsvorteile weiter ausbauen und neue Marktsegmente am hart umkämpften Stahlmarkt erschließen. Ein Teil des Geheimnisses zum Erfolg liegt in erster Linie in der strategischen Ausrichtung des Unternehmens. Man hat versucht sich mit qualitativ und technologisch einzigartigen Produkten in einem höheren Preissegment als der durchschnittliche Stahlproduzent anzusiedeln, und konnte so eine Marktnische für sich schaffen, in die es anderen Unternehmen durch den großen Technologievorsprung der voestalpine schwer fällt, einzudringen.

Durch die weltweite Anlagen und Technologieverfügbarkeit sind Technologievorsprünge jedoch im heutigen Marktumfeld schwerer zu halten, denn je. Aus diesem Grund ist es als Unternehmen unerlässlich ständig zu innovieren, an neuen Technologien zu forschen, Märkte und Kundenanforderungen zu antizipieren und immer einen Schritt voraus zu sein. Demnach ist der Leitspruch der voestalpine passenderweise – „EINEN SCHRITT VORRAUS.“ Dieses Leitbild wird auch in der Unternehmenskultur gelebt.

Um den beschriebenen, entscheidenden Schritt voraus zu bleiben, laufen derzeit weltweit 150 Forschungs- und Entwicklungsprojekte in Kooperation mit Universitäten, universitären Forschungsinstituten, Kompetenzzentren und CD-Labors. Das Forschungsbudget im laufenden Geschäftsjahr 2012/13 erreicht mit 132 Millionen Euro einen neuen Rekordwert in der Unternehmensgeschichte. Das bedeutet, dass die voestalpine gemäß EU-Statistik das mit Abstand forschungsintensivste österreichische Industrieunternehmen ist. Sowie auch im Umsatz widerspiegelt, liegt der Hauptschwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen auf den Bereichen Mobilität und Energie. Es geht hier auf der einen

<sup>10</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

Seite hauptsächlich um die Entwicklung neuer, leichter und hochfester Werkstoffe für die Automobil und Konsumgüterindustrie. Dem gegenüber stehen Bemühungen höchst anspruchsvolle Anforderungen im Energiebereich zu erfüllen. Hier stehen Hochtemperaturwerkstoffe im Mittelpunkt, welche im Kraftwerks- und Flugzeugturbinenbau deutlich höhere Wirkungsgrade als bisher ermöglichen sollen. Auch bei erneuerbaren Energien sind diese Werkstoffe gefragt und erfreuen sich fortwährend steigender Nachfrage. Um diese Ziele umzusetzen, investiert die voestalpine nach eigenen Angaben ein Prozent des erwirtschafteten Umsatzes, beziehungsweise 2,6 Prozent der Wertschöpfung in Forschung und Entwicklung.<sup>11</sup>

Die historische Entwicklung der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen können aus Abbildung 4 entnommen werden. Es ist klar erkennbar, dass sich die Ausgaben in den letzten fünf bis sechs Jahren fast verdoppelt haben. Dies spiegelt auch die sich rapide verändernden Marktbedingungen und die harte Wettbewerbssituation wieder und zeigt, dass ohne erhebliche Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen kein Unternehmen mehr erfolgreich am Markt operieren kann.

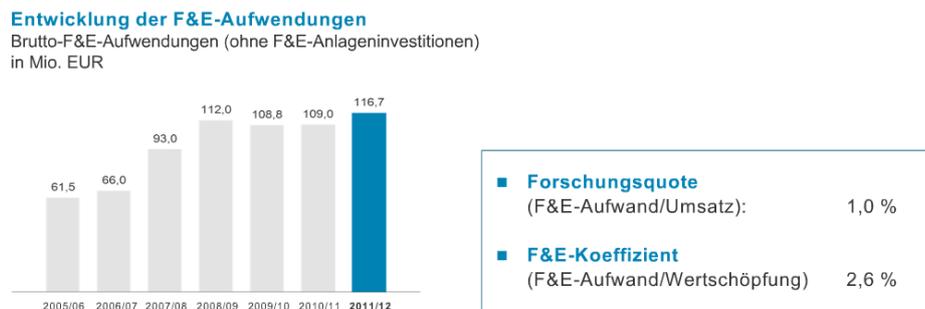


Abbildung 4 - F&E Aufwendungen des voestalpine-Konzerns<sup>12</sup>

## 1.4 Anlagen am Standort Donawitz

Der Standort Donawitz ist das weltweit modernste LD-Kompaktstahlwerk und ist mit einer Gesamtfläche von rund 140 Hektar der größte und traditionsreichste Produktionsstandort für die Erzeugung von Langprodukten.

Die Geschichte der Stahlerzeugung in der Region reicht viele Jahrhunderte bis ins Jahre 1436 zurück. Ausgehend von der Bergbautradition und der Erzförderung rund um den Erzberg in Eisenerz haben sich die ersten sogenannten Radwerke (so genannt, weil mithilfe von Wasserrädern die Wasserkraft des Vordernbergerbachs genutzt wurde) in Vordernberg angesiedelt. Ausgehend von Forschungsreisen unter der Führung von Erzherzog Johann wurde Vordernberg zu einem florierenden Standort der Stahlproduktion, sowie auch zur Universitätsstadt. Die Montanuniversität stand bevor sie nach Leoben übersiedelte in Vordernberg. Die Stahlerzeugung im Murtal begann in den Jahren 1834-1837. 1881 wurde der

<sup>11</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

<sup>12</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

Standort von der damals gegründeten „Österreichisch-Alpine Montangesellschaft“ übernommen. 1973 erfolgte eine Zusammenlegung mit der „Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke AG“ und es entstand die „VOEST ALPINE AG“. Zu Beginn der neunziger Jahre wurde der Standort Donawitz in die drei eigenständigen Gesellschaften VA Schiene, VA Stahl und VA Draht aufgeteilt.<sup>13</sup>

Abbildung 5 gibt einen Überblick über die wichtigsten Anlagen am Standort Donawitz.



Abbildung 5 - Die Anlagen der voestalpine Donawitz: 1 Sinteranlage, 2 die beiden Hochöfen mit den numerischen Bezeichnungen eins und vier, 3 Stahlwerk, 4 Schienenwalzwerk, 5 Schienenlager, 6 Drahtwalzwerk

Im folgenden Abschnitt werden die Sinteranlage, der Hochofen und das Stahlwerk aus Prozesssicht genauer beschrieben, da diese Anlagen für das Kraftwerk von besonders großer Bedeutung sind. Zum Einen liefern sie die Hüttengase zur Verstromung im Kraftwerk, und zum anderen sind sie auch die mengenmäßig größten Verbraucher am Standort. Zum Abschluss folgt noch ein kurzer Überblick über das Kraftwerk.

## Sinteranlage

In der Sinteranlage werden bereits aufbereitete und gebrochene Eisenerze, Kalksplitt und diverse Kreislaufstoffe, welche man nicht direkt dem Hochofenprozess zuführen kann, bei

<sup>13</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

Temperaturen von über 1200°C zu größeren Stücken zusammenschmolzen. Man spricht hier vom sogenannten Sintern. Die hohen Temperaturen werden unter anderem durch die Zugabe von Koks erreicht, dem sogenannten Koksgruß. Die so zusammengebackenen Erzstücke werden danach in einer Sieb- und Brechanlage auf eine im Hochofen einsetzbare Körnung gebracht. Dabei entstehen auch Abgase welche sich aber, anders als beim Hochofen, nicht zur Verstromung eignen. Sie werden nach erfolgter Reinigung an die Atmosphäre abgegeben.

Beim Sintervorgang wird das Eisenerz, welches in Form von Eisenkarbonat vorliegt, entsäuert, der beigemengte Kalkstein kalziniert und, um die hohen Temperaturen während des Sinterprozesses zu gewährleisten, Erdgas und Koksgruß verbrannt. Das hat zur Folge, dass ein Großteil des entstehenden Abgases aus CO<sub>2</sub> besteht.<sup>14</sup>

In Abbildung 6 wird dieser Prozess schematisch beschrieben:

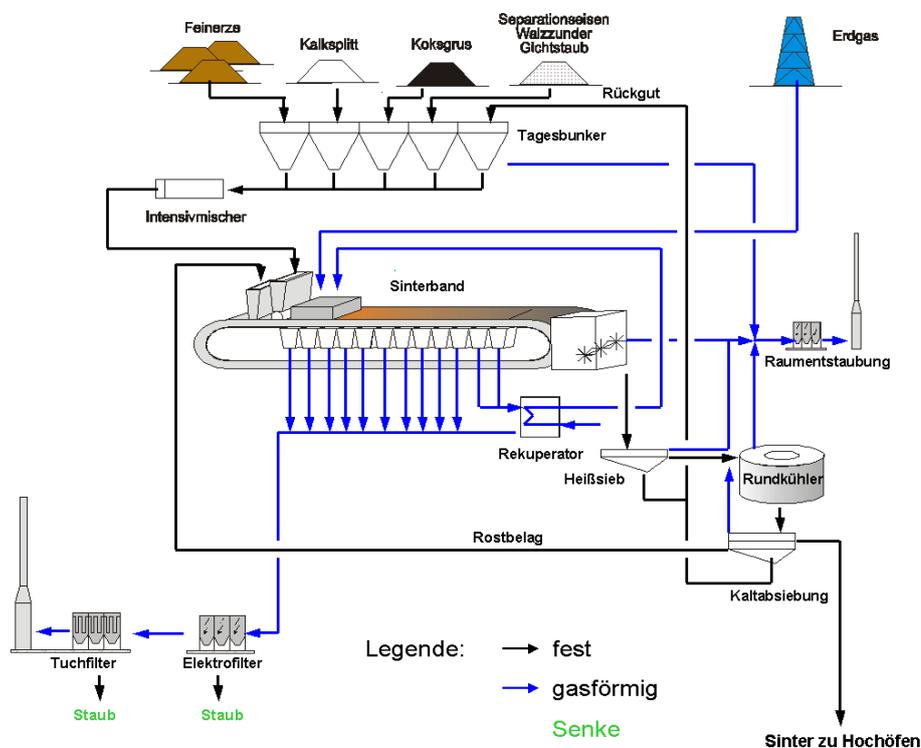


Abbildung 6 - Verfahrensfließbild für die Sinteranlage<sup>15</sup>

## Hochöfen

Der Hochofen ist ein kontinuierlich arbeitender Schachtofen, der nach dem Gegenstrom Prinzip arbeitet. Heißes Gas strömt durch die sogenannte Möller-Kokssäule nach oben und gleichzeitig wandern die Einsatzstoffe kontinuierlich nach unten. Auf ihrem Weg werden sie reduziert und aufgeschmolzen. Das im Hochofen eingesetzte Material wird Möller genannt und ist meist ein Gemisch aus Erzen, Sinter, Pellets und diversen Zuschlagstoffen.

<sup>14</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

<sup>15</sup> interne Prozessdokumentation der voestalpine (2012)

Zu den Hochofeneinsatzstoffen zählen wie eben erwähnt Möller, Koks, der über die Windformen eingeblasene Heißwind und verschiedene Reduktionsmittel, wie beispielsweise Schweröl, die bei Bedarf eingedüst werden können. Zusätzlich zum Koks kann auch günstigerer Kohlestaub, ähnlich wie das seit einigen Jahren eingesetzte Schweröl, über die Windformen eingeblasen werden. Der Kohlestaub ersetzt bei dieser Anwendung zum Teil den Koks.

Grundsätzlich ist die Erzeugung von Roheisen dadurch charakterisiert, dass die eingesetzten Erze, welche chemisch gesehen Eisenoxide sind, zu Eisen im schmelzflüssigen Zustand reduziert werden. Das Eisen wird mit Kohlenstoff zu flüssigem Roheisen aufgekohlt und alle anderen enthaltenen Stoffe, auch Gangart genannt, zu Schlacke geschmolzen. Der Koks erfüllt im Hochofenprozess zahlreiche Aufgaben.<sup>16</sup> Sein Einsatz erfüllt die folgenden Aufgaben:<sup>17</sup>

- Bildung und Aufrechterhaltung der Prozesswärme Reduktionsgasbildung
- Aufkohlung des Roheisens
- Stützfunktion der Möllersäule
- Sicherstellung der Durchgasung

Des Weiteren fällt bei der Reduktion der Erze Gichtgas an. Das Gas wird zuerst gereinigt und dann zum Teil in den Cowpern, auch Winderhitzer genannt, eingesetzt. Der Rest wird entweder im Kraftwerk verstromt oder im Falle eines Kraftwerkstillstandes durch Revision oder Ähnlichem abgefackelt.

Der eingesetzte Kohlenstoff kommt in erster Linie über das Gichtgas aus dem Hochofen. Der Rest findet sich im Roheisen selbst und der Schlacke wieder.<sup>18</sup>

---

<sup>16</sup> Vgl. Schmid S. (2011), S. 182

<sup>17</sup> Vgl. Schmid S. (2011), S. 182

<sup>18</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

In Abbildung 7 wird dieser Prozess schematisch beschrieben:

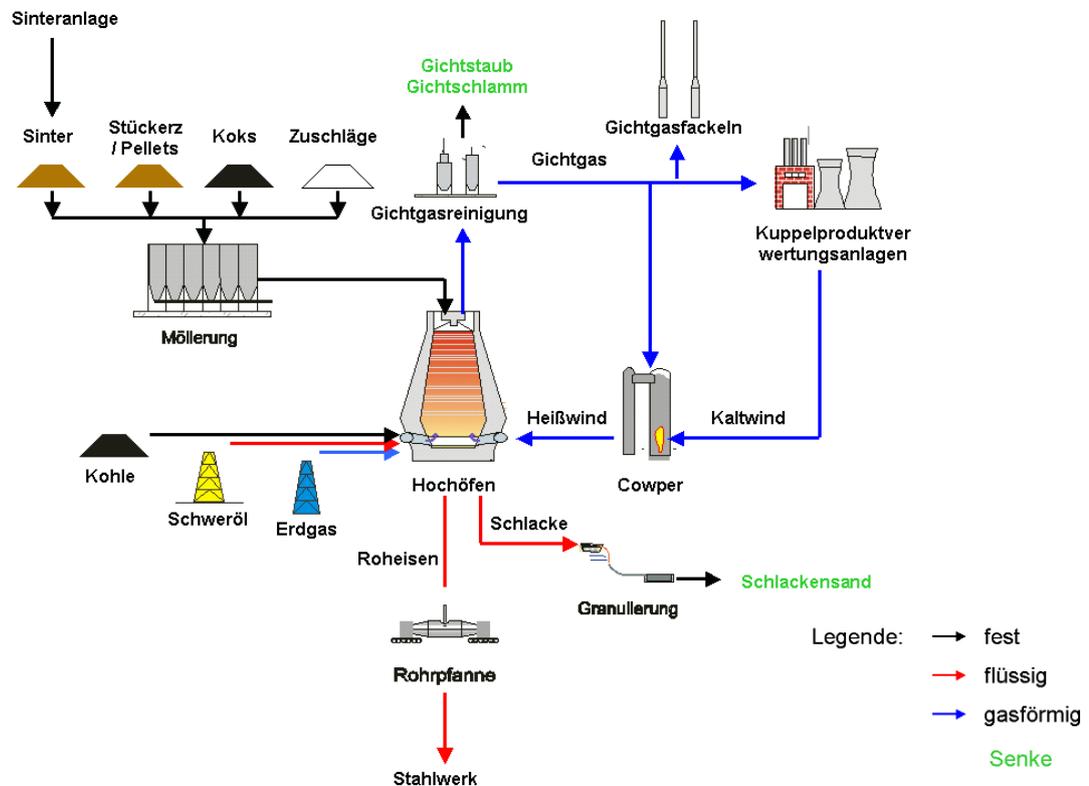


Abbildung 7 – Verfahrensfliessbild des Hochofens<sup>19</sup>

## Stahlwerk

Im Stahlwerk kommt das von der voestalpine entwickelte LD Verfahren, kurz für Linz Donawitz Verfahren, zum Einsatz. Es dient in erster Linie dazu, unerwünschte Begleitelemente aus den Einsatzstoffen so weit wie möglich zu entfernen. Die Haupteinsatzstoffe im Stahlwerk sind das im Hochofen erzeugte Roheisen und Schrott. Die Hauptbegleiter des Eisens sind abhängig vom im Hochofen erzeugten Roheisen.<sup>20</sup> Diese Elemente kann man unterteilen in solche die man herausfrischen kann, und jenen die vorerst im Stahl verbleiben. Zu den herausfrischbaren Elementen gehören:<sup>21</sup>

- Kohlenstoff
- Mangan
- Chrom
- Phosphor
- Titan

<sup>19</sup> interne Prozessdokumentation der voestalpine (2012)

<sup>20</sup> Gespräch Braun M. (2012)

<sup>21</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

Folgende Elemente verbleiben vorerst im Stahl:

- Kupfer
- Nickel
- Zinn
- Kobalt

Nach diesen Prozessschritten erfolgt noch ein Entschwefelungsvorgang. Der eben angesprochene Prozessschritt des Frischens erfolgt unter Verwendung von reinem Sauerstoff als Frischmittel. Zusätzlich benötigt man noch Branntkalk als Zuschlagstoff. Beim Frischen wird Kohlenstoff frei und dieser verlässt den Tiegel in Form von Abgas. Dieses Abgas ist ein sehr wichtiges und wertvolles Kuppelprodukt der Stahlerzeugung, es ist das bei der Produktion entstehende Tiegelgas.

Es wird zuerst einigen Reinigungsschritten unterzogen und dann im Kraftwerk zur Verstromung eingesetzt. Bei Kraftwerksrevisionen oder Ähnlichem kann das Gas unter Umständen nicht vollständig verwertet werden und wird abgefackelt.<sup>22</sup>

Der flüssige Stahl muss in der richtigen Zusammensetzung, in der richtigen Temperatur und zum richtigen Zeitpunkt an die Stranggussanlage zur Weiterverarbeitung gelangen. Aus diesem Grund erfolgt nach den oben erwähnten Schritten noch eine sekundärmetallurgische Nachbehandlung. Am Standort Donawitz wird zu 100% Stranggussmaterial unterschiedlicher Formate hergestellt. Die erzeugten Qualitätsstähle haben Kohlenstoffgehalte zwischen 0,02 und 1,1 Prozent. Insgesamt liegt der Gesamtlegierungsanteil bei etwa fünf Prozent. Es besteht die Möglichkeit, diese Gehalte an Legierungselementen innerhalb der Grenzen der technologischen Machbarkeit, in Abhängigkeit vom gewünschten Produkt, beliebig einzustellen.<sup>23</sup>

Die aktuell erreichbaren Werte kann man aus Tabelle 1 entnehmen:

Tabelle 1 - Einstellbare Gehalte an Legierungselementen<sup>24</sup>

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
% Min	0,02	0,02	0,25	0,01	0,008	0,05	0,04	0,03	0,01
% Max	1,2	2,2	2,1	0,1	0,4	2,5	4,0	0,6	0,35
Element	Sn	B	W	As	Nb	Zr	Al	Ti	Mo
% Min	-	0,0001	0,0001	-	-	-	0,002	0,01	0,01
% Max	0,01	0,006	0,6	0,005	0,02	0,005	0,07	0,12	1,1

<sup>22</sup> Gespräch Braun M. (2012)

<sup>23</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

<sup>24</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

In Abbildung 8 wird der eben beschriebene Prozess schematisch aufbereitet:

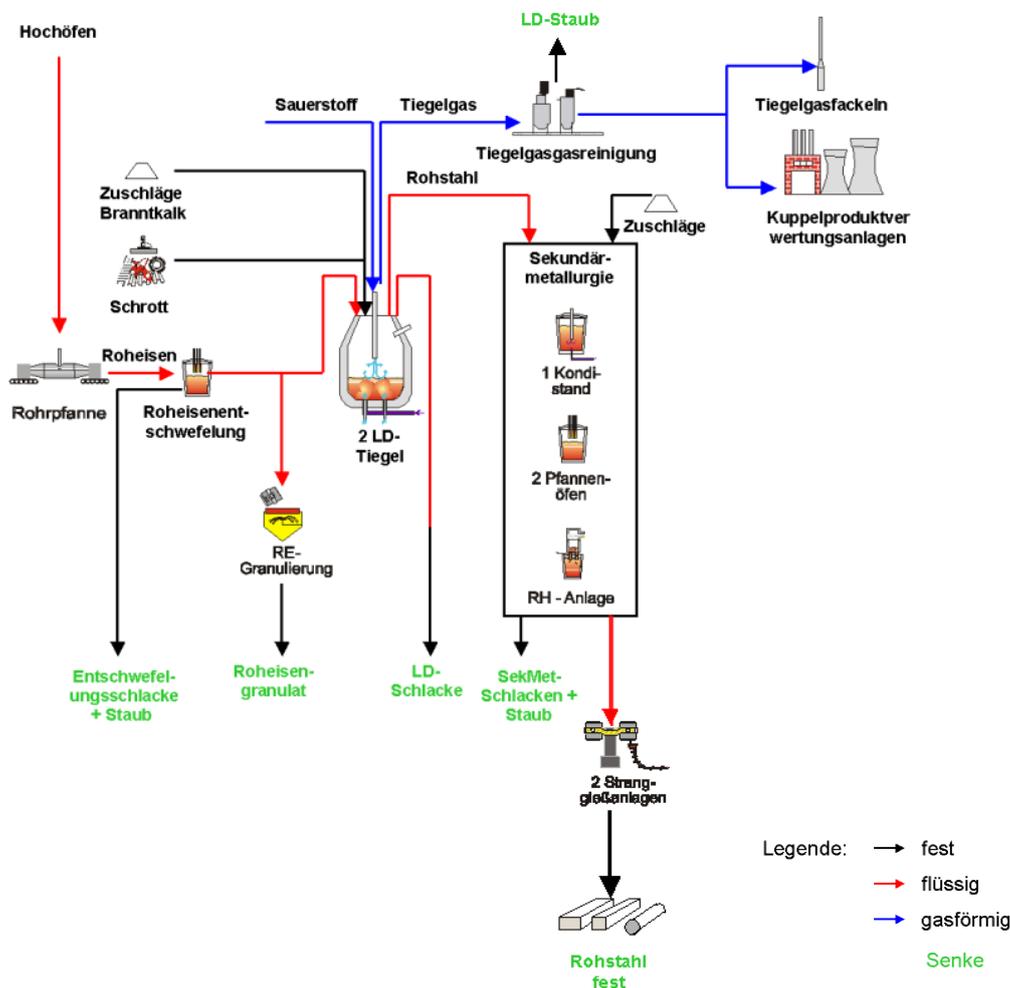


Abbildung 8 – Verfahrensfließbild des Stahlwerks<sup>25</sup>

Im Werk Donawitz werden pro Jahr ungefähr 1,5 Millionen Tonnen hochqualitativer Rohstahl hergestellt und zu Knüppeln oder Vorblöcken weiterverarbeitet. Ein breites Spektrum an verschiedenen Stahlsorten wird auf der klassischen Erzeugungslinie Sinteranlage – Hochofen – Roheisenentschwefelung – LD-Prozess – Sekundärmetallurgie – Stranggießanlagen – Knüppelwalzwerk hergestellt.<sup>26</sup>

Die Stahlsorten sind zu maximal fünf Prozent legiert und durch den Einsatz von modernen Vakuumanlagen werden niedrige Wasserstoff und Gesamtsauerstoffwerte erreicht.

Zu den am Standort Donawitz hergestellten Stahlprodukten zählen:<sup>27</sup>

<sup>25</sup> interne Prozessdokumentation der voestalpine (2012)

<sup>26</sup> Vgl. voestalpine, internes Dokument (2012)

<sup>27</sup> Vgl. voestalpine Konzernpräsentation (2012)

- Automatenstähle mit Schwefel
- Bau- und Feinkornstähle
- Betonstähle
- Einsatzstähle
- Federstähle
- Kaltarbeitsstähle
- Kaltstauch- und Kaltfließpressstähle
- Reifencordstähle
- Schienenstähle
- Spannbetonstähle
- Stähle für Nahtlosrohre
- Vergütetstähle
- Warmfeste Stähle
- Weiche Stähle zum Ziehen
- Wälzlagerstähle

### **Kraftwerk**

Zur Herstellung dieser und anderer Produkte, werden große Energiemengen in verschiedenen Formen und aus verschiedenen Energieträgern benötigt. Der Energiebedarf am Standort Donawitz ist maßgeblich durch die Produktion von zwei Hochöfen, einem Stahlwerk, dem Schienen- und dem Drahtwalzwerk geprägt. Die wichtigsten der eingesetzten Energieformen sind Strom, Erdgas, Kaltwind, Prozessdampf und Fernwärme. Des Weiteren werden energieintensive Ressourcen wie Speisewasser, Kühlwasser, Sauerstoff, Stickstoff, Argon und Druckluft benötigt. In den diversen Prozessen am Standort fallen Gichtgas, Tiegelgas, Satttdampf und Abwärme als Kuppelprodukte an. Das Werk Donawitz verfügt über ein eigenes Kraftwerk für die Erzeugung und möglichen Eigenbedarfsdeckung von Strom, Kaltwind, Prozessdampf, Fernwärme und Speisewasser. Hier werden in erster Linie die bei den Hochöfen und im Stahlwerk anfallenden Hüttengase verstromt, bei zu geringem Heizwert des Mischgases oder hohen Strompreisen besteht jedoch zusätzlich noch die Möglichkeit Erdgas in den Kraftwerksblöcken zu setzen. Die in den Produktionsprozessen benötigten Gase Sauerstoff, Stickstoff, Argon und Druckluft werden vor Ort von der Firma Air Liquide erzeugt. Der nicht durch die Eigenzeugung abgedeckte Energiebedarf (Strom und Erdgas) wird am freien Markt beschafft. Die Verteilung sämtlicher Energien am 120 ha großen Standort erfolgt mittels eigener Leitungsnetze.<sup>28 29</sup>

Organisatorisch ist das Kraftwerk in die Abteilung Energie und Medien eingegliedert, welche wiederum dem Stahlwerk zugeordnet ist. Neben Kraftwerk ist die Abteilung zum Bei-

---

<sup>28</sup> Gespräch Kiedl A. (2012)

<sup>29</sup> voestalpine, internes Dokument (2012)

spiel auch für die Stromverteilung, das Energiemanagement und die E-Gebläse der Win- derzeuger für den Hochofen verantwortlich. Auch die Energieverrechnung für den gesam- ten Standort und die Erstellung von möglichst genauen Stromverbrauchsprognosen, wel- che Gegenstand dieser Arbeit sind, obliegen der Abteilung Energie und Medien.

Das wichtigste Informationsinstrument der Abteilung ist das System PGIM der Firma ABB. PGIM steht für Power Generation Information Manager und wird am Standort Do- navitz in erster Linie zur Überwachung und Steuerung eingesetzt. Es ermöglicht das be- queme Auslesen von Zählern aller Art und erstellt automatisch Lastprofile in fünfzehn Minuten Auflösung für frei wählbare Zeiträume.

Abbildung 9 zeigt den PGIM Signal Explorer. Hier sind alle im PGIM registrierten Zähler gelistet.

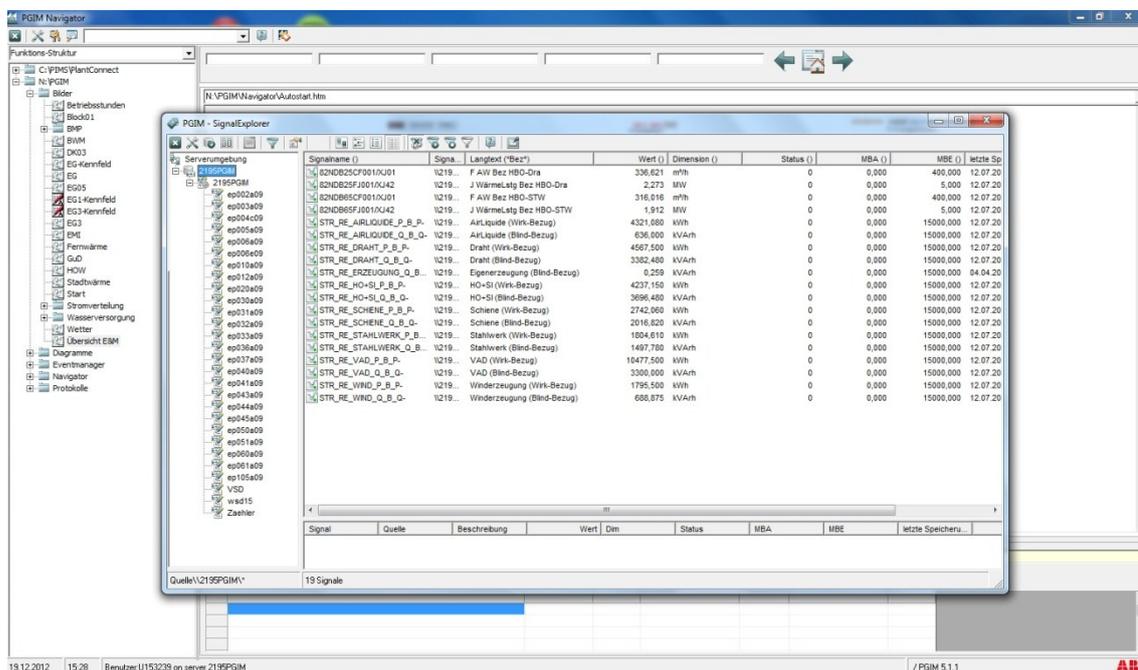


Abbildung 9 - Zähler im PGIM Signal Explorer

Abbildung 10 zeigt einen Zähler und seine grafische Aufbereitung, wie sie für jeden Zähler im PGIM verfügbar ist.

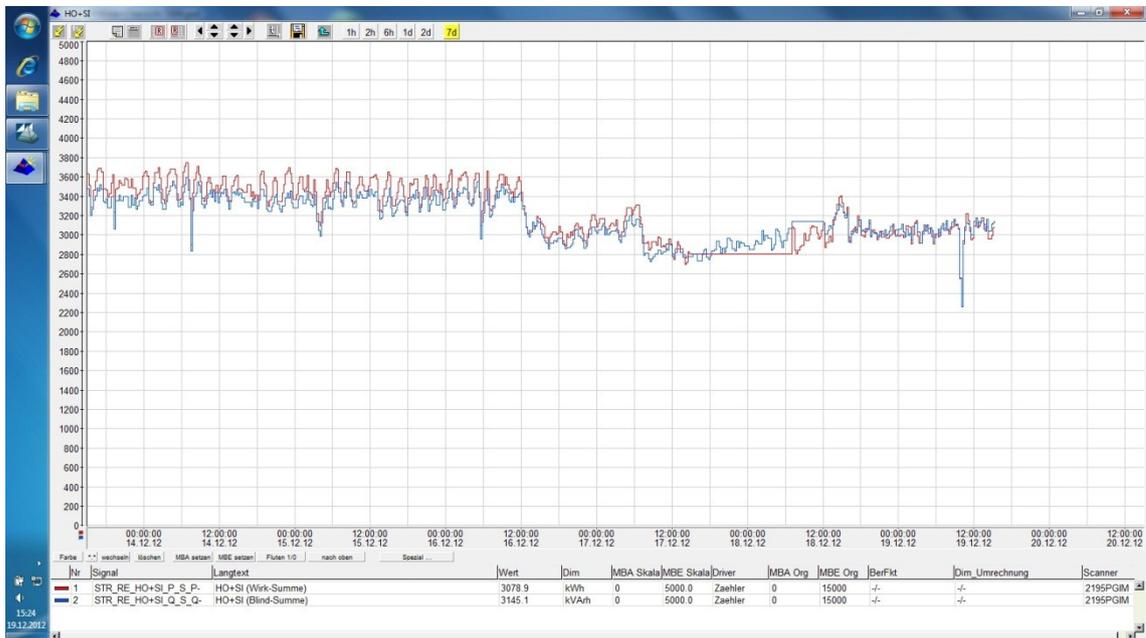


Abbildung 10 - Grafische Aufbereitung eines Zählers über die letzten 7 Tage im PGIM

Des Weiteren können diese Daten auch in Programme wie Microsoft Excel zur weiteren Auswertung exportiert werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit basieren größtenteils auf Daten aus diesem System.

Abbildung 11 zeigt eine Übersicht über den Bereich Energie und Medien wie sie im PGIM abgebildet wird.

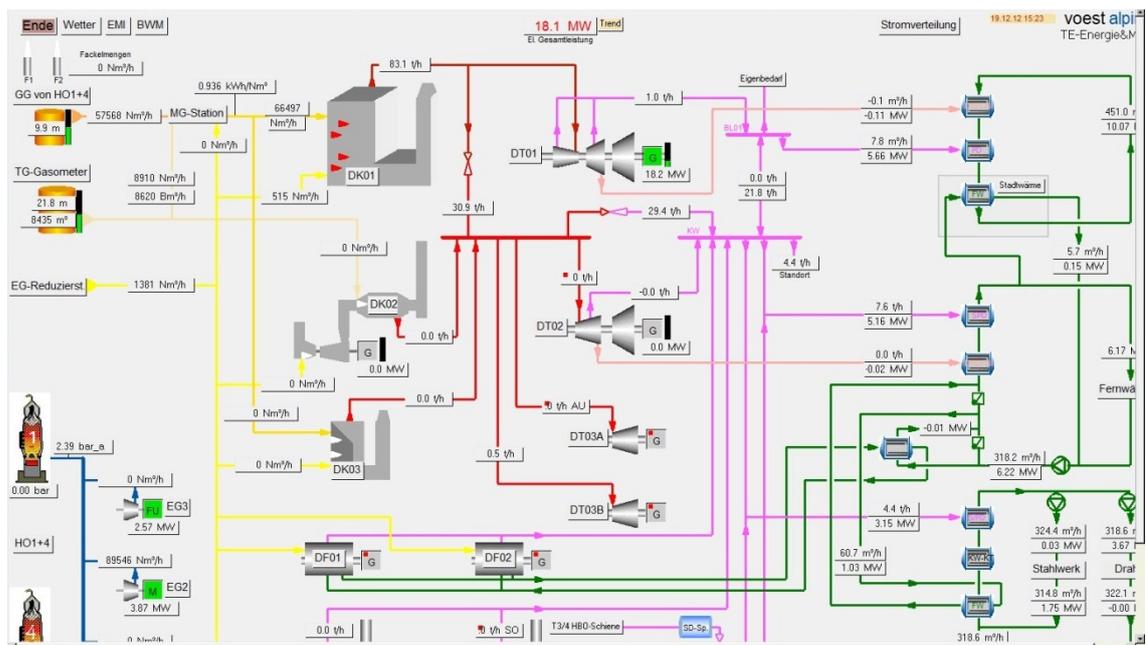


Abbildung 11 - Übersicht des Verantwortungsbereichs der Abteilung Energie und Medien

Das in Abbildung 11 gezeigte Modell bildet die 3 Kraftwerksblöcke ab. Die 3 Dampfkessel sind mit DK01 bis -03 gekennzeichnet, und es gibt 4 Dampfturbinen die den Präfix „DT“ tragen.

## 2 Der österreichische Strommarkt mit besonderem Augenmerk auf Methoden und Strategien zur Fahrplanerstellung

Dieses Kapitel wird an die Besonderheiten des liberalisierten, österreichischen Strommarktes heranführen und diese erläutern. Es werden die wesentlichen Marktteilnehmer aufgelistet und beschrieben, sowie die grundlegenden Marktprozesse erklärt. Ziel dieses Abschnittes ist es, die Informationsbasis für die Überlegungen zu schaffen, welche in den weiterführenden Analysen in dieser Arbeit angestellt werden.

### 2.1 Grundlagen des liberalisierten Strommarktes

Der österreichische Strommarkt unterlag im Jahr 2001 großen Veränderungen. Durch die vollständige Öffnung kam es zu großen technischen und organisatorischen Veränderungen für alle Marktteilnehmer. Im Energieliberalisierungsgesetz EIWOG wurde am 1. Oktober 2001 für alle Teilnehmer die vollständige Marktöffnung festgelegt.<sup>30</sup>

Daraus entstand ein grundlegend neuer Markt der vielfach als der ‚liberalisierte Strommarkt‘ bezeichnet wird. Diesem liegt ein Marktmodell zugrunde, welches auf 6 wesentlichen Prinzipien beruht:<sup>31</sup>

1. Der Netzbetrieb, d.h. die Übertragung und Verteilung des Stroms, wurde von den übrigen Marktcomponenten getrennt, auch „Unbundling“ genannt, und sind somit nicht Teil desselben Wettbewerbs.<sup>32</sup>
2. Die Betreiber der Verteilnetze sind für den sicheren Betrieb des Netzes, die Erfassung der Messdaten, sowie für die Verwaltung der Daten der Netzbenutzer verantwortlich.
3. Die Betreiber der Übertragungsnetze sind für den sicheren Betrieb des Netzes verantwortlich. Zusätzlich dazu haben sie die Rolle des Regelzonenführers inne und haben somit die Aufgabe zu jedem Zeitpunkt die Ausgeglichenheit von Erzeugung und Bedarf sicherzustellen.
4. Die Marktteilnehmer im liberalisierten Strommarkt lauten wie folgt: Endkunden, Erzeuger, Lieferanten und Händler.<sup>33</sup>

Um allen Parteien die Möglichkeit einzuräumen beliebige Geschäfte untereinander abwickeln zu können, bedarf es einer besonderen Regelung. Diese wird in Form eines Bilanzgruppensystems bereitgestellt. Um einen einwandfreien Ablauf von Ge-

---

<sup>30</sup> Vgl. Treter H., Pauritsch G. (2010), S. 27

<sup>31</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 3 ff.

<sup>32</sup> Vgl. Pfannhauser S. (2012), S. 48

<sup>33</sup> Vgl. Nestle D. (2008), S. 57

schäften zu gewährleisten, muss jeder Marktteilnehmer der Strom aus dem Netz bezieht oder ins Netz einspeist, Mitglied einer Bilanzgruppe sein.

5. Jeder Netzbenutzer, d.h. sowohl Verbraucher als auch Erzeuger, müssen mit dem jeweiligen Netzbetreiber über die Nutzung der Netze einen Vertrag abschließen. Des Weiteren muss ein Vertrag mit einem Händler oder Lieferanten nach Wahl abgeschlossen werden.
6. Die Abrechnung der in das Netz eingespeisten bzw. aus dem Netz entnommenen Strommengen erfolgt generell in 15-Minutenwerten. Weiters müssen sie auch in 15-Minutenabständen prognostiziert werden. Erzeuger und Verbraucher, welche weniger als 50 kW Anschlussleistung oder weniger als 100.000kWh Erzeugung bzw. Produktion pro Jahr haben, werden in der Regel nur einmal im Jahr gemessen. Um die 15-Minutenwerte für die Netzbenutzer mit geringer Anschlussleistung/Produktion/Verbrauch abzubilden, werden sogenannte Standardlastprofile erstellt und diesen Netzbenutzern zugeordnet (z.B. Haushalt, Gewerbe, Landwirtschaft, ...). Der Verbrauch bzw. die Erzeugung aller anderen Netzbenutzer wird auf Basis von 1/4-Stundenwerten erfasst.

### 2.1.1 Stromlieferung und Vertragsbeziehungen

Die Stromlieferung nach dem liberalisierten, österreichischen Strommarktmodell erfordert 3 Verträge und diese lauten wie folgt:<sup>34</sup>

- Liefervertrag
  - Zwischen Unternehmen und Stromlieferant
  - Regelt die Versorgungsbedingungen und Entgelte für die Stromlieferung
- Netzanschlussvertrag
  - Zwischen Unternehmen und Netzbetreiber
  - Regelt die technischen Anschlussbedingungen
- Anschlussnutzungsvertrag
  - Zwischen Unternehmen und Netzbetreiber
  - Regelt die Entgelte für die Netznutzung

---

<sup>34</sup> Vgl. Saller G. (2010), S. 13

Schematisch kann man diese Vertragsbeziehungen wie folgt darstellen:

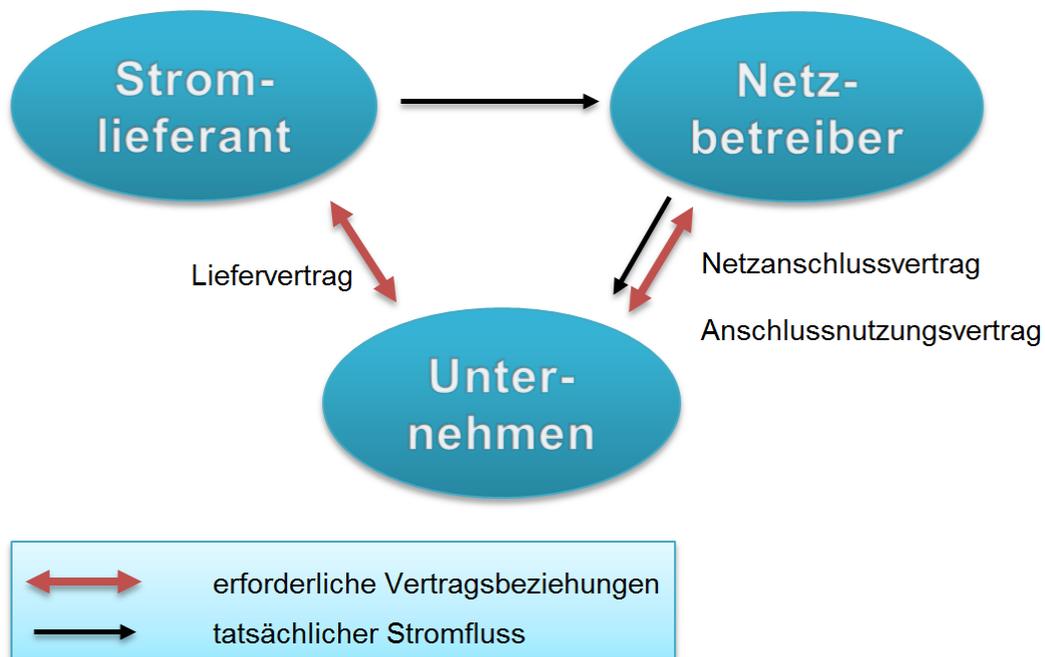


Abbildung 12 - Schematische Darstellung der Vertragsbeziehungen und Stromflüsse im österreichischen Strommarktmodell <sup>35</sup>

### 2.1.2 EU-Forderung nach einer Regulierungsbehörde und deren Aufgaben laut österreichischem Bundesgesetz

Alle EU-Mitgliedsstaaten sind verpflichtet eine Regulierungsbehörde einzurichten, welche unabhängig von den Interessen der Elektrizitätswirtschaft ist. Diese Behörde ist verantwortlich für die Wettbewerbsüberwachung und die Netzregulierung.<sup>36</sup>

Weiters fallen Regulierungsfunktionen, Überwachung der Einfuhr von elektrischer Energie aus Nichtmitgliedsstaaten der Europäischen Union, Überwachung der EIWOG-Ziele und Ausarbeitung von Marktregeln in den Aufgabenbereich der Regulierungsbehörde.<sup>37</sup>

Laut österreichischem Bundesgesetz sind in Österreich dafür verantwortlich:

„§ 4. Regulierungsbehörden sind die Energie-Control GmbH und die Energie-Control Kommission.“<sup>38</sup>

<sup>35</sup> Vgl. Saller G. (2010), S. 12

<sup>36</sup> Vgl. Österreichs Energie (2012)

<sup>37</sup> Vgl. Pfannhauser S. (2012), S. 45 ff

<sup>38</sup> Bundeskanzleramt Österreich, Bundesgesetz (2009)

Des Weiteren sind im österreichischen Bundesgesetz auch deren Aufgaben gelistet und lauten wie folgt:

„§ 7. (1) Die Energie-Control GmbH hat sämtliche Aufgaben, die

1. im Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz und in den auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Verordnungen;
2. im Bundesgesetz, mit dem die Ausübungsvoraussetzungen, die Aufgaben und die Befugnisse der Verrechnungsstellen für Transaktionen und Preisbildung für die Ausgleichsenergie geregelt werden, und den auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Verordnungen,
3. im Gaswirtschaftsgesetz und in den auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Verordnungen;
4. in diesem Bundesgesetz und der auf Grund dieses Bundesgesetzes erlassenen Verordnungen sowie
5. im Ökostromgesetz

der Regulierungsbehörde übertragen sind, wahrzunehmen, sofern hierfür nicht die Energie-Control Kommission (§ 16) zuständig ist. Die Energie-Control GmbH hat alle organisatorischen Vorkehrungen zu treffen, um ihre Aufgaben erfüllen zu können und der Energie-Control Kommission die Erfüllung deren Aufgaben zu ermöglichen.

(2) Zu den Geschäften, die der Energie-Control GmbH zur Besorgung zugewiesen sind, zählt auch die Erstellung von Gutachten und Stellungnahmen über die Markt- und Wettbewerbsverhältnisse im Elektrizitäts- und Erdgasbereich sowie die Wahrnehmung der den Regulatoren durch das Kartellgesetz eingeräumten Antrags- und Stellungnahmerechte für diesen Bereich. Darüber hinaus obliegt der Energie-Control GmbH die Wahrnehmung von Angelegenheiten im Zusammenhang mit der Behandlung von Stromerzeugung in Anlagen aus erneuerbaren Energieträgern und Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen. Im Rahmen der, der Energie-Control GmbH zugewiesenen Sachgebiete können auch Angehörige ihres Personalstandes als unabhängige Sachverständige in Gerichts- und Verwaltungsverfahren beigezogen werden.

(3) Die Energie-Control GmbH wirkt an der Zusammenarbeit zum Zweck der Weiterentwicklung des Europäischen Energiebinnenmarktes mit.

(4) Eine Zuständigkeit der Energie-Control GmbH besteht nicht bei Verträgen gemäß § 70 Abs. 2 EIWOG.“<sup>39</sup>

### **2.1.3 Auflistung der wesentlichen Marktteilnehmer und deren Aufgaben**

Die Liberalisierung der Strommärkte hatte eine grundlegende Veränderung der Organisations- und Wettbewerbsstruktur zur Folge. Aus diesem Grund wurden neue Marktteilnehmer und Rollen geschaffen, sowie die Rechte und Pflichten von bestehenden Marktteilnehmern verändert. Durch die neue, komplexere Situation ist es von besonders großer Bedeutung, dass alle Rollen und Aufgaben der beteiligten Marktteilnehmer genau definiert

---

<sup>39</sup> Bundeskanzleramt Österreich, Bundesgesetz (2009)

sind und somit ein reibungsloses Funktionieren des Marktes, sowie die Sicherheit der Stromversorgung zu jedem Zeitpunkt gewährleistet werden kann.

In diesem Abschnitt werden die wichtigsten Marktteilnehmer nun kurz beschrieben. Zunächst werden die sechs Kategorien aufgezählt, die bereits vor der Liberalisierung relevant waren und darauf folgen die neuen Marktteilnehmer:

### **Einspeiser**

Erzeuger oder Elektrizitätsunternehmen, welches elektrische Energie ins Netz einspeist.<sup>40</sup>

### **Regelzonenführer (RZF)**

Ist für die Leistungs-Frequenz-Regelung innerhalb einer Regelzone verantwortlich. Diese Funktion kann auch von einem dritten Unternehmen, welches seinen Sitz in einem anderen Mitgliedsstaat der Europäischen Union hat, erfüllt werden. In der Regel übernimmt diese Aufgabe der jeweilige Übertragungsnetzbetreiber (z.B. Austrian Power Grid – APG).

Seit 1. Jänner 2012 gibt es in Österreich nicht mehr drei, sondern nur noch eine einzige Regelzone. Die Grundlage dafür wurde 2010 im EIWOG gelegt. 2011 fand die erste Zusammenlegung statt und 2012 übernahm die APG die Regelzonenführung für ganz Österreich.<sup>41</sup>

### **Netzbetreiber (NB)**

Betreiber von Übertragungs- oder Verteilernetzen die eine Nennfrequenz von 50Hz aufweisen. Wichtige Aufgaben des Netzbetreibers sind die ordnungsgemäße Zählung, die vertrauliche Verwaltung von Kundendaten und die diskriminierungsfreie Übermittlung der Informationen. Weiters muss der Netzbetreiber sicherstellen, dass immer nur diejenigen Marktteilnehmer die jeweiligen Informationen erhalten, die ihnen auch zustehen und zu deren Besitz sie berechtigt sind.<sup>42</sup>

### **Stromhändler**

Ist eine natürliche oder juristische Person oder Gesellschaft, welche Elektrizität mit Gewinnabsicht verkauft. Ein Beispiel hierfür wäre die Firma Austrian Power Trading, kurz APT.<sup>43</sup>

---

<sup>40</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 4

<sup>41</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 1

<sup>42</sup> Vgl. Panos K. (2009), S. 42

<sup>43</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 4

## **Lieferant**

Ist eine natürliche oder juristische Person oder Gesellschaft, welche Elektrizität anderen natürlichen oder juristischen Personen zur Verfügung stellt. In Österreich zum Beispiel EVN Energievertrieb und Wienenergie Vertrieb GmbH & Co.KG.<sup>44</sup>

## **Endverbraucher**

Endverbraucher sind Kunden, welche Elektrizität für den Eigenverbrauch kaufen. Sie werden aufgrund ihres Verbrauchsverhaltens in verschiedene Kategorien eingeteilt. Jeder Kunde benötigt einen Netzzugangs- und einen Netznutzungsvertrag um den Netzzugang zu ermöglichen.<sup>45</sup>

Die folgenden drei Marktteilnehmer kamen nach der Marktliberalisierung dazu:

## **Bilanzgruppenkoordinator (BKO)**

Ein Bilanzgruppenkoordinator betreibt eine Verrechnungsstelle innerhalb einer Regelzone in behördlichem Auftrag. Diese Stelle ist für die Organisation und die Abrechnung der Ausgleichsenergieversorgung innerhalb dieser Regelzone verantwortlich. Der Begriff wird oft synonym mit Verrechnungsstelle verwendet.<sup>46</sup>

## **Bilanzgruppenverantwortlicher (BGV)**

Ein Bilanzgruppenverantwortlicher ist eine Stelle, welche innerhalb einer Bilanzgruppe für andere Marktteilnehmer sowie den Bilanzgruppenkoordinator verantwortlich ist. Diese hat die Aufgabe die Bilanzgruppe zu vertreten.<sup>47</sup>

Das Gesetz sieht hier folgende Definition vor:

„§ 2. Wer eine Verrechnungsstelle für Transaktionen und Preisbildung für die Ausgleichsenergie betreibt, ist ein Bilanzgruppenkoordinator. Insoweit ein Bilanzgruppenkoordinator nach diesem Bundesgesetz als beliehenes Unternehmen handelt, hat es die ihm übertragenen Aufgaben unter Bedachtnahme auf das volkswirtschaftliche Interesse an einem funktionsfähigen Clearing und Settlement (§ 3 Abs. 1) zu besorgen.“<sup>48</sup>

---

<sup>44</sup> Vgl. Pfannhauser S. (2005), S. 38

<sup>45</sup> Vgl. Pfannhauser S. (2005), S. 39

<sup>46</sup> Vgl. Poier K. et al (2011), S. 487

<sup>47</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 5

<sup>48</sup> Bundeskanzleramt Österreich, Bundesgesetz (2013)

### **Bilanzgruppenmitglied**

Bilanzgruppenmitglieder sind entweder Lieferanten oder Kunden und werden in einer Bilanzgruppe zusammengefasst um den Ausgleich von Erzeugung und Bezug von elektrischer Energie sicherzustellen.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 5

## 2.2 Rahmenbedingungen des österreichischen Strommarktmodells

Im folgenden Abschnitt werden die grundlegenden Marktprozesse und Rahmenbedingungen genauer beschrieben. Um den Inhalt der Arbeit auf die Aufgabenstellung zu konzentrieren wird auf Punkte, welche keinen direkten Einfluss auf die Aufgabenstellung selbst haben, wie Bilanzgruppenwechsel und die Möglichkeit von Energieimporten aus benachbarten EU Ländern, nicht genauer eingegangen.

### 2.2.1 Übersicht über die Verantwortlichkeiten in den grundlegenden Marktprozessen

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die am österreichischen Strommarkt ablaufenden Marktprozesse und wer in diesen beteiligt, beziehungsweise verantwortlich ist.

Tabelle 2 - Übersicht über Marktteilnehmer in diversen Marktprozessen am österreichischen Strommarkt <sup>50</sup>

Marktprozess	Verantwortliche/Beteiligte
Forecasts – Marktteilnehmer müssen Fahrpläne erstellen	Stromhändler, Kraftwerke, Lieferanten
Handel von Strom in Regelzonen oder über diese hinweg	Stromhändler, Kraftwerke, Lieferanten, Regelzonenführer
Handel von Primär-, Sekundär- und Tertiärregelenergie durch qualifizierte Kraftwerke	Zugelassene Kraftwerke
Versand der als verbindlich geltenden Fahrpläne als Berechnungsgrundlage für die Ausgleichsenergieclearings	Versand durch: Bilanzgruppenverantwortlichen Versand an: Bilanzgruppenkoordinator, Regelzonenführer
Intradayänderungen	Bekanntgabe durch: Bilanzgruppenverantwortlichen Bekanntgabe an: Bilanzgruppenkoordinator, Regelzonenführer
Gewährleistung der sicheren Stromversorgung	Kraftwerke und Regelzonenführer
Messung der Erzeugung und Bezüge aus dem Netz	Netzbetreiber

<sup>50</sup> In Anlehnung an E-CONTROL (2011), S. 8 ff.

Übermittlung der Messdaten	Übermittlung durch: Netzbetreiber Übermittlung an: Bilanzgruppenkoordinator, Bilanzgruppenverantwortlichen, andere Netzbetreiber, Regelzonenführer und Kraftwerke
Bilanzgruppenexterne Verrechnung der angefallenen Ausgleichenergiemengen	Verrechnung durch: Bilanzgruppenkoordinator Verrechnung an: Bilanzgruppenverantwortlichen
Bilanzgruppeninterne Verrechnung der angefallenen Ausgleichenergiemengen	Verrechnung durch: Bilanzgruppenverantwortlichen Verrechnung an: Bilanzgruppenmitglieder
Zweites Clearing	Bilanzgruppenverantwortlichen, Bilanzgruppenkoordinator

## 2.2.2 Das Bilanzgruppenmodell

Im alten Monopolsystem konnten Stromkunden in Österreich nur von Anbietern versorgt werden, mit denen sie physisch durch das bestehende Netz verbunden waren. Im neuen liberalisierten System kann Strom nun von jedem beliebigen Anbieter bezogen werden. Um diese freie Lieferantenwahl und die Verrechnungsfähigkeit unter den neuen und komplexeren Bedingungen gewährleisten zu können, wurde hierzulande das sogenannte Bilanzgruppenmodell eingeführt.

Die Bilanzgruppen dienen im Allgemeinen zwei Hauptzielen. Zum Einen bilden sie kommerzielle Stromhandelsaktivitäten ab. Dies ist besonders wichtig, da diese Aktivitäten nach dem neuen Modell nicht mehr gezwungenermaßen an den physischen Aufbau von Leitungsnetzen gebunden sind. Die andere Hauptaufgabe ist es, die entstehenden Ausgleichenergiemengen verursachungsgerecht den Marktteilnehmern zuzuordnen. Aus diesem Grund ist es die Pflicht aller in Kapitel 2.1.3 beschriebenen Marktteilnehmer sich einer kommerziellen Bilanzgruppe anzuschließen.<sup>51</sup>

Die Ermittlung von Abweichungen und die Weiterverrechnung der Kosten werden vom Bilanzgruppenverantwortlichen übernommen. Für die Regelzone APG in Österreich hat diese Aufgabe die Austrian Power Clearing and Settlement inne.<sup>52</sup>

Innerhalb einer Bilanzgruppe werden Lieferanten und Kunden zu einer virtuellen Gruppe zusammengefasst und es erfolgt ein Ausgleich elektrischer Energie, der sich nach Bezug und Lieferung richtet. Des Weiteren sei noch erwähnt, dass die Netzbetreiber eine geson-

<sup>51</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 6

<sup>52</sup> Vgl. Austrian Power Grid (2013)

derte Bilanzgruppe zur Ermittlung von Netzverlusten bilden müssen.<sup>53</sup>

Der Bilanzgruppenverantwortliche vertritt nicht nur die Bilanzgruppe, er ist auch für die Kommunikation mit anderen Marktteilnehmern zuständig. Weiters trägt er auch das finanzielle Risiko, welches im Besonderen zu großem Teil von der Ausgleichenergiebewirtschaftung ausgeht. Eine der wichtigsten Aufgaben eines Bilanzgruppenverantwortlichen ist die Übermittlung von Fahrplänen an die Verrechnungsstelle und den Regelzonenführer. In weiterer Folge obliegt ihm auch die Abrechnung der Ausgleichsenergie mit dem Bilanzgruppenkoordinator. Um die Stellung des Bilanzgruppenverantwortlichen ausüben zu können benötigt man eine Zulassung von der E-Control.<sup>54</sup>

Die Zugehörigkeit zu einer Bilanzgruppe ist ebenfalls erforderlich um als Lieferant oder Stromhändler zugelassen werden zu können. Man kann sich hierbei entweder einer bereits bestehenden Bilanzgruppe anschließen oder eine eigene Bilanzgruppe bilden. Da diese Gegebenheiten nicht direkt Gegenstand der Arbeit sind, sei zusammenfassend erwähnt, dass der Zutritt zu einer bestehenden Gruppe im Grunde sehr einfach und unbürokratisch möglich ist. Die Neugründung erfordert jedoch eine Reihe von Vereinbarungen, Sicherheiten, Nachweisen, technische Anforderungen, etc. und ist somit um einiges langwieriger und komplizierter.<sup>55</sup>

Man kann hiermit klar erkennen, dass das Bilanzgruppensystem allen wesentlichen Komponenten des Strommarktes zugrunde liegt. Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte hervorheben:

- der Lieferantenwechsel
- das Fahrplanmanagement
- die Ausgleichenergiebewirtschaftung
- der Datenaustausch zwischen den jeweiligen Marktteilnehmern

### 2.2.3 Datenaustauschformate zur elektronischen Übermittlung

In Tabelle 3 werden die Datenaustauschformate aufgelistet. Grundsätzlich ist nur die Fahrplanübermittlung für diese Arbeit relevant, jedoch werden auch die wichtigsten anderen Austauschprozesse mit den zugehörigen Dateiformaten gelistet. Die Übermittlung der jeweiligen Daten erfolgt in Österreich in der Regel immer als Anhang im richtigen Format, per Email.<sup>56</sup>

---

<sup>53</sup> Vgl. Poier K. et al (2011), S. 487

<sup>54</sup> Vgl. Treter H., Pauritsch G. (2010), S. 28

<sup>55</sup> In Anlehnung an E-CONTROL (2011), S. 6

<sup>56</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 13

Tabelle 3 - Die zu verwendenden Datenformate bei Datenaustauschprozessen<sup>57</sup>

	Datenformat	Übermittlungsweise
Fahrpläne	ESS (im XML-Format) <sup>58</sup>	Email
Lieferantenwechsel	Microsoft Excel (.xls(x))	Email
Gemessene Lieferung/Bezug	MSCONS	Email
Abrechnungsdaten	ebUtilities (im XML-Format)	Email

## 2.2.4 Stromzähler und Messung

Die Grundlage jeder Verrechnung ist die quantitative Messung und Erfassung von Bezügen aus dem Netz, beziehungsweise von Lieferung in das Netz. Die Messung dient jedoch nicht nur der monetären Abgeltung, sondern liefert auch die Basis für Prognosen.

Generell ist für die Bereitstellung von Zählern, deren Wartung, das korrekte Ablesen und die Weitergabe der Zählerdaten der Netzbetreiber zuständig. Wenn alle Spezifikationen eingehalten werden, kann auch der Kunde Messgeräte bereitstellen. Dies wird in der Praxis aber eher selten so gehandhabt.<sup>59</sup>

Die Identifikation der einzelnen Zähler erfolgt mittels der sogenannten Zählpunktbezeichnung. Es handelt sich hierbei um eine 33-stellige Kennung mit folgendem Aufbau:<sup>60</sup>

- Länderkennung (in Österreich "AT")
- 6-stellige Nummer des Netzbetreibers (vergeben durch die Verrechnungsstelle)
- 5-stellige Postleitzahl (4-stellig in Österreich) des Gebietes in dem sich die Zählstelle befindet (mit vorangestellter Null in Österreich, somit insgesamt 5 Stellen)
- 20-stellige Kennung, die nur diesem einen Zählpunkt zuordenbar ist

Es obliegt dem Netzbetreiber sicherzustellen, dass sie Zählpunktbezeichnung einzigartig ist und nach einer eventuellen Stilllegung des Zählers nicht abermals vergeben wird. Man kann grundsätzlich 2 Arten von Zählern unterscheiden. Es gibt Mengenzähler und Lastprofilzähler. Mengenzähler kommen bei kleineren Verbrauchern beziehungsweise Erzeugern zum Einsatz und Lastprofilzähler bei größeren, welche über bestimmten Grenzwerten liegen. Welche Art von Zähler zum Einsatz kommen soll, hängt von 2 Kriterien ab, von denen aber nur eines erfüllt sein muss. Bei über 100.000 Kilowattstunden Jahresver-

<sup>57</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 13

<sup>58</sup> Vgl. Schwab A. J. (2012), S. 763

<sup>59</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 13

<sup>60</sup> Vgl. Blittersdorff A. (2005), S. 86

brauch beziehungsweise -erzeugung oder bei Überschreitung von 50 Kilowatt Anschlussleistung benötigt man einen Lastprofilzähler, darunter nur einen Mengenzähler.<sup>61</sup>

Viel wichtiger sind in diesem Zusammenhang die Lastprofilzähler, welche auch in der Arbeit verwendet wurden. Ein solcher Zähler muss den Strombezug oder die Lieferung auf fünfzehn-Minuten Basis messen und aufzeichnen und kann in der Regel durch eine Kommunikationseinrichtung fernausgelesen werden.

Zur Vollständigkeit sei noch erwähnt, dass es für größere Kunden, die noch keinen Lastprofilzähler benötigen, oft ausreichend ist, einen sogenannten Viertelstunden-Maximumszähler zu installieren. Die Grenzen für so einen Zähler sind aber von Netzbetreiber zu Netzbetreiber verschieden und für die Abrechnung werden ebenfalls Standardlastprofile festgelegt wie sie in Kapitel 2.2.5 beschrieben werden.<sup>62</sup>

### 2.2.5 Standardisierte Lastprofile

Aufgrund gesetzlicher Grundlage ist für alle Kunden unterhalb der Grenze für Lastprofilzähler ein Standardlastprofil festzulegen. In den meisten Anwendungsfällen orientiert man sich in Österreich an den in Deutschland festgelegten Lastprofilen. In Fällen wo kein entsprechendes Äquivalent am deutschen Strommarkt vorliegt, hat die E-Control in Kooperation mit Österreichs Energie Lastprofile speziell für den österreichischen Strommarkt erstellt. Dazu gehören Lastprofile für:<sup>63</sup>

- Lieferung aus Wasserkraft
- Lieferung aus Windkraft
- Lieferung aus Biogasanlagen
- Lieferung aus Photovoltaikanlagen
- unterbrechbare Lieferungen
- Anlagen mit schaltbaren Lasten an einem gemeinsamen Zählpunkt
- Mobilfunksendestationen
- Öffentliche Beleuchtungsanlagen

Die Zuweisung dieser Standardlastprofile erfolgt durch den Netzbetreiber, wird vom Bilanzgruppenkoordinator verwaltet und auf dessen Internetseite der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.<sup>64</sup>

---

<sup>61</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 14

<sup>62</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 15

<sup>63</sup> Vgl. Austrian Power Clearing and Settlement (2012), S. 5 ff.

<sup>64</sup> Vgl. Schwab A. J. (2012), S. 763

## 2.3 Klassifizierung von Energieströmen - Regelenergie und Abgrenzung zur Ausgleichenergie

Um ein Elektrizitätsnetz aufrechterhalten zu können, müssen sich Bezug und Erzeugung stets die Waage halten, ansonsten ist die Stabilität des Netzes gefährdet. In Europa wird dies durch die Regelzonenführer über die sogenannte Leistungs-Frequenz-Regelung gewährleistet. In Österreich wird die Verantwortung für Stabilität und Ausgeglichenheit des Netzes durch den Übertragungsnetzbetreiber übernommen.<sup>65</sup>

Die Vorgänge und Regelungen die notwendig sind um diese Aufrechterhaltung und Funktionalität zu gewährleisten, werden in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

### 2.3.1 Netzregelung

Um die Aufrechterhaltung des Elektrizitätsnetzes gewährleisten zu können, stehen drei Kategorien von Regelenergie zur Verfügung. Sie unterscheiden sich in erster Linie nur durch die Zeit die benötigt wird um die Energieressourcen aktivieren und zuschalten zu können. Diese lauten.<sup>66</sup>

- Primärregelung
- Sekundärregelung
- Tertiärregelung

Alle drei Regelungen dienen zum Ausgleich von Lastschwankungen im gesamten Verbundnetz. Die Primärregelung springt generell bei jeder Lastschwankung an, kann aber nur bis maximal 30 Sekunden nach Störungseintritt aktiv bleiben. Für das kontinentaleuropäische Verbundnetz werden dafür  $\pm 3000$  Megawatt vorgehalten und diese Leistung ist so bemessen, dass der Simultanausfall zweier Grenzleistungskraftwerksblöcke kompensiert werden kann.<sup>67</sup>

Danach oder bereits parallel dazu wird die Sekundärregelung aktiviert. Diese kann länger andauernde Schwankungen bis zu 15 Minuten lang ausgleichen. Die Sekundärregelung ist so bemessen, dass sowohl zu erwartende, zufällige Schwankungen als auch größere Störfälle wie Kraftwerksausfälle abgedeckt werden können.<sup>68</sup>

Die Tertiärregelung ist im Prinzip der Ausgleichsenergiemarkt, von dem kurzfristig Energie bezogen werden kann. Diese Erzeugung wird am Vortag angemeldet und steht am Folgetag zur Verfügung und kann kurzfristig abgerufen werden.

---

<sup>65</sup> Vgl. Austrian Power Grid (2013)

<sup>66</sup> Vgl. Treter H., Pauritsch G. (2010), S. 34 ff.

<sup>67</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 2

<sup>68</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 2

In Abbildung 13 ist diese Abfolge schematisch beschrieben und wird sowohl zeitlich als auch geographisch in Kontext gesetzt. Man sieht klar, dass Die Primärregelung ganz Europa betrifft und wie die nachgeschalteten Regelungen in ihrer geographischen Ausweitung abnehmen.

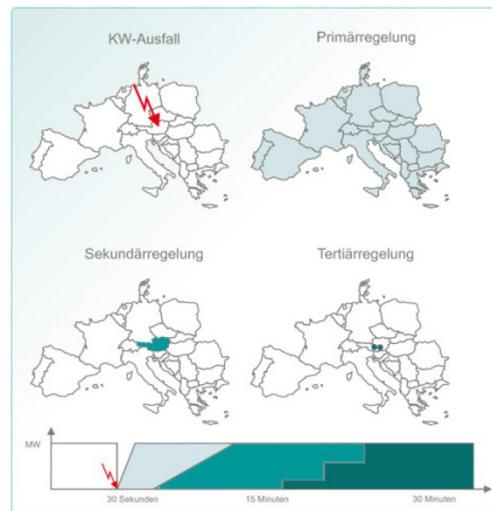


Abbildung 13 - Grafische Darstellung der Regelmöglichkeiten<sup>69</sup>

<sup>69</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 22

Abbildung 14 zeigt das Steuer- beziehungsweise Regelungsschema im Falle einer Netzstörung wie zum Beispiel bei einem Kraftwerksausfalls:

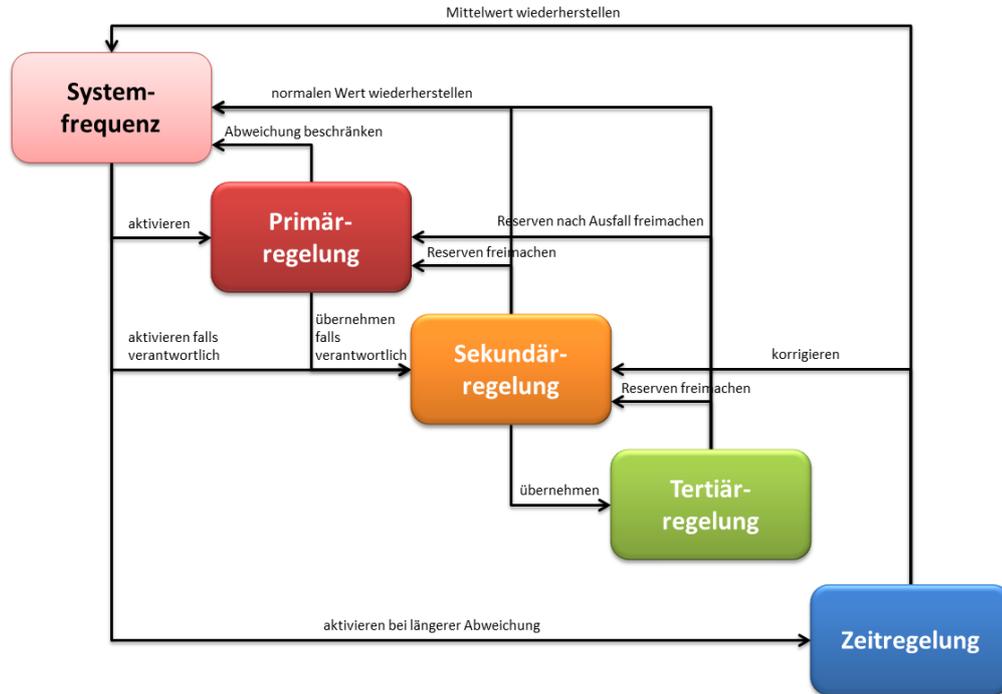


Abbildung 14 – Steuerungsschema mit Aktionen, ausgehend von der Netzfrequenz<sup>70</sup>

Im Gegensatz zur schematischen Aufschlüsselung zeigt Abbildung 15 den genauen zeitlichen Verlauf des in Krafttretens der einzelnen Regelungen. Die Primärregelung (rot) wird also innerhalb von Sekunden aktiviert und von allen Netzbetreibern mitgetragen. Die Sekundärregelung (gelb) fällt unter die Kontrolle des jeweiligen Netzbetreibers, in dessen Gebiet die Abweichung auftritt und muss bis längstens fünf Minuten nach Störungsauftritt aktiv sein. Die Aktivierung der Tertiärregelung (grün) oder Minutenreserve wird derzeit noch immer per Telefon angefordert und muss fünfzehn Minuten nach Abruf zur Verfügung stehen. Die Tertiärregelung bleibt aktiv bis die Störung beseitigt ist und kann somit auch mehrere Stunden in Kraft sein.<sup>71</sup>

<sup>70</sup> In Anlehnung an Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity et al (2004), S. P1-2

<sup>71</sup> Vgl. Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung (2013)

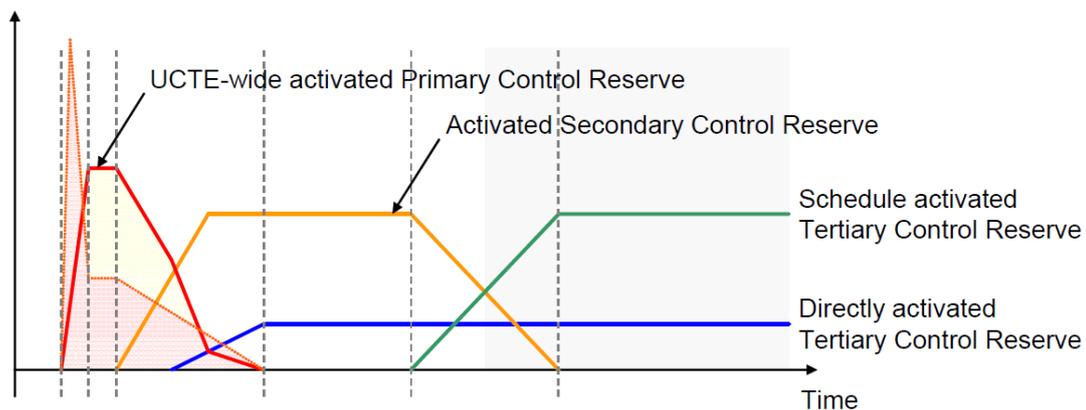


Abbildung 15 - Beispiel einer Frequenzabweichung und Aktivierung der entsprechenden Reserven in weiterer Folge<sup>72</sup>

### 2.3.2 Begriffliche Abgrenzung von Ausgleichsenergie und Regelenenergie

Regelenenergie und Ausgleichsenergie dienen eigentlich demselben Zweck, nämlich der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts von Bezug und Erzeugung. Die Fahrplanabweichungen innerhalb einer Bilanzgruppe ergeben den Ausgleichsenergiebedarf. Der Saldo dieser Mengen über alle Bilanzgruppen aufkummuliert, ergibt den Regelenenergiebedarf. Die Menge an Ausgleichsenergie kann somit um ein Vielfaches größer sein als der tatsächliche Bedarf an Regelenenergie, da sich die Fahrplanabweichungen innerhalb einer Bilanzgruppe untereinander aufheben können.<sup>73</sup>

Die Kosten, die für die Aufbringung der Regelenenergie entstehen, werden den einzelnen Bilanzgruppen verursachungsgerecht zugeordnet und in Rechnung gestellt. Die Kosten für die Primärregelung sowie 78 Prozent der Sekundärregelung werden durch Erzeugern und das Systemdienstleistungsentgelt gedeckt. Die restlichen 22 Prozent der Sekundärregelungskosten, sowie die Kosten der Tertiärregelung werden als Ausgleichsenergie durch die Bilanzgruppen getragen.<sup>74</sup>

Grob vereinfacht kann man weiters sagen:<sup>75</sup>

- Fahrplanabweichung der Regelzone ist Regelenenergie
- Fahrplanabweichung der Bilanzgruppe ist Ausgleichsenergie

<sup>72</sup> Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity et al (2004), S. P1-3

<sup>73</sup> Vgl. Schwab A. J. (2012), S. 870

<sup>74</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 3

<sup>75</sup> Vgl. Fischer K. et al (2012), S. 174

## 2.4 Fahrplanerstellung

Dieses Kapitel enthält eine Abgrenzung der Begrifflichkeiten des Fahrplanmanagements und der Fahrplanerstellung. In weiterer Folge sollen mögliche Strategien und Methoden aufgezeigt werden, die bei der Erstellung von Stromprognosen und in Frage kommen können.

Um einen Zusammenhang zur Praxis herzustellen, wird ein Pilot-Forschungsvorhaben aus Deutschland vorgestellt. Es ist Teil einer Kooperation zwischen einem führenden deutschen Unternehmen auf dem Gebiet des betrieblichen Energiemanagements und zwei Hüttenwerken mit Standorten in Salzgitter und Dillingen.

### 2.4.1 Fahrplanmanagement und funktionale Abgrenzung zur Fahrplanerstellung

In diesem Abschnitt folgt eine Definition des Begriffs Fahrplanmanagement um diesen von der Tätigkeit der Fahrplanerstellung abzugrenzen:<sup>76</sup>

- Einbuchen von Stromlieferverträgen (Standardprodukte und individuelle Fahrpläne) und des Bedarfes in das Energiebilanzkonto des Bilanzkreises
- Fahrpläne erzeugen
- Fahrpläne kommunizieren
- Auf Netzbetreiberfeedback reagieren
- Bereitschaftsdienst leisten

Die Erstellung von Fahrplänen ist somit als Teilfunktion des Fahrplanmanagements zu sehen und wird im Rahmen dieser Arbeit verstärkt auch in theoretischer Natur diskutiert. Die restlichen Punkte in dieser Aufzählung obliegen in erster Linie dem Bilanzgruppenverantwortlichen und werden nicht genauer behandelt, da sie nicht Aufgabe der voestalpine sind und somit keinen weiteren Einfluss auf das Projekt haben.

Fahrpläne dienen dem Regelzonenführer als Information über geplante Kraftwerkseinsätze und Energielieferungen die über Regelzonengrenzen hinweg gehen. Auch der Bilanzgruppenkoordinator ist auf diese Information angewiesen, da sie die Berechnungsgrundlage für die angefallenen Ausgleichsenergiemengen darstellen.<sup>77</sup>

Grundsätzlich sind zwei Arten von Fahrplänen zu unterscheiden:<sup>78</sup>

---

<sup>76</sup> Vgl. Dähne C. (2005), S. 36

<sup>77</sup> Vgl. Fischer K. (2012), S. 176

<sup>78</sup> Vgl. Austrian Power Clearing and Settlement (2012), S. 11, 16

- Externe Fahrpläne - für den Regelzonen überschreitenden Stromhandel
- Interne Fahrpläne - für regelzoneninternen Stromhandel

Zusätzlich dazu gibt es noch die folgenden Typen von Fahrplänen:<sup>79</sup>

- Erzeugungs- und Pumpspeicherfahrpläne
- Kraftwerksrevisionsfahrpläne
- Netzverlustfahrpläne
- Fahrpläne für Ökostromzuweisungen

Bei Regelzonenüberschreitenden Stromgeschäften müssen dem Regelzonenführer externe Fahrpläne bis spätestens 14:30 Uhr des Vortages übermittelt werden. Dieser kann dann entscheiden ob die Fahrpläne akzeptabel sind und gegebenenfalls Änderungen vorschlagen. Die Fahrpläne werden dann in weiterer Folge an den Bilanzgruppenkoordinator zur Abrechnung weitergeleitet. Am Vortag angemeldete Änderungen können mit einer Vorlaufzeit von 45 Minuten durchgeführt werden.

Bei Stromgeschäften innerhalb einer Regelzone ist das Vorgehen in der Regel dasselbe, jedoch sind angemeldete Änderungen mit einer Vorlaufzeit von nur 15 Minuten möglich. Die Bilanzgruppe sendet grundsätzlich nur den Saldo der Geschäfte mit anderen Bilanzgruppen an den Bilanzgruppenkoordinator. Es ist also nur ein externer und ein interner Fahrplan mit allen internen beziehungsweise externen Fahrplanzeitreihen zu übermitteln. Größere Kraftwerke müssen zusätzlich noch jährliche Kraftwerksrevisionspläne übermitteln die mit einem Wochenraster aufgelöst sind.<sup>80 81</sup>

## 2.4.2 Grundsätzliche Strategien und Methoden zur Fahrplanerstellung

In diesem Abschnitt werden die Möglichkeiten der Fahrplanerstellung aus der Sicht eines Stromabnehmers beziehungsweise eines Stromerzeugers beschrieben wie es in dieser Arbeit dann auch praktisch behandelt wird.

Generell gibt es zwei Möglichkeiten Fahrpläne zu erstellen:<sup>82</sup>

- Analytisch durch Berechnung
- Synthetisch durch Analyse historischer Daten

---

<sup>79</sup> Vgl. Austrian Power Clearing and Settlement (2012), S. 19 ff.

<sup>80</sup> Vgl. Schwab A. J. (2012), S. 762

<sup>81</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 17

<sup>82</sup> Vgl. Schmidt et al (2011), S. 162

## Synthetische Fahrplanerstellung

Synthetische Lastprofile werden meist mit statistischen Hilfsmitteln wie Zeitreihenanalysen erstellt. Zur genauen Methodik sowie zu Einschränkungen und Genauigkeit sei auf die einschlägige Literatur verwiesen. Allgemein kann man sagen, dass folgende Informationen für die Erstellung benötigt werden:<sup>83</sup>

- Historische Lastzeitreihen
- Temperaturprognosen für den gewünschten Prognosezeitraum
- Tagestyp (mit Feiertagskalender)

Für industrielle Strombezugsprognosen für den Folgetag ist es jedoch in der Regel nicht zweckmäßig Lastprofile ausschließlich auf statistische Analysen zu stützen, da eine Reihe von analytischen Faktoren in die Entstehung von Lastprofilen einfließen. Diese können zwar statistisch gewissen Ursachen zugeordnet werden, jedoch nicht mit zufriedenstellender Wahrscheinlichkeit ohne a priori Informationen vorhergesagt werden. Bei vielen industriellen Anwendungen ist es zwar sinnvoll statistische Hilfsmittel wie Korrelationsanalysen, Abweichungen und Histogramme zu verwenden, aber im Besonderen Zeitreihenanalysen sind in der Regel nicht zweckmäßig.<sup>84</sup>

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass sich ein Großteil der Literatur zur Vorhersage von Strombezügen auf Langzeitprognosen bezieht und des Weiteren statistische Modelle zur Anwendung zieht um komplexe, nicht analytische berechenbare Verteilungen zu beschreiben.

## Analytische Fahrplanerstellung

Bisher gibt es fast keine Pilotprojekte in der Industrie, welche versuchen den innerbetrieblichen Verbrauch sowie die Erzeugung genauer als bisher vorherzusagen. Was Prognosen so schwer macht, ist die Vernachlässigung von innerbetrieblichem Energiemanagement in den energieintensiven Branchen. In fast jedem Unternehmen wird die Produktionsplanung unabhängig von der Fahrplanprognose durchgeführt. Generell wird die Fahrplanerstellung bei der Planung eher vernachlässigt und man hat oft gar keine Möglichkeit die Prognosegenauigkeit zu steigern, da die Datenqualität nicht ausreicht.<sup>85</sup>

Statistische Auswertungen können zunächst helfen eine Richtung vorzugeben und die relevanten Kriterien zur Fahrplanerstellung aufzeigen. Ultimativ müssen diese Auswertungen analytischen oder zumindest teilanalytischen Modellen weichen um den Gesamtfahrplan akkurat vorherzusagen zu können. Bei guter Kalkulierbarkeit der Fahrpläne spricht man auch von „Fahrplanfähigkeit“.<sup>86</sup>

---

<sup>83</sup> Vgl. Austrian Power Grid (2013)

<sup>84</sup> Gespräch – Dr. Kräuter A. (2012)

<sup>85</sup> Vgl. Saller G. (2010), S. 25

<sup>86</sup> Vgl. Saller G. (2010), S. 29

In dieser Arbeit wird im Idealfall folgende Vorgehensweise vorgeschlagen. Zuerst zerlegt man den Produktionsprozess in seine wesentlichen Schritte und dann ermittelt man die einzelnen Aggregatverbräuche der großen Produktionsanlagen. Wenn man einen Produktionsprozess in seine wesentlichen Schritte zerlegt und die Verbräuche der einzelnen Aggregate kennt, kann man diese Daten mit dem aktuellen Produktionsprogramm abgleichen. Man kennt nun die Strombedarfe der einzelnen Prozessschritte und kann zusätzlich aus den Produktionsprogrammen auf die Zeitpunkte der Lastfälle schließen. Somit wäre es bei sehr guter Betriebskenntnis und hoher Planungsgenauigkeit, zumindest theoretisch, möglich ein genaues Lastprofil eines Produktionsstandortes zu berechnen.

Die Voraussetzungen hierfür sind jedoch in den meisten Unternehmen extrem schwer zu erfüllen. Die Kenntnis der Aggregatverbräuche, die genaue mengenmäßige, sowie zeitliche Planung der Produktion und akkurate historische Daten sind meist nicht verfügbar. Ein Änderung dieser Umstände lässt sich nur mit erheblichem Aufwand realisieren und setzt die volle Kooperation und Wandlungsbereitschaft des entsprechenden Unternehmens voraus.

### **2.4.3 Lastprognosen und Fahrplanerstellung in der Hüttenindustrie am Beispiel eines Pilot-Forschungsvorhabens**

Als Praxisbeispiel, wie Fahrplanerstellung nach derzeitigen Forschungsstand realisiert werden kann, wird ein Forschungsvorhaben, welches in Zusammenarbeit mit zwei Hüttenwerken in Deutschland durchgeführt wurde, beschrieben. Jene Aspekte, welche für die Arbeit besonders von Bedeutung sind werden im Detail betrachtet.

#### **Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens**

Die Firma ProCom hat in den letzten Jahrzehnten bei zahlreichen Forschungsvorhaben mitgearbeitet und gilt als Pionier im betrieblichen Energiemanagement und damit verbundener Software. Die Softwaresysteme von ProCom sind heute Marktführer in den Bereichen Energieoptimierung und Lastprognosen. Des Weiteren werden auch Systeme von Drittanbietern mit guter Integration in die bestehende Software angeboten. Beispiele hierfür sind Systeme für Leittechnik oder Energiedatenmanagement. Diese integrierten Gesamtsysteme sind bei einer großen Anzahl von Kunden im Einsatz. Der Einsatzbereich der betrieblichen Nutzung liegt derzeit ausschließlich bei Energieversorgungsunternehmen.

Um abermals zu verdeutlichen, wie wenig Forschung und Entwicklung es zurzeit auf dem Gebiet von innerbetrieblichen Lastprognosen gibt, muss man sich nur vor Augen führen, dass ProCom, als absoluter Pionier von Energiemanagement-Dienstleistungen und Softwarelösungen, momentan keine Anwendbarkeit ihrer eigenen und anderer bestehender Lösungen für Lastprognosen und Energiemanagement in der Hüttenindustrie und anderer energieintensiver Branchen sieht.<sup>87</sup>

Diese Zurückhaltung gegenüber der Realisierung einer energieoptimalen Produktion rührt von dem generellen Auslastungsbestreben der Hüttenindustrie her. Das Hauptaugenmerk

---

<sup>87</sup> Vgl. Stock G. (2008), S. 20

der Branche liegt historisch betrachtet immer schon auf hochqualitativer und störungsfreier Produktion sowie auf dem Bestreben einer hundertprozentigen Auslastung aller Aggregate. Dies ist sehr einfach mit der anlagenintensiven Natur der Hüttenindustrie zu begründen. Weiters befürchtet man auch entgangene Aufträge durch energieoptimale Planung.<sup>88</sup>

Dennoch haben sich Energiepreise seit Entstehen dieser Sparte stark gewandelt und es steht ein grundsätzlicher Paradigmenwechsel an. Bereits 1995 machten die Energieaufwendungen zwei Drittel der gesamten Ausgaben eines Hüttenbetriebes aus. Es liegt somit nahe, aufgrund des hohen spezifischen Energiekostenanteils in Zukunft über mögliche Einsparungspotentiale nachzudenken und diese auch als Chance statt eines notwendigen Übels zu sehen und zu realisieren.

Aus diesem Grund wurde das bereits angesprochene Forschungsvorhaben ins Leben gerufen. Im Rahmen dieses Projekts, wurde in Deutschland eine Piloterprobung von ProCom durchgeführt. Man hat versucht, an zwei Hüttenstandorten das betriebliche Energiemanagement im Bezug auf Kosten und Effizienz zu optimieren. Die angesprochenen Standorte sind die Dillinger Hüttenwerke AG in Dillingen und die Salzgitter Flachstahl GmbH in Salzgitter. Die Vision des Projekts lässt sich mit zwei Schlagworten beschreiben:

- optimale Energiebezüge und -verkäufe
- optimale Energienutzung und -verteilung

Daraus leiten sich folgende, grundlegende Ziele ab:

- möglichst wenig Gas abfackeln
- möglichst wenig Erdgas und Strom zukaufen
- möglichst geringer spezifischer Eigenverbrauch an Primärenergie

Die einzelnen Projektziele gestalten sich jedoch wesentlich spezifischer, was auch die Komplexität der Energieströme in der Hüttenindustrie widerspiegelt. Es folgt nun eine kurze Zusammenfassung der einzelnen Projektziele um den erheblichen Arbeitsaufwand zu verdeutlichen. Die Umsetzung des Projekts baut auf einem zu erstellenden Modell auf, welches die relevanten Einflussfaktoren und Freiheitsgrade der innerbetrieblichen Energieflüsse und Strombezüge aus dem Netz darstellen soll. Es wurden bei der Modellerstellung sowohl Faktoren von außen wie Marktgegebenheiten und vertragliche Grundlagen sowie inneren Faktoren wie mögliche Zuschlagstoffe im Hochofen Rechnung getragen. Auf diesem Modell sollen alle Prognose- und Optimierungsfunktionen aufsetzen. Das Ergebnis dieser Modellbildung bilden hierarchisch gestaffelte Strukturmodelle des Hüttenbetriebs, die ein gutes Abbild der Realität liefern sollen. Es wurden 5 Ebenen mit zunehmendem Detaillierungsgrad und 12.000 Optimierungsvariablen festgelegt. Die daraus resultierende Komplexität musste in zahlreichen Workshops reduziert und die Modelle vereinfacht werden, um die benötigten Rechenzeiten auf akzeptable und sinnvolle Werte zu bringen.

---

<sup>88</sup> Gespräch Kröger S. (2013)

Weitere Basis dieser Funktionen sollen auch Zeitreihenabbilder der zu bestimmenden relevanten Einzelkomponenten der Hütte sein. Als letztes Ziel werden die Störfallreaktion sowie damit verbundene Auswirkungsprognosen angeführt. Die Optimierungsrichtung wird gebildet durch die Verbesserung der innerbetrieblichen Bedarfsprognosen sowie die kostenoptimale Beschaffung von Stromprodukten.

STOCK schreibt im Schlussbericht des Forschungsvorhabens, dass z.B. in Salzgitter zwar mehrere tausend Prozessvariablen registriert und aufgezeichnet werden, aber dass es im Bereich der Fahrplanerstellung und Strombeschaffung große Optimierungspotentiale gibt.<sup>89</sup>

### **Erstellung von Lastprognosen**

Nach STOCK sind die grundlegenden Komponenten die benötigt werden um Lastprognosen zu erstellen:<sup>90</sup>

- Zuordnung und vor allem Zuordenbarkeit von Energieverbräuchen
- Detaillierte Zeitreihenabbildungen der wichtigsten Kennwerte
- Voraussage der Verbrauchscharakteristik in Abhängigkeit von Prozessen und Produktionsprogrammen

Dem gegenüber stehen nun aber die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt. Es wurde festgestellt, dass der Ursache-Wirkungs-Zusammenhang für den Energiebezug an den meisten Verbrauchspunkten nicht kausal über gut vorhersagbare Einflussfaktoren festgelegt ist.

Das Hauptproblem liegt darin, dass der Energieverbrauch zwar leistungsmäßig relativ gut prognostizierbar ist, aber der tatsächliche Lastfall zeitlich nur mit großer Unschärfe für den Folgetag vorherzusagen ist. Aus Sicht der Mitarbeiter, die mit der Fahrplanerstellung betraut sind, sind solche Abweichungen von den Produktionsprogrammen von "zufälliger" Natur und nicht prognostizierbar. Des Weiteren ist der Informationsgehalt der Produktionsprogramme grundsätzlich schon nicht ausreichend um Vorhersagen treffen zu können.

Es wird weiters argumentiert, dass im Gegensatz zur Tagesplanung, die Genauigkeit der Wochen-, Monats- und Jahresplanung immer weiter zunimmt, da kleine Unschärfen in der Prognose immer weniger ins Gewicht fallen. Die Prognosegüte nimmt somit also bei Verwendung derselben Modelle bei längeren Betrachtungszeiträumen zu. Im Umkehrschluss kann man folgern, dass eine genaue Tagesplanung am schwierigsten zu erreichen ist.

Zur Erstellung dieser Tagesprognosen wurden vorerst künstliche neuronale Netze als Lösung angedacht. Dieses Vorhaben scheiterte jedoch. Die Gründe hierfür werden im nächsten Abschnitte dieses Kapitels angeführt. Stattdessen ging man dazu über, 70 Verbrauchspunkte der Hütte zu isolieren, und deren Verbrauch aufgrund von Formelberechnungen aus den jeweiligen, zugehörigen Produktionsprogrammen zu berechnen. Des Weiteren wurden bei Bedarf auch Vergleichstagesverfahren angewandt, um etwas genauere Prognosen

---

<sup>89</sup> Vgl. Stock G. (2008), 2-31

<sup>90</sup> Vgl. Stock G. (2008), 2-34

sen als durch reine Formelberechnungen zu erreichen. Um die Zugriff auf die aktuellen Produktionsprogramme und die genaue Auftragsreihung zu erhalten, wurde als Schnittstelle eine Oracle Datenbank eingerichtet.

Das Gesamtergebnis und somit der Erfolg des Vorhabens wird mit „Befriedigend“ bis „Gut“ bewertet. Diese Bewertung bezieht allerdings auch die kostenoptimale Beschaffung von Stromprodukten und die damit verbundene Produktionsplanung mit ein. Kleine Einspareffekte sind jedoch, laut des Schlussberichts, auch durch den die erhöhte Planungsgenauigkeit zu erwarten. Der genaue Nutzen ist schwer zu bewerten und Einsparpotentiale konnten nicht klar dargestellt werden.<sup>91</sup>

### **Einsatz künstlicher neuronaler Netze zur Energieprognose**

Die letztendlich zur Anwendung kommenden Formelberechnungen haben den Vorteil einer gewissen Robustheit gegenüber Daten-Ausreißern und liefern unter gleichbleibenden Bedingungen konsistente Resultate.

Im Gegensatz dazu sind neuronale Netze schwierig zu beherrschen. Sie sind sehr stark abhängig von ihrer Programmierung und den festgelegten Parametern, sowie der Qualität der Trainingsdaten. Es besteht auch die Möglichkeit ein KNN zu „übertrainieren“ und somit seine Prognosefähigkeit zu zerstören. Die Bedienung erfordert somit sehr großes Anwender-Knowhow und ist demnach nicht für das Tagesgeschäft und die Bedienung durch nicht spezialisierte Mitarbeiter geeignet.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens kam zum Vorschein, dass trotz des Vorhandenseins historischer Daten, die bestehende Datenqualität keine Korrelationen offenbart und zulässt, um ein neuronales Netz trainieren zu können. Im Lichte dieser Erkenntnisse wurde davon abgesehen die Berechnungsmethode der KNNs weiter zu verfolgen.

Dieser Schluss deckt sich mit den Erkenntnissen anderer Forschungsvorhaben und mit der Meinung von Experten auf dem Gebiet der Algorithmentheorie. KNNs sind in der Lage Computerprobleme zu lösen, die bisher nicht oder nur sehr schlecht lösbar waren. Wenn jedoch die benötigte Laufzeit sowie fehlendes Anwender-Knowhow einschränkende Rahmenbedingungen darstellen, sind künstliche neuronale Netze oft nicht sinnvoll einsetzbar.<sup>92</sup>

### **Datenqualität als kritischer Erfolgsfaktor und Projektabschluss**

Um die Qualität und Genauigkeit einer Verbrauchsprognose gewährleisten zu können, müssen akkurate historische Produktionsdaten vorliegen um Zusammenhänge und Korrelationen ermitteln zu können. Des Weiteren müssen auch sehr genaue Produktionsprogramme für die Zukunft existieren um einen Zusammenhang aus Vergangenheit und Zukunft auf zuverlässige Art und Weise herstellen zu können.<sup>93</sup>

---

<sup>91</sup> Vgl. Stock G. (2008), 3-10

<sup>92</sup> Gespräch Seifert N. (2012)

<sup>93</sup> Vgl. Stock G. (2008), 3-10

Der Projektabschluss hat sich um sechs Monate verzögert und auch das Budget wurde bedeutend überzogen. Der Grund wird in der hohen Komplexität der Problemstellung und in der Schwierigkeit gesehen, zufällig erscheinende Lastgänge mit ausreichender Genauigkeit prognostizieren zu können.<sup>94</sup>

---

<sup>94</sup> Vgl. Stock G. (2008), 3-17

## 2.5 Preisbildung und Verrechnung

In diesem Kapitel werden im Speziellen diejenigen Preiskomponenten behandelt, die für diese Arbeit und somit auch für die Ausgleichsenergiepreise relevant sind.

### 2.5.1 Clearing

Das Clearing ist die Abrechnung mit den Bilanzgruppen und wird in das technische und das finanzielle Clearing unterteilt.

Weder Endkunden noch Erzeuger können ihren Verbrauch beziehungsweise ihre Erzeugung mit hundertprozentiger Genauigkeit vorhersagen. Somit kommt es immer zu Fahrplanabweichungen und aus diesem Grund benötigen Bilanzgruppen gewisse Kontingente an Ausgleichsenergie. Diese Ausgleichsenergie wird verrechnet, sobald die tatsächlichen gemessenen Mengen an Verbrauch und Erzeugung vorliegen.

Im technischen Clearing wird nun vorerst nur ermittelt, wie groß die viertelstündlichen Abweichungen waren und dann aufkumuliert. Es ist ein Vergleich der Fahrpläne mit den tatsächlichen IST-Werten.

Im finanziellen Clearing wird dann der Preis für diese im technischen Clearing ermittelten Ausgleichsenergiemengen festgelegt. Dies ist erst nachträglich möglich, da sich die Ausgleichsenergiepreise mitunter aus der Menge der zur Verfügung stehenden Ausgleichsenergie ergeben.

Jeden Monat finden zwei Clearings statt, zum einen am 10. Arbeitstag eines Monats für den Vormonat und zum anderen für den 15 Monate zurückliegenden Monat. Das zweite Clearing ist deshalb notwendig, da Informationen über Kleinkunden nur einmal jährlich zur Verfügung stehen.

Das Clearing wird von den Bilanzgruppenkoordinatoren übernommen. Diese übernehmen auch die Verrechnung an die Bilanzgruppen. Die so verrechneten Kosten werden dann innerhalb einer Bilanzgruppe aufgeteilt und weiterverrechnet.<sup>95</sup>

Im Österreichischen Bundesgesetz findet man folgende Definition zur Berechnung der Clearingpreise:

„§ 12. (1) Für die mit der Erfüllung der Aufgaben eines Bilanzgruppenkoordinators erbrachten Leistungen hat die Elektrizitäts-Control GmbH eine Gebühr tarifmäßig zu bestimmen. Dieser Gebühr sind die mit der Erfüllung der Aufgaben verbundenen Aufwendungen einschließlich eines angemessenen Gewinnzuschlages zugrunde zu legen. Die mit den Leistungen korrespondierenden Preisansätze sind kostenorientiert zu bestimmen. Bemessungsgrundlage ist der Umsatz an elektrischer Energie der jeweiligen Bilanzgruppe. Die besonderen Bilanzgruppen für Netzverluste sowie Transaktionen betreffend Ökoenergie sind nicht mit einer Clearinggebühr zu belasten.“

---

<sup>95</sup> Vgl. E-CONTROL (2011), S. 18

(2) Die Verlautbarung des zur Bestimmung der Clearinggebühr bestimmten Tarifes ist auf Kosten des Bilanzgruppenkoordinators von der Elektrizitäts-Control GmbH im Amtsblatt zur Wiener Zeitung zu veranlassen.<sup>96</sup>

Die zur Berechnung verwendeten Daten je Clearingperiode lauten wie folgt:<sup>97</sup>

- von den BGV: die internen Fahrpläne getrennt nach Bezug und Lieferung
- von dem RZF: die externen Fahrpläne getrennt nach Bezug und Lieferung
- von den NB: die Summe aus aggregierten Lastprofilzählwerten (Zeitreihen aus Viertelstundenwerten) und aggregierten synthetischen Lastprofilen, getrennt für Erzeugung und Verbrauch, je Lieferant und BG, sowie die Zeitreihen der Netzkupplstellen, welche unter die Datenverantwortung des NB fallen.

## 2.5.2 Preisbildung – Regelenergie

In diesem Abschnitt folgt zunächst eine genauere Betrachtung der Kostenseite der Tertiärregelung welche in Kapitel 0 bereits in groben Zügen beschrieben wurde.

Die Tertiärregelung setzt sich im Wesentlichen aus zwei Komponenten zusammen:<sup>98</sup>

- Marketmaker
- Minutenreserve (Ausgleichsenergie)

Diese werden seit der Regelzonenzusammenführung im Jänner 2012 durch den Regelzonenführer beschafft. Für den Fall, dass nicht genug Minutenreserve angeboten wird, gibt es die sogenannten Marketmaker, welche sich für bestimmte Zeiträume zur Bereitstellung von Ausgleichsenergie verpflichten. Der Löwenanteil der Kosten wird hier durch die Marketmaker-Kosten gebildet (mehr als 80 Prozent).<sup>99</sup>

Die Marketmaker Ausschreibung erfolgt wöchentlich im Internet und erfolgt separat von der Bereitstellung und Übernahme von Minutenreserve. Das Ausmaß der Ausschreibung wird vom Regelzonenführer a priori festgelegt.<sup>100</sup>

Abbildung 16 zeigt die Entwicklung der Marketmaker-Kosten über die letzten Jahre. Der Trend zeigt zu durchschnittlichen Kosten von 500.000 Euro pro Monat.

---

<sup>96</sup> Bundeskanzleramt Österreich, Bundesgesetz (2013)

<sup>97</sup> Vgl. Austrian Power Clearing and Settlement (2012), S. 12

<sup>98</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 7

<sup>99</sup> Vgl. Austrian Power Clearing and Settlement (2012), S. 5

<sup>100</sup> Vgl. Tretter H. et al (2010), S. 38

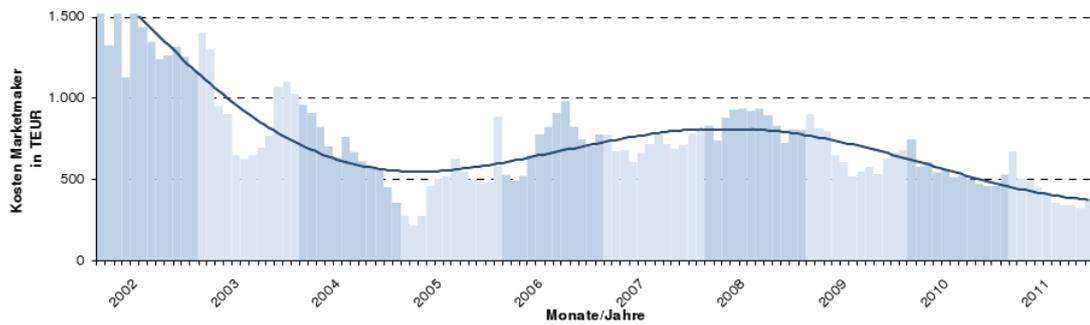


Abbildung 16 - Kosten für Marketmaker von 2002 bis 2011<sup>101</sup>

Am zeitlichen Kostenverlauf in Abbildung 17 kann man auch erkennen, dass die abgerufenen Tertiärenergiemengen in keiner Relation zu den entstandenen Kosten stehen. Daraus folgt, dass der überwiegende Kostenanteil durch die Marketmakervergütung verursacht wird.<sup>102</sup>

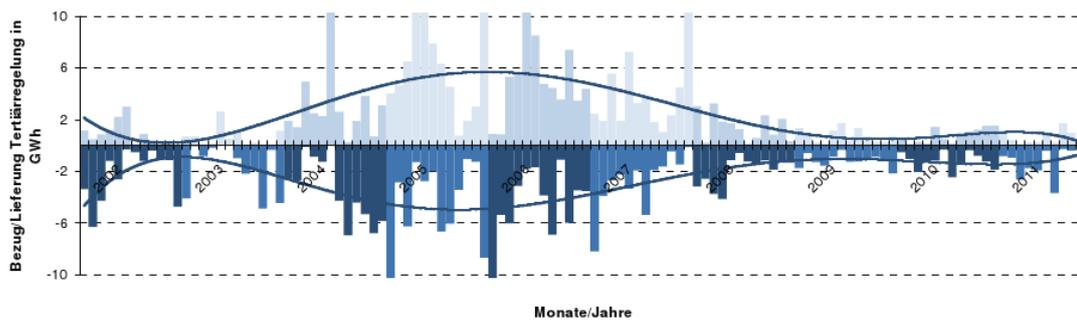


Abbildung 17 – Mengen von Tertiärregelenergie von 2002 bis 2011<sup>103</sup>

Zusammenfassend ergeben die Kosten beziehungsweise die Erlöse für Tertiärregelungsenergie kein so symmetrisches Bild wie der annähernd symmetrische Verlauf von Bezug und Lieferung aus Abbildung 17 vermuten lassen könnte.

<sup>101</sup> Austrian Power Clearing and Settlement (2012)

<sup>102</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 7

<sup>103</sup> Austrian Power Clearing and Settlement (2012)

Abbildung 18 zeigt, dass die Kosten auch im langjährigen Vergleich immer wesentlich höher ausfallen als die Erlöse.

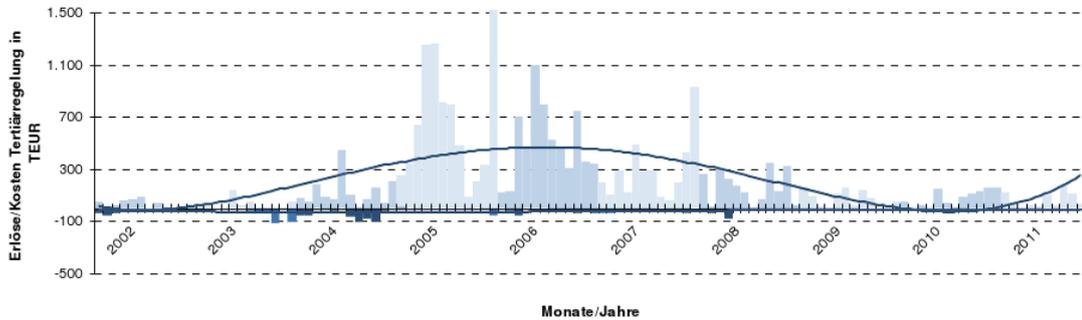


Abbildung 18 – Erlöse/Kosten durch Tertiärregelung von 2002 bis 2011<sup>104</sup>

Die Preisfindung für Regenergie an sich funktioniert in Europa derzeit auf unterschiedliche Arten. Für die wettbewerbliche Preisermittlung sind zwei Modelle im Besonderen von Bedeutung. Es handelt sich um das:<sup>105</sup>

- Grenzpreisverfahren
- und das sogenannte Pay-as-bid Verfahren

Beim Grenzpreisverfahren erhalten alle akzeptierten Gebote den höchsten gebotenen Preis. Dieser wird auch „Market Clearing Price“ genannt. Im Gegensatz dazu, erhalten beim Pay-as-bid Verfahren alle Parteien mit akzeptierten Geboten den gebotenen Preis.

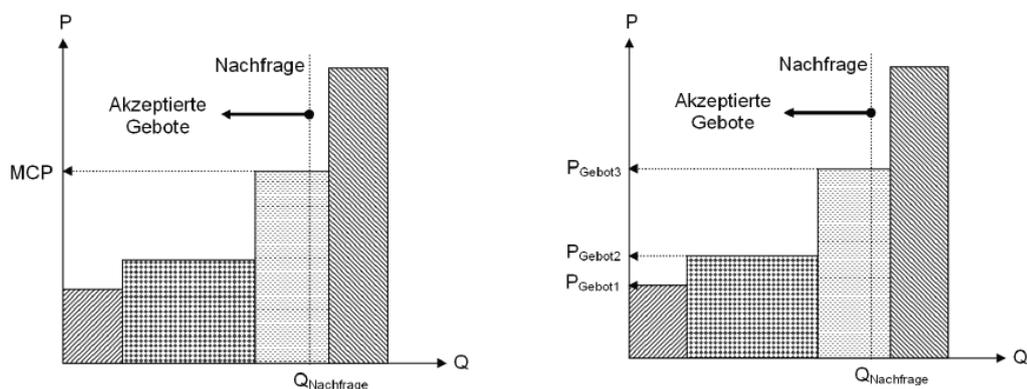


Abbildung 19 - Preisbildung bei Grenzpreisverfahren (links) und Pay-as-bid Verfahren (rechts)<sup>106</sup>

<sup>104</sup> Austrian Power Clearing and Settlement (2012)

<sup>105</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 14

<sup>106</sup> Friedl et al (2012), S. 15

Welches der beiden Verfahren zum Einsatz kommt hängt von einer Reihe von Faktoren und Markt Voraussetzungen ab. Einige wichtige seien hier erwähnt:<sup>107</sup>

- Art der Abgeltung der Fixkosten für die Zurverfügungstellung von Regelenergie
  - Abhängig von Typ und Alter der Regelreserveanlagen
- Abrufwahrscheinlichkeit von Regelenergie in den Regelenergiemärkten

---

<sup>107</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 15

### 2.5.3 Preisbildung – Ausgleichsenergie

Wenn es um Regel- und Ausgleichsenergie geht, muss man zwischen der Preisfindung in der Energiebeschaffung und der Preisfindung bei der Verrechnung der Ausgleichsenergie unterscheiden. Erstere bestimmt die Höhe und das Ausmaß der Abgeltung, die den Anlagenbetreiber für das Zurverfügungstellen der Regelenergie zusteht und zweitere dient zur Bestimmung des Ausgleichsenergiepreises welcher dann Bilanzgruppen weiterverrechnet wird.<sup>108</sup>

Das Gesetz sieht hier folgende Definition vor:<sup>109</sup>

„§ 10. (1) Preise für Ausgleichsenergie sind unter Zugrundelegung des in Abs. 2 und 3 vorgesehenen Verfahrens zu ermitteln.

(2) Die Preise für Ausgleichsenergie sind aus den Angeboten der für Ausgleichsenergieleistungen in Frage kommenden Kraftwerken (Bieterkurve) und der nachgefragten Ausgleichsenergie (Nachfragekurve) je Ausgleichsperiode zu bestimmen.

(3) Die Preise für die Ausgleichsenergie sind unter Zugrundelegung eines marktorientierten Modells zu ermitteln. Dieses Modell ist von der Verrechnungsstelle zu erarbeiten und bedarf der Genehmigung der Regulierungsbehörde.“

Der Ausgleichsenergiepreis soll die Anreizwirkung für möglichst akkurate Fahrpläne dienen und als mögliche Preisfindungsmechanismen werden vor allem das Grenz- und das Durchschnittspreisverfahren verwendet.<sup>110</sup>

Beim Grenzpreisverfahren, werden höhere Maximalpreise weitergegeben und zeigen den Verursachern somit auch die zu jedem Zeitpunkt herrschende Knappheit an Ausgleichsenergie an (höhere Preise bei geringerer Mengenverfügbarkeit). Beim Durchschnittspreisverfahren kommt dieser Aspekt nicht so gravierend zu tragen. Um den Bilanzgruppen einen Anreiz zu geben, mitzuhelfen das Systemgleichgewicht der Regelzone aufrechtzuerhalten, wird auch das Erzeugungs- und Verbrauchsgleichgewicht in Relation zur Regelzone in den Preis miteinbezogen.

Die Ausgleichsenergiepreise sind deshalb so ausgestaltet, dass bei positiver Unterstützung des Systemungleichgewichts eine positive Abgeltung erfolgt und umgekehrt, bei negativer Unterstützung, Kosten anfallen. Praktisch wird dies entweder mit einem Ein- oder Zweipreissystem realisiert.<sup>111</sup>

---

<sup>108</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 16

<sup>109</sup> Bundeskanzleramt Österreich, Bundesgesetz (2013)

<sup>110</sup> Vgl. KH Leuven et al (2009), S. 50

<sup>111</sup> Vgl. Friedl et al (2012), S. 16

Beim Einpreissystem erfolgt die Verrechnung völlig symmetrisch. Das heißt, dass positive Unterstützung in gleicher Höhe abgegolten wird wie dieselbe Menge negativer Unterstützung. Tabelle 4 zeigt beispielhaft ein solches Einpreissystem:

Tabelle 4 – Ausgleichenergiepreis in einem Einpreissystem<sup>112</sup>

		Ungleichgewicht Regelzone	
		Negativ Erzeugung < Verbrauch	Positiv Erzeugung > Verbrauch
Ungleichgewicht Regelzone	Negativ Erzeugung < Verbrauch	+P <sub>pos. Regelenergie</sub>	+P <sub>neg. Regelenergie</sub>
	Positiv Erzeugung > Verbrauch	-P <sub>pos. Regelenergie</sub>	-P <sub>pos. Regelenergie</sub>

Beim Zweipreissystem werden für Beitrag zum Gleichgewicht der Regelzone beziehungsweise zu deren Ungleichgewicht unterschiedliche Preise verrechnet um einen noch stärkeren Anreiz zu akkuratem Fahrplanmanagement zu liefern. Üblicherweise wird bei negativer Beeinflussung des Regelzonengleichgewichts der Durchschnittspreis der Regelenergiebereitstellung verrechnet. Bei positiver Beeinflussung wird in der Regel mit dem Day-Ahead Börsenpreis abgegolten.<sup>113</sup>

<sup>112</sup> In Anlehnung an KH Leuven et al (2009), S. 51

<sup>113</sup> Vgl. KH Leuven et al (2009), S. 51

Tabelle 5 zeigt exemplarisch ein solches Zweipreissystem:

Tabelle 5 - Ausgleichsenergiepreis in einem Zweipreissystem<sup>114</sup>

		Ungleichgewicht Regelzone	
		Negativ Erzeugung < Verbrauch	Positiv Erzeugung > Verbrauch
Ungleichgewicht Regelzone	Negativ Erzeugung < Verbrauch	+P <sub>pos. Regelenergie</sub>	+P <sub>Day-Ahead</sub>
	Positiv Erzeugung > Verbrauch	-P <sub>Day-Ahead</sub>	-P <sub>pos. Regelenergie</sub>

<sup>114</sup> In Anlehnung an KH Leuven et al (2009), S. 52

## **3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz**

In den folgenden Kapiteln werden die Verbrauchscharakteristika der einzelnen Hauptverbraucher ermittelt, die zur Verfügung stehenden Daten und das Vorgehen bei der Erstellung von den nun in Anwendung befindlichen Berechnungsmodellen für die Fahrplanerstellung genau beschrieben. Im Laufe des Kapitels wird immer wieder auf die Herausforderungen und Schwierigkeiten, die es im Rahmen der Arbeit in den unterschiedlichen Phasen zu überwinden galt, hingewiesen. Zum Abschluss steht eine Vorstellung des Tools, welches am Standort bereits zur semi-automatischen Fahrplanerstellung zum Einsatz kommt.

Diese Kapitelstruktur soll auch, wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt, als Beschreibung der systematischen Vorgehensweise von der Datenbeschaffung bis zum fertigen Produkt dienen.

### **3.1 Analyse der Verbrauchscharakteristika nach Hauptverbrauchern**

Wie bereits in Kapitel 1.4 erläutert sind mehrere eigenständige Betriebe am Standort Donawitz ansässig. In jedem dieser Betriebe werden andere Produkte auf unterschiedlichen Anlagen hergestellt, welche verschiedene Prozesse durchlaufen müssen. Somit ist es nicht schwer vorstellbar, dass für jeden Betrieb eine eigene Strategie gefunden werden muss um den Stromverbrauch mit ausreichender Genauigkeit vorhersagen zu können.

In diesem Kapitel werden die Verbrauchscharakteristika analysiert und erläutert. Die getroffenen Beobachtungen sollen dabei helfen, zusammen mit den verfügbare Produktionsdaten, Strategien und Methoden zu entwickeln um Stromverbrauchprognosen erstellen zu können.

## Hochofen und Sinteranlage

Die Sinteranlage produziert immer wenn auch der Hochofen aktiv ist. Dies ist eine prozessbedingte Notwendigkeit und hat zur Folge, dass beide Anlagen fast ausschließlich parallele Lastprofile aufweisen.

Der Stromverbrauch der Sinteranlage zeigt sich als sehr konstant. Aus diesem Grund werden die beiden Anlagen meist auch gemeinsam gemessen. Der Hochofen unterliegt jedoch größeren Verbrauchsschwankungen, die mitunter prozessbedingte Ursachen haben. Große Einflussfaktoren sind die Unterscheidung zwischen Ein- und Zweihochofenbetrieb und Schwankungen die sich aus der Prozesssteuerung ergeben.

Abbildung 20 zeigt ein typisches Lastprofil der beiden Aggregate Sinteranlage und Hochofen, über einen Zeitraum von 7 Tagen. Man kann klar den sehr konstanten Bezug und verschiedene Energieniveaus erkennen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage.

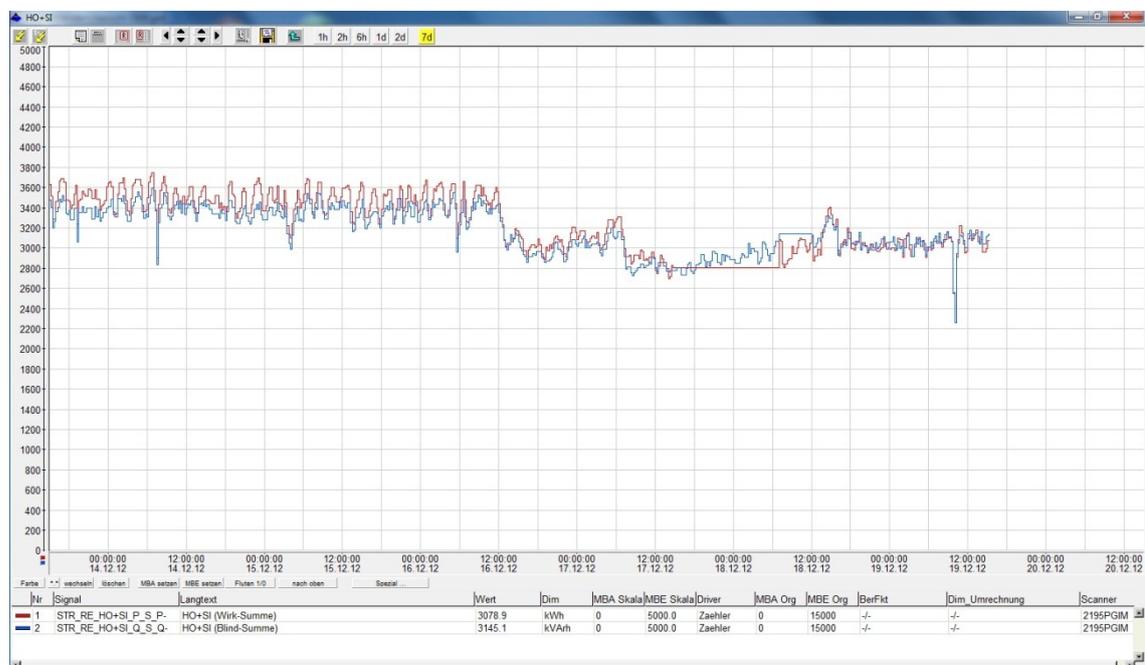


Abbildung 20 - Typisches Lastprofil von Sinteranlage + Hochofen über 7 Tage

## Stahlwerk

Das Stahlwerk zeigt ein ähnliches Durchschnittslastprofil wie das Kombinationslastprofil von Hochofen und Sinteranlage, wenngleich es etwas weniger konstanten Bezug und wesentlich größere Momentanschwankungen aufweist. Das bedeutet, dass die gemessenen Einzelbezugswerte des Stahlwerks eine größere Standardabweichung aufweisen als die des Hochofens.

Der größte Einflussfaktor beim Stahlwerk ist die Unterscheidung zwischen Ein- und Mehrtiegelbetrieb.

Abbildung 21 zeigt ein typisches Lastprofil des Stahlwerks über einen Zeitraum von 7 Tagen. Hier zeigt die Ordinate ebenfalls Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die Abszisse Tage. Man kann hier klar die größere Schwankungsbreite der Messwerte gegenüber denen des Hochofens erkennen. Im Mittel zeigt sich der Bezug dennoch sehr konstant.

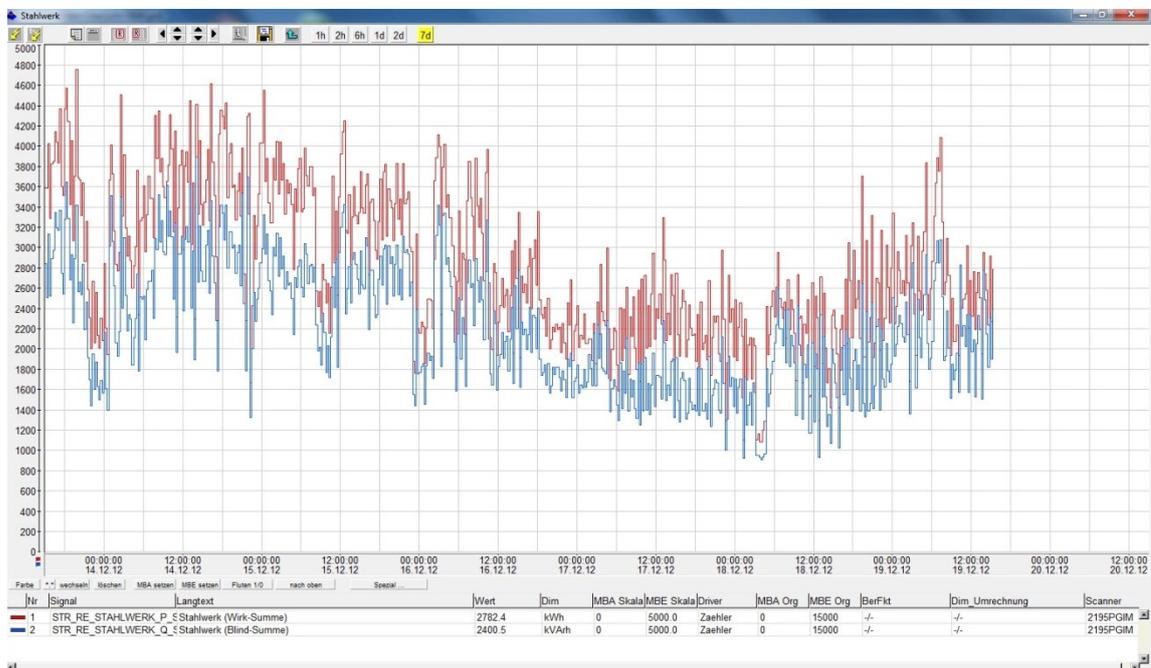


Abbildung 21 - Typisches Lastprofil des Stahlwerks über 7 Tage

## Drahtwalzwerk

Das Lastprofil wird von einigen Besonderheiten gekennzeichnet. Zum einen wird nur zweischichtig produziert, manchmal aber auch ein bis zwei Stunden über die zweite Schicht des Tages hinaus, jedoch nie länger als bis Mitternacht. Zum anderen herrscht am Sonntag generell Produktionsstillstand.

Wenn das Werk in Betrieb ist, sind die Haupteinflussfaktoren auf den Bezug die erzeugte Tonnage und die Dimension des erzeugten Produktes. Mehr zu diesem Thema folgt in Kapitel 3.3.

Abbildung 22 zeigt ein typisches Lastprofil des Drahtwerks über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage. Man kann klar die Produktionsstillstände in der Nachtschicht und an den Wochenenden erkennen. Der Bezug während dieser Stillstandzeiten ist sehr konstant, in Produktionszeiten eher wechselhaft.

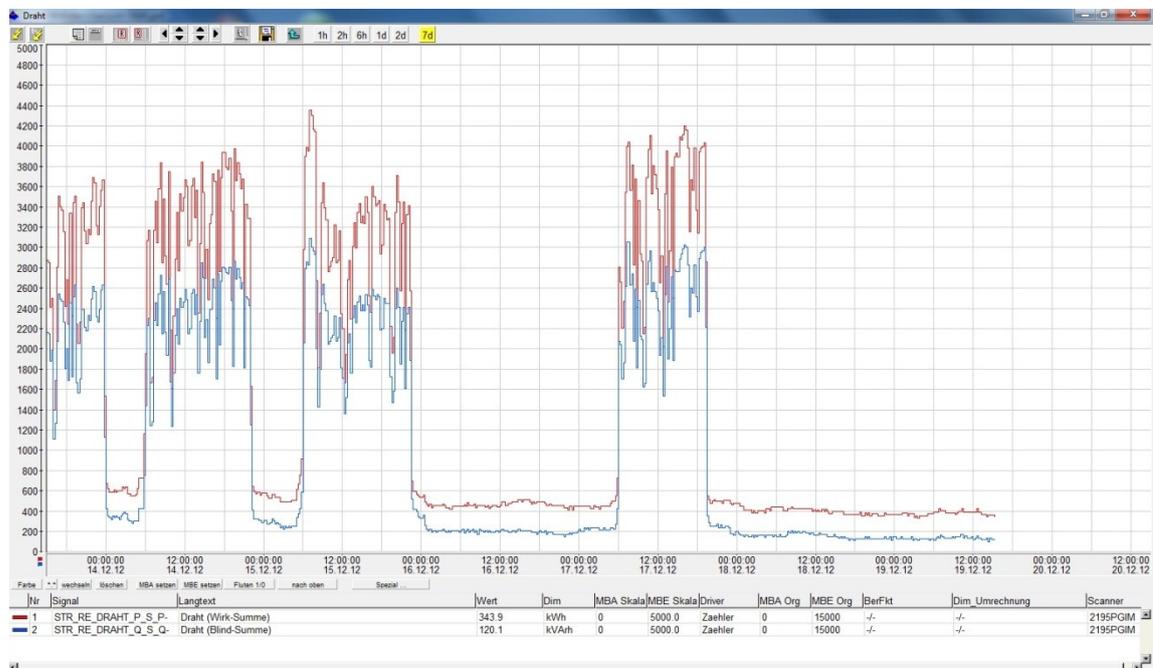


Abbildung 22 - Typisches Lastprofil des Drahtwerks über 7 Tage

## Schienenwalzwerk

Das Lastprofil des Schienenwalzwerks weist ebenfalls eine Reihe von speziellen Charakteristika auf. Die Schwankungsbreite der Messwerte im Betrieb ist sehr groß, die durchschnittlichen Bezüge pro Schicht jedoch sehr konstant. Beim Walzen der Schienen werden große Mengen elektrischer Energie benötigt. Aus prozessbedingten Gründen liefert das Werk aber auch immer wieder Energie zurück ins Netz da die Antriebe beim Auslaufen wie Generatoren funktionieren. Besonders aus diesem Grund fluktuiert der Stromverbrauch sehr stark. Diese Schwankungen folgen auch keinem Muster und sind statistisch wie analytisch nicht vorhersagbar. Am Wochenende und während einer mehrwöchigen Zeit im Sommer wird nicht produziert.

Abbildung 23 zeigt ein typisches Lastprofil des Schienenwalzwerks über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage. Die Abbildung zeigt einen Wochenendstillstand sowie den stark schwankenden Bezug der Produktionsstätte. Man kann aus dem Lastprofil jedoch gleich ableiten, dass die Schwankungen nur von recht kurzer Dauer sind und dass der Bezug pro Tag im Mittel sehr konstant ist.

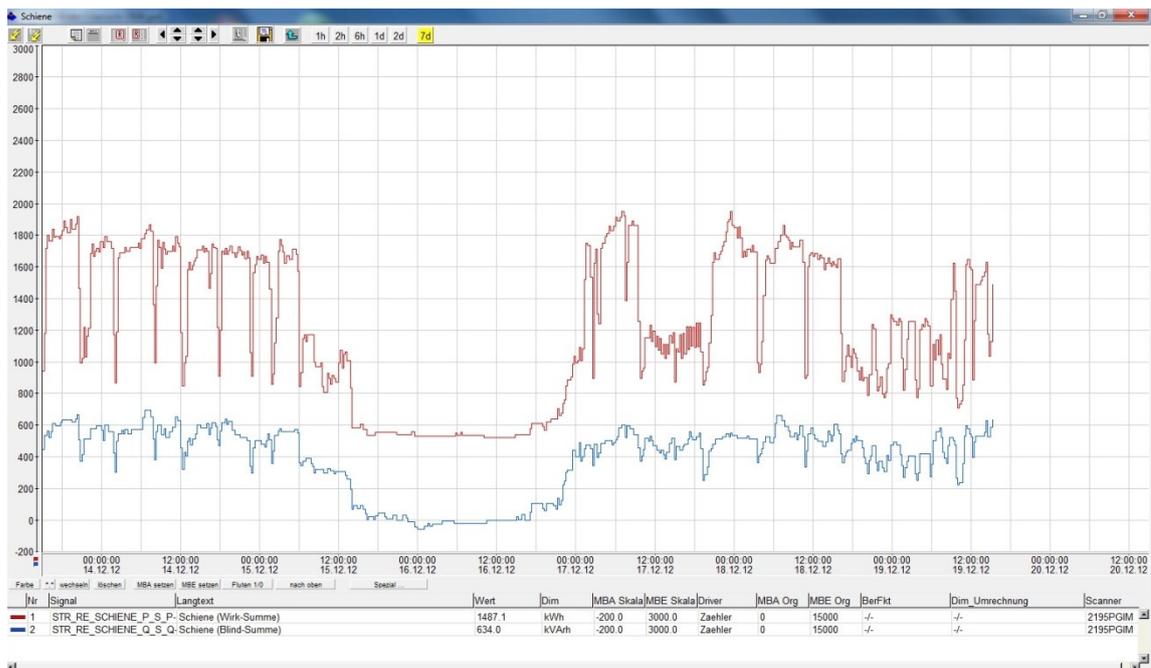


Abbildung 23 - Typisches Lastprofil des Schienenwalzwerks über 7 Tage

## Air Liquide

Das Lastprofil der Anlagen der Firma Air Liquide am Standort Donawitz zeichnet sich durch sehr konstanten Bezug und einfache Betriebszustände aus. Es gibt zwei Anlagen, die Combo und die Sigma Anlage. Somit gibt es in der Regel nur 3 Betriebszustände. Entweder laufen beide Anlage oder nur eine der beiden.

Abbildung 24 zeigt ein typisches Lastprofil der Anlagen der Firma Air Liquide über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage. Man sieht den ausgesprochen konstanten Verbrauch bei Ein- und Zweianlagenbetrieb.

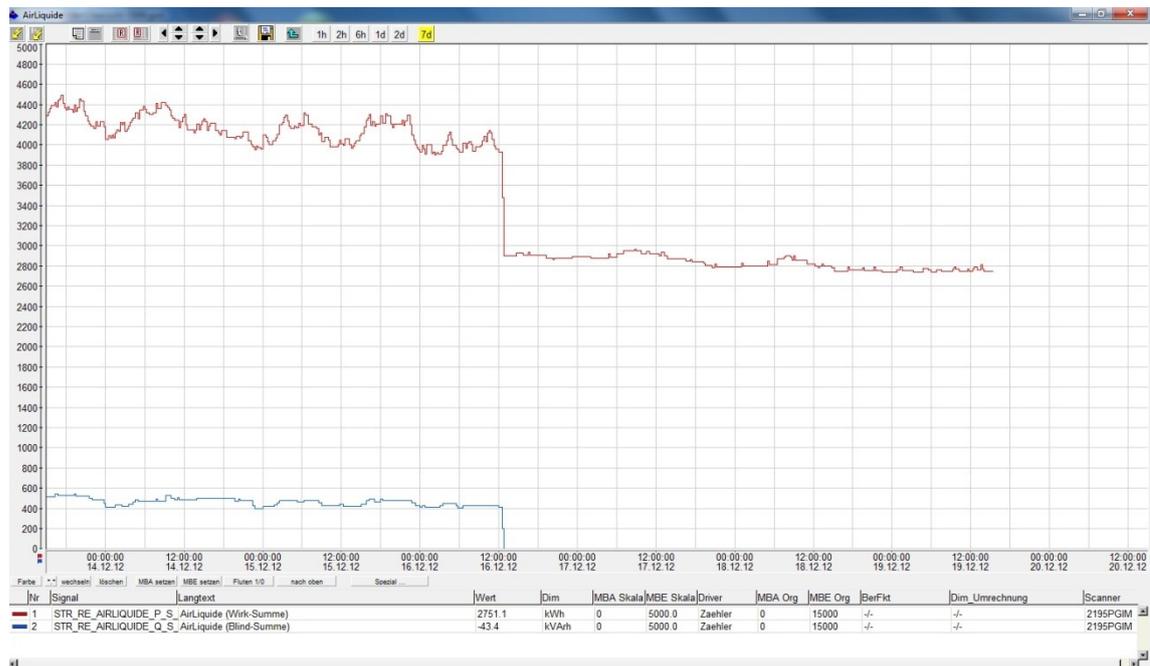


Abbildung 24 - Typisches Lastprofil der Anlagen der Fremdfirma Air Liquide über 7 Tage

## Eigenerzeugung

Die Eigenerzeugung von elektrischem Strom am Standort Donawitz wird in diesem Kapitel ebenfalls aufgeführt, da sie in diesem Sinne als negativer Bezug zu sehen ist und auch Haupteinflusträger auf den Gesamtbezug des Standortes ist. Sie ist geprägt von einer Reihe von Einflussfaktoren welche in weiterer Folge auch die Prognosefähigkeit erschweren. Haupteinflussfaktor ist natürlich der konstante Zustrom an Hüttengasen, aber auch deren Heizwert, momentaner Betriebspunkt sowie Umweltfaktoren.

Vielfach muss prozessbedingt Gas abgefackelt werden oder wenn der Heizwert einen gewissen Schwellwert unterschreitet sogar Erdgas im Kessel gesetzt werden. Dies ist oft nicht vorhersagbar und beeinflusst daher die Forecastgenauigkeit erheblich. Auch zu bedenken ist, dass bei bestimmten Außentemperaturbereichen das Kraftwerk, insbesondere Block 01, eine gewisse Mindestleistung fahren muss um einen sicheren Betrieb gewährleisten zu können. Des Weiteren muss der Prozess- und Sattdampfverbrauch am Standort bedacht werden, sowie die Menge an Energie, welche über die Stadtwärmeversorgung der Stadt Leoben ausgekoppelt wird.

Abbildung 25 zeigt ein typisches Lastprofil der Eigenerzeugung des Kraftwerks am Standort Donawitz über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage.

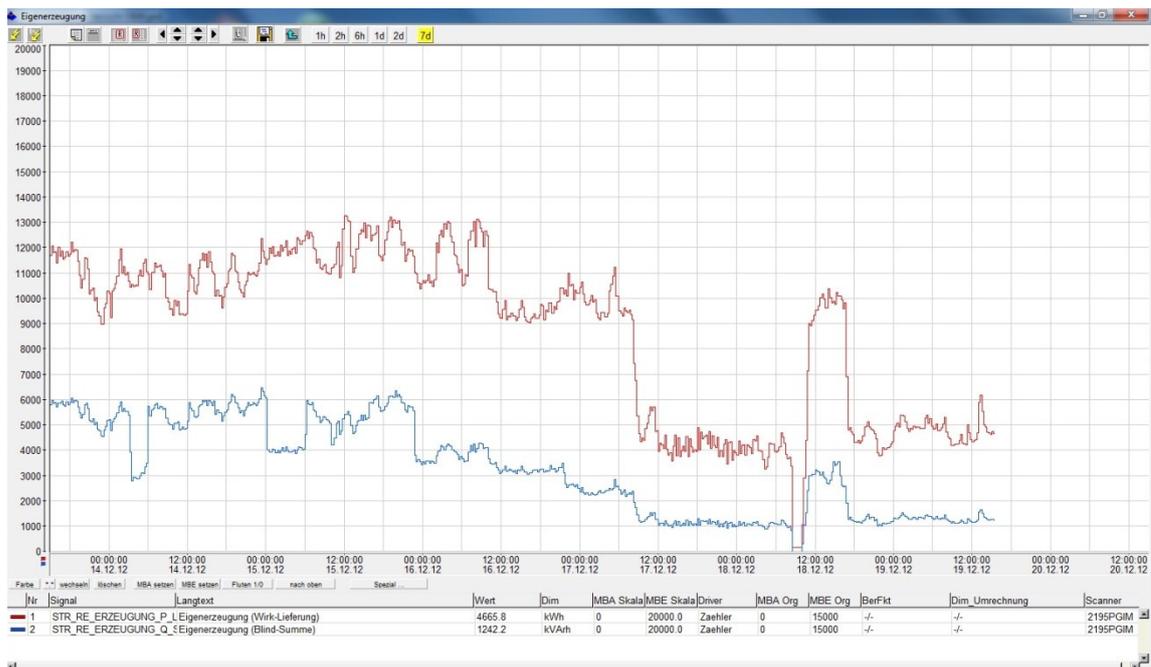


Abbildung 25 - Typisches Lastprofil der Eigenerzeugung durch das Kraftwerk am Standort Donawitz über 7 Tage

## Bereich Energie und Medien und Sonstige

Zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit wurde der Bereich Energie und Medien nur unvollständig gemessen, das heißt es gab für eine Reihe von Verbrauchern keine fernauslesbaren Zähler und somit auch keine Erfassung im PGIM System. Im Prinzip wird im Moment der Bezug des Stahlwerks so bestimmt, dass nach Abzug aller Divisionen vom Gesamtbezug der Bezug des Stahlwerks inklusive aller Leistungen der Abteilung Energie und Medien und aller angeschlossenen Kleinkunden am Standort übrig bleibt. Dieses Vorgehen ist damit zu begründen, da die Abteilung Energie und Medien dem Stahlwerk organisatorisch zugeordnet ist.

Der größte Verbraucher der Abteilung Energie und Medien wird jedoch separat gemessen und kann somit auch im PGIM ausgelesen werden. Es handelt sich hierbei um die E-Gebläse für den Hochofen. Einflussfaktoren für den Verbrauch sind hier allenfalls die Anzahl an Gebläsen in Betrieb und eventuelle Testbetriebe. Der Bezug bleibt über Tage konstant und kann leicht eingeplant werden.

Abbildung 26 zeigt ein typisches Lastprofil der E-Gebläse des Hochofens über einen Zeitraum von 7 Tagen. Die Y-Achse zeigt Kilowattstunden pro fünfzehn Minuten und die X-Achse Tage.

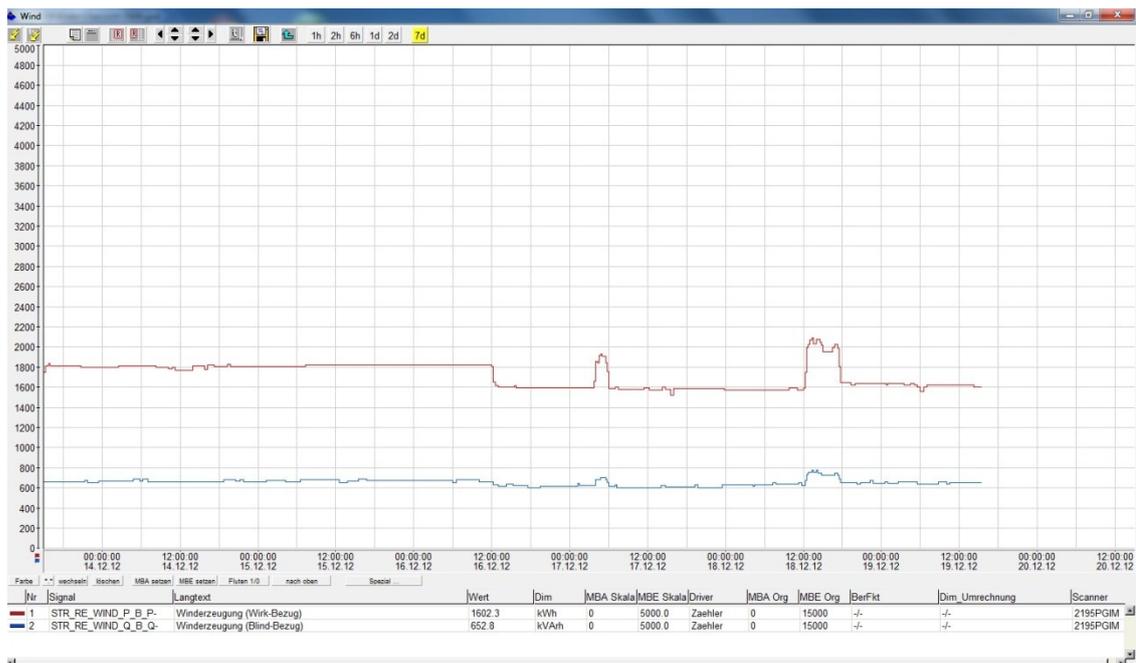


Abbildung 26 - Typisches Lastprofil der E-Gebläse über 7 Tage

## 3.2 Erhebung der zur Verfügung stehenden Daten

In diesem Kapitel werden die zur Verfügung stehenden Daten für die Durchführung von Analysen und in weiterer Folge für die Modellerstellung beschrieben. Alle Divisionen am Standort werden wie eigenständige Betriebe geführt und manche Bereiche sind für mehrere Betriebe gleichzeitig zuständig. Dazu kommt, dass auch eine Fremdfirma am Standort ansässig ist. Aus diesen Gründen, ist die Komplexität sehr hoch und die Qualität der verfügbaren und kommunizierten Informationen meist niedrig.

### 3.2.1 Daten für den Strombezug

Bezugsdaten der jeweiligen Bereiche am Standort Donawitz werden über das PGIM System, welches in Kapitel 1.4 genauer beschrieben wurde, gespeichert, ausgelesen und ausgewertet.

Mitarbeiter der Abteilung Energie und Medien entwickelten ein Microsoft Excel Tool zur einfachen Abfrage und Übersicht über die einzelnen Bereiche. Es nutzt die vorprogrammierten Interfaces des Systems und liest die gewünschten Daten automatisch auf Monatsbasis aus. Der große Vorteil liegt hierbei darin, dass alle relevanten Zähler bereits vorab erfasst, korrekt konsolidiert und in einer sauberen Spaltendarstellung aufbereitet werden. Im Rahmen der Arbeit war dies eine enorme Hilfe, zumal die Netzpläne extrem komplex sein können und nicht immer eindeutig sind, welcher Zähler welchem Bereich zuzuordnen ist. Ohne die großartige Arbeit die in dieses Tool einfluss, wäre eine umfassende Analyse der Bezugsstruktur niemals in der angesetzten Zeit möglich gewesen.

Die Datei ist betriebsintern unter dem Namen TE-Energiebilanz bekannt und die Daten werden nach den fernauslesbaren Stromzählern gegliedert. Des Weiteren werden auf manchen Tabellenblättern diese Zähler aggregiert um näherungsweise Lastprofile für die einzelnen Betriebe am Standort errechnen zu können. Für diese Arbeit von Bedeutung waren in erster Linie die Viertelstunden-Daten der einzelnen Stromzähler sowie die aggregierten Lastprofile. Abbildung 27 zeigt das erste Tabellenblatt des TE-Energiebilanz-Tools.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'TE - Energie und Medien Tagesbericht - Strom'. The interface includes a ribbon with tabs for 'Erzeugung [MWh]', 'Bilanz [kWh]', and 'Verbrauch [kWh]'. The main table displays hourly data for January 1900, with columns for production (17 MW, 11 MW, 6 MW, 76 MW, 25 MW, GT 10, Gesamt) and consumption (Air Liquide, TE Eigenv., HO + SI, Stahl, Draht). The 'Bilanz [kWh]' column shows 0.0 for all hours.

Abbildung 27 - TE-Energiebilanz Tool zur tagesaktuellen Abfrage von Bezugsdaten

### 3.2.2 Produktionsprogramme

Bei den Produktionsdaten wird in dieser Arbeit zwischen historischen Daten und Plandaten unterschieden. Den Daten aus allen Bereichen des Standorts Donawitz ist gemein, dass sowohl die PLAN- als auch IST-Daten im günstigsten Fall nur auf Schichtbasis zu Verfügung stehen. Dies steht in starkem Kontrast zu den gemessenen Bezügen auf Viertelstundenbasis gemessen werden sowie den Fahrplänen die ebenfalls mit einer Auflösung von fünfzehn Minuten-Abschnitten erstellt werden müssen.

Des Weiteren werden in dieser Arbeit im Allgemeinen auch nur diejenigen der zur Verfügung stehenden Daten betrachtet, welche auch potentiellen Einfluss auf den Strombezug der einzelnen Betriebe haben.

### Hochofen und Sinteranlage

Da die Sinteranlage wie in Kapitel 3.1 beschrieben mit sehr konstantem Bezug läuft, ist sie in dieser Betrachtung von geringer Bedeutung. Eine genauere Diskussion dieses Themas folgt in Kapitel 3.3.

#### IST-DATEN:

Historische Daten für die beiden Hochöfen sind im Microsoft Excel Format auf Tagesproduktionsbasis in Tonnen [to] pro Hochofen verfügbar. Abbildung 28 zeigt das Format der zur Verfügung stehenden Daten.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

	A	B	C	D	E	F	G
3492	19.03.2012	2 586	1 856				
3493	20.03.2012	2 284	1 828				
3494	21.03.2012	2 149	1 839				
3495	22.03.2012	2 396	1 900				
3496	23.03.2012	2 251	1 835				
3497	24.03.2012	2 362	1 812				
3498	25.03.2012	2 350	2 074				
3499	26.03.2012	2 444	1 847				
3500	27.03.2012	2 153	1 742				
3501	28.03.2012	2 497	2 049				
3502	29.03.2012	2 333	1 896				
3503	30.03.2012	2 331	1 852				
3504	31.03.2012	2 459	2 124				
3505	01.04.2012	2 384	1 947				
3506	02.04.2012	2 480	1 939				
3507	03.04.2012	2 144	1 888				
3508	04.04.2012	1 693	1 839				
3509	05.04.2012	2 380	319				
3510	06.04.2012	2 424	1 718				
3511	07.04.2012	2 309	1 174				
3512	08.04.2012	2 120	1 645				
3513	09.04.2012	2 485	1 890				
3514	10.04.2012	2 128	1 679				
3515	11.04.2012	2 811	1 746				
3516	12.04.2012	2 078	1 740				
3517	13.04.2012	2 441	1 491				
3518	14.04.2012	2 661	1 771				
3519	15.04.2012	2 214	1 652				
3520	16.04.2012	2 536	1 768				
3521	17.04.2012	2 596	1 652				
3522	18.04.2012	2 241	1 178				
3523	19.04.2012	2 445	2 029				
3524	20.04.2012	2 349	1 808				
3525	21.04.2012	2 287	1 957				
3526	22.04.2012	2 347	1 839				
3527	23.04.2012	2 407	1 865				

Abbildung 28 - Ist-Daten der Roheisenproduktion der beiden Hochöfen

#### PLAN-DATEN:

Plandaten werden tagesaktuell im Microsoft Excel Format verschickt und sind auf Schichtbasis heruntergebrochen. Die Produktion beider Hochöfen wird jedoch nicht gesondert geplant, sondern zu einer Gesamtausbringung konsolidiert. Die Übermittlung erfolgt per Email am Beginn des Arbeitstages und wird an die betreffenden Stellen versendet.

Die Datei ist betriebsintern unter dem Namen „APRODUKT“ bekannt enthält noch eine Reihe anderer Informationen wie man in Abbildung 29 erkennen kann. Für die die Produktion des Hochofens ist nur die rot markierte Spalte relevant. Die Plandaten sind auch für die kommenden Tage eingetragen, diese können sich jedoch jederzeit ändern und somit sind nur die aktuellen Prognosewerte für den Folgetag als verbindlich zu erachten.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

Produktionsvorschau Stahlwerk  
Maximal 450t in den Topf

Menü	NR	CC 2	CC 3	WW	HZ	CK	SS	Lhg	Aller	Lhg	Bemerkungen	Datum	Sch.	Eng
	1330	11	14			25	357	11	126				1	357
	1330	11	12			23	312	11	137			08.Aug.11	2	312
	1330	11	14			25	377	11	148				2	377
	1330	11	14		J	25	332	0	0	11	VD bei UG		3	332
	1330	11	12		J	23	287	0	0	11	VD bei UG	08.Aug.11	1	287
	1330	11	14			25	352	0	0	11	VD bei UG		4	352
	1330	11	14		J	25	307	11	11				3	307
	1330	11	12		J	23	262	11	22			08.Aug.11	1	262
	1330	11	14			25	327	11	33				4	327
	1330	11	14		J	25	282	11	44				2	282
	1330	11	12		J	23	237	11	55			10.Aug.11	3	237
	1330	11	14			25	302	11	66				1	302
	1330	11	14	4	J	25	267	11	77		KE Start / Ende Gleissperre Draht		2	267
	1330	11	12	4	J	23	212	11	88			11.Aug.11	3	212
	1330	11	14	4		25	277	0	88	11	VD bei Ausheizen		1	277
	1330	4	14	4	J	18	232	0	88		Umbau 230 rund		4	232
	1330	11	15	4	J	26	572	14	102		RH CC3	12.Aug.11	2	572
	1330	10	14	4		24	472	14	116		RH CC3		3	472
	1330	11	14	KE		25	482	11	127		RH CC3		4	482
	1330	10	15	15		25	437	10	137			13.Aug.11	2	437
	1330	11	14	14		25	392	0	137				3	392
	1330	4	14	KE		18	347	4	141		Umbau 390x283		4	347
	1330	11	15	15		26	687	11	162			14.Aug.11	2	687
	1330	11	14	14		25	587	0	0	11	VD bei UG		3	587
	1330	11	14	14	J	25	542	0	0	11	VD bei UG		1	542
	1330	11	12	12	J	23	497	0	0	11	VD bei UG	15.Aug.11	4	497
	1330	11	14	14	J	25	562	11	11				2	562
	1330	11	14	14	J	25	517	11	22				4	517
	1330	11	12	12	J	23	472	11	33			16.Aug.11	4	472
	1330	11	14	14	J	25	537	11	44				2	537
	1330	11	14	KE	J	25	492	11	55				3	492
	1330	11	12	12	J	23	447	11	66			17.Aug.11	1	447
	1330	11	14	14	J	25	512	11	77				4	512
	1330	11	14	KE	J	25	467	0	77	11	VD bei Ausheizen		3	467
	1330	11	12	12	J	23	422	11	88	11	VD bei RH CC3	18.Aug.11	1	422
	1330	11	14	14	J	25	487	11	99	11	VD bei RH CC3		4	487
	1330	11	14	14	J	25	442	11	110				2	442
	1330	11	12	12	J	23	397	11	121			18.Aug.11	3	397
	1330	11	14	14	J	25	462	11	132				1	462
	1330	11	14	4		25	417	11	143				2	417

Abbildung 29 - Plandaten für die beiden Hochöfen

## Stahlwerk

### IST-DATEN:

Die Ist-Daten für das Stahlwerk liegen im Gegensatz zu den beiden Hochöfen auf Schichtbasis vor. Zwischen den einzelnen Tiegeln wird nicht unterschieden, die angegebene Menge ist also die gesamte Schichtproduktion an Rohstahl mit der Einheit Kilogramm pro Schicht.

Die Daten sind im Microsoft Excel Format verfügbar und sind wie in Abbildung 30 dargestellt aufbereitet.

	PRODUKTIONSTAG	S	ERZEUGUNG
1	20110501	F	1874195
2	20110501	M	1509783
3	20110501	N	1381239
4	20110502	F	1582587
5	20110502	M	1633994
6	20110502	N	1689612
7	20110503	F	1464822
8	20110503	M	1464983
9	20110503	N	1575149
10	20110504	F	1416796
11	20110504	M	1664247
12	20110504	N	1882953
13	20110505	F	1713128
14	20110505	M	1311517
15	20110505	N	1658577
16	20110506	F	1620942
17	20110506	M	1820745
18	20110506	N	1828211
19	20110507	F	1764013
20	20110507	M	1669612
21	20110507	N	1199651
22	20110508	F	1636894
23	20110508	M	1697459
24	20110508	N	1716378
25	20110509	F	1881869
26	20110509	M	1520751
27	20110509	N	1547820
28	20110510	F	1779127
29	20110510	M	1552655
30	20110510	N	1603860
31	20110511	F	1574184
32	20110511	M	1470209
33	20110511	N	1518688
34	20110512	F	1525694
35	20110512	M	1754323
36			

Abbildung 30 - Ist-Daten der Stahlproduktion

#### PLAN-DATEN:

Geplant wird die Rohstahlproduktion auf Schichtbasis und in der Einheit Chargen. Spätestens hier kann man eine Diskrepanz zu den Plandaten erkennen, die Einheiten stimmen nicht überein und müssen somit zur weiteren Bearbeitung mit einem Schlüssel konvertiert werden.

Die Daten erhält man gleich wie beim Hochofen tagesaktuell aus der Datei „APRODUKT“. In Abbildung 31 sieht man die für das Stahlwerk relevante Spalte in rot markiert. Sie zeigt die geplanten Chargen ebenfalls für die kommenden Tage. Auch hier, gleich wie beim Hochofen, sind nur die Plandaten für die nahe Zukunft (maximal 2 Tage) als zuverlässige Angabe zu sehen.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'APRODUKT0708.XLS'. The main data table is a production schedule with the following structure:

Tage	Wagen	CC2	CC3	VV	H2	Stu		RE				Bemerkungen	Datum	Sch.	Eng	
						CK	SP	Lhg	RH	UG	VD					Alle
So	1330	11	14			25	357	11	126						1	357
	1330	11	12			23	312	11	137				07.Aug.11	2	312	
	1330	11	14			25	377	11	148						2	377
Mo	1330	11	12		J	25	332	0	0	11			VD bei UG		3	332
	1330	11	14		J	23	287	0	0	11			VD bei UG	08.Aug.11	1	287
	1330	11	14		J	25	352	0	0	11			VD bei UG		4	352
	1330	11	14		J	25	307	11	11						3	307
Di	1330	11	12		J	23	262	11	22					08.Aug.11	1	262
	1330	11	14		J	25	327	11	33						4	327
	1330	11	14		J	25	282	11	44						2	282
Mi	1330	11	12		J	23	237	11	55					10.Aug.11	3	237
	1330	11	14		J	25	302	11	66						1	302
	1330	11	14	4	J	25	267	11	77				KE Start / Ende Gleisperre Draht		2	267
Do	1330	11	12	4	J	23	212	11	88					11.Aug.11	3	212
	1330	11	14	4	J	25	277	0	88	11			VD bei Ausheizen		1	277
	1330	4	14	4	J	18	232	0	88				Umbau 230 rund		4	232
Fr	1330	11	15	4	J	26	572	14	102					12.Aug.11	2	572
	1330	10	14	4	J	24	472	14	116				RH CC3		3	472
	1330	11	14	KE		25	482	11	127				RH CC3		4	482
Sa	1330	10	15	15		25	437	10	137					13.Aug.11	2	437
	1330	11	14	14		25	392	0	137						3	392
	1330	4	14	KE		18	347	4	141				Umbau 390x283		4	347
So	1330	11	15	15		26	687	11	162					14.Aug.11	2	687
	1330	11	14	14		25	587	0	0	11			VD bei UG		3	587
	1330	11	14	14	J	25	542	0	0	11			VD bei UG		1	542
Mo	1330	11	12	12	J	23	497	0	0	11			VD bei UG	15.Aug.11	4	497
	1330	11	14	14	J	25	562	11	11						2	562
	1330	11	14	14	J	25	517	11	22						3	517
Di	1330	11	12	12	J	23	472	11	33					16.Aug.11	4	472
	1330	11	14	14	J	25	537	11	44						2	537
	1330	11	14	KE	J	25	492	11	55						3	492
Mi	1330	11	12	12	J	23	447	11	66					17.Aug.11	1	447
	1330	11	14	14	J	25	512	11	77						4	512
	1330	11	14	KE	J	25	467	0	77	11			VD bei Ausheizen		3	467
Do	1330	11	12	12	J	23	422	11	88	11			VD bei RH CC3	18.Aug.11	1	422
	1330	11	14	14	J	25	487	11	99	11			VD bei RH CC3		4	487
	1330	11	14	14	J	25	442	11	110						2	442
Fr	1330	11	12	12	J	23	397	11	121					18.Aug.11	3	397
	1330	11	14	14	J	25	462	11	132						1	462
	1330	11	14	4	J	25	417	11	143						2	417

Abbildung 31 - Geplante Chargen der Rohstahlproduktion des Stahlwerks

## Drahtwerk

### IST-DATEN:

Zur Draht Produktion sind eine Reihe von Daten vorhanden. Zum einen gibt es Aufzeichnungen über die Schichtproduktionsleistung in Tonnen und dazu noch die Dimensionen die in dieser Schicht gewalzt wurden. Mit dem Begriff Dimension wird werksintern der Durchmesser des gewalzten Drahtes bezeichnet. Wenn mehrere Dimensionen während einer Schicht gewalzt wurden gibt es keine weitere Aufschlüsselung. Man weiß somit oft nicht wie viele Tonnen von einer bestimmten Drahtstärke hergestellt wurden. Mehr dazu folgt in Kapitel 3.3.

Abbildung 32 zeigt exemplarisch in welcher Form die Ist-Produktionsdaten des Drahtwerks verfügbar sind. Die Spalte „ERZEUGUNG\_1“ steht für die erzeugte Tonnage in der Frühschicht und „DIM\_1“ für die gewalzte Dimension in diesem Zeitraum. Diesem Schema folgend stehen „ERZEUGUNG\_2“ und „DIM\_2“ für die Nachmittagschicht und „ERZEUGUNG\_3“ zusammen mit „DIM\_3“ bilden die Nachtschicht. Wie unschwer aus der Abbildung zu erkennen ist und auch schon in Kapitel 3.1 beschrieben wurde, wird in der Nachtschicht immer nur die noch ausstehende Produktion aus der Nachmittagschicht zu Ende produziert.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

DATUM	ERZEUGUNG_1	DIM_1	ERZEUGUNG_2	DIM_2	ERZEUGUNG_3	DIM_3	ERZEUGUNG_GESAMT
01.06.2011	569	12	832	12 15			1401
02.06.2011					4		4
03.06.2011	1013	15 15.5	1039	15.5	3		2054
04.06.2011	541	5.5	643	5.5			1184
05.06.2011							
06.06.2011	349	5 5.5	614	5.5	9		971
07.06.2011	580	5.5	638	5.5	4		1223
08.06.2011	545	6.5	723	6.5 6	142		1410
09.06.2011	713	6 R 6 11.5	820	11.5 10	6		1539
10.06.2011	887	10 8.5	974	8.5	410		2271
11.06.2011	813	8.5 7 R 7	953	R 7 R 10			1766
12.06.2011							
13.06.2011							
14.06.2011							
15.06.2011	709	10.5	960	10.5 7.5	200		1868
16.06.2011	707	7.5 9	924	9 R 9	24		1656
17.06.2011	1008	11	236	11 9.5	154		1397
18.06.2011	895	9.5 8	985	8 R 8	3		1882
19.06.2011	1052	18 17.5	858	17.5 18.5 19			1910
20.06.2011					3		3
21.06.2011	895	19	589	19	372		1856
22.06.2011	383	20 21	814	21 21.5 22	3		1200
23.06.2011	843	22 23	519	23 19			1362
24.06.2011					6		6
25.06.2011	1046	17 16.5	969	16.5 14	6		2021
26.06.2011	938	14 14.5	940	14.5 13			1878
27.06.2011							
28.06.2011	975	13	1002	13 13.5	19		1996
29.06.2011	1043	16	986	16 15.5	24		2053
30.06.2011	829	15.5 15	971	12.5 12	234		2033
31.06.2011	940	12	937	12			1877

Abbildung 32 - Ist-Daten der Drahtproduktion

#### PLAN-DATEN:

Die Qualität der Plan-Daten des Drahtwerks unterscheidet sich gravierend von der Qualität der vorhandenen Ist-Daten. Die Daten liegen auf Tagesbasis vor und es ist nicht nachvollziehbar wie viele Tonnen in welcher Schicht produziert werden. Die einzigen anderen Informationen sind die geplanten, zu walzenden Dimensionen. Hinzu kommt, dass das Walzprogramm auch keinen Aufschluss darüber gibt ob die Nachtschicht hinzu gezogen wird oder nicht.

Abbildung 33 zeigt exemplarisch ein Walzprogramm welches täglich im PDF Format verfügbar ist.

Walzprogramm

Sep.11

Datum			
01.09.11	16	12	1947
02.09.11	6	6,5	1517
03.09.11	5,5	5,5	1152
04.09.11			
05.09.11	5	5,5	1152
06.09.11	5,5	5,5	1152
07.09.11	7	7	1684
08.09.11	8,5	8,5	1684
09.09.11	10	10	1684
10.09.11	11,5	11,5	1684
11.09.11	7,5	7,5	1788
12.09.11			
13.09.11	9	10,5	1788
14.09.11	10,5	10,5	1788
15.09.11	8	9,5	1949
16.09.11	9,5	11	1949
17.09.11	23	17,5	1724
18.09.11	23	17,5	1724
19.09.11			
20.09.11	23	17,5	1724
21.09.11	17	13	1825
22.09.11	17	13	1825
23.09.11	16	12	1947
24.09.11	16	12	1947
25.09.11			
26.09.11	16	12	1947
27.09.11	G	G	900
28.09.11	G	G	900
29.09.11	G	G	900
30.09.11	G	G	900
			41181

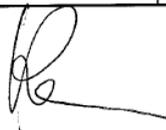
8.8.2011 

Abbildung 33 - geplantes Walzprogramm des Drahtwerks

**Schienenwalzwerk**

IST-DATEN & PLAN-DATEN:

Sowohl Ist-Daten als auch Plan-Daten sind auf Auftragsbasis in Tonnen verfügbar. Die Aufträge pro Tag sind in ihren Tonnagen einzeln aufgeschlüsselt. Es ist jedoch von eher geringer Bedeutung, da man nicht weiß in welcher Reihenfolge und wann genau diese Aufträge gefertigt werden. Somit kann man resümieren, dass die tatsächliche Produktionsmenge sowohl Plan- als auch Ist-Menge nur tageweise und in Tonnen zur Verfügung steht.

In Abbildung 34 wird ein solches Walzprogramm beispielhaft dargestellt.

WALZPROGRAMM UFR + Halbzeug 01. - 30. JUNI 12 02.07.2012 07:07										Erzeugung in t			
KW	TG	WT	Profil	Werkmarke	VBL	S-Tag(t)	S-Pr(t)	Kunde	LMAX	PRAEL	tST	tBT	Bemerkung
22	1	FR	VISA145	SIZ1212			493	vanLager_VAE P., Kl	18000		493		
			VIRA145	SIZ1212			317	vanLager_VAE P., Kl	18000		317		
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		564		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		234		GSL
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		428		RZD
			VIRE5	SIZ122RU		2185		CJSC "RZD" (RU)	100000		441		RZD
			VIRE5	SIZ122RU		532	1466	Traktverket_Nassjo	60000		961	780	alle FLC
			VIRE5	SIZ122RU		961		Traktverket_Nassjo	60000		961		alle FLC
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_VAE P., Kl	60000		289		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_VAE P., Kl	60000		289		
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		332		
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		152		
			VIRE5	SIZ122RU		2622		Traktverket_Nassjo	60000		137		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_VAE P., Kl	60000		686		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLagerauftrag (AT)	60000		217		For Kdnautr. 105
			VIRE5	SIZ122RU			5220	vanLager_VAE P., Kl	18000		156		
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		603		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		266		GSL
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		175		RZD
			VIRE5	SIZ122RU		2697		CJSC "RZD" (RU)	100000		167		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		39		111
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		260		GSL
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		564		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		260		GSL
			VIRE5	SIZ122RU		2732		CJSC "RZD" (RU)	100000		208		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		434		ZK Polen
			VIRE5	SIZ122RU		1962		vanLagerauftrag (AT)	25000		517		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLagerauftrag (AT)	20000		824		ZK Polen
			VIRE5	SIZ122RU		824		Traktverket_Nassjo	60000		289		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLagerauftrag (AT)	20000		402		
			VIRE5	SIZ122RU			402	vanLagerauftrag (AT)	20000		1358		
			VIRE5	SIZ122RU			2417	TSTO (DE)	60000		368		
			VIRE5	SIZ122RU				TSTO (DE)	60000		196		
			VIRE5	SIZ122RU			1947	vaschigne (Versuch)	60000		26		S-Blocke Versuch
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		600		
			VIRE5	SIZ122RU		2068		vanLagerauftrag (AT)	20000		791		ZUKAUF
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		66		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_RCD (DE)	120000		318		
			VIRE5	SIZ122RU			885	SBL Bern (CH)	100000		167		SBP
			VIRE5	SIZ122RU				vanLagerauftrag (AT)	60000		138		Zukauf
			VIRE5	SIZ122RU				Louanne Echallons	60000		373		
			VIRE5	SIZ122RU			969	Louanne Echallons	60000		460		
			VIRE5	SIZ122RU				Welchenerwerk Witten	30000		129		
			VIRE5	SIZ122RU		2165		vanLager_BWG Butz	60300		116		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_BWG Butz	60300		29		
			VIRE5	SIZ122RU				vanLager_BWG Butz	36066		166		
			VIRE5	SIZ122RU			1270	Welchenerwerk Witten	30000		631		
			VIRE5	SIZ122RU				KIHN S.A., Rumianski	52300		542		
			VIRE5	SIZ122RU			876	KIHN S.A., Rumianski	13201		34		
			VIRE5	SIZ122RU		2430		SNCF Sauton (FR)	108000		818		
			VIRE5	SIZ122RU				SNCF Sauton (FR)	108000		221		
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		289		
			VIRE5	SIZ122RU			1546	Traktverket_Nassjo	60000		217		
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		842		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		71		GSL
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		188		GSL
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		842		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		260		GSL
			VIRE5	SIZ122RU		2543		CJSC "RZD" (RU)	100000		13		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		378		666
			VIRE5	SIZ122RU				CJSC "RZD" (RU)	100000		272		RZD
			VIRE5	SIZ122RU				GSL Steel Trade (AT)	25000		78		GSL
			VIRE5	SIZ122RU		726	2542	voestalpine Kardemir	15000		121		207
			VIRE5	SIZ122RU		121		voestalpine Kardemir	15000		126		SO, Start 22:00
			VIRE5	SIZ122RU				vanLagerauftrag (AT)	30000		163		SO, Start 22:00
			VIRE5	SIZ122RU		517	470	vanLagerauftrag (AT)	30000		126		
			VIRE5	SIZ122RU				SNCF Moulins Neuf (F)	33570		126		
			VIRE5	SIZ122RU				SNCF Moulins Neuf (F)	33570		126		
			VIRE5	SIZ122RU				KOZUMI (JP)	7200		264		
			VIRE5	SIZ122RU			610	BRONHES PAH	25000		650		
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		188		
			VIRE5	SIZ122RU				Traktverket_Nassjo	60000		188		
			VIRE5	SIZ122RU				TSTO (DE)	60000		513		
			VIRE5	SIZ122RU				OMB (AT)	30000		51		

Abbildung 34 - Walzprogramm des Schienenwalzwerks

## Air Liquide

Bei der Fremdfirma Air Liquide wird in der Regel nicht geplant, da die Ausbringung weitestgehend konstant ist. Der einzige Einflussfaktor ist, welche der beiden Anlagen in Betrieb ist und diese Information wird der Abteilung Energie und Medien a priori bekannt gegeben.

Somit ist die einzig relevante Information die Air Liquide betreffend, der Betriebszustand welcher meist telefonisch oder textuell übermittelt wird.

## Eigenerzeugung

Die Eigenerzeugung richtet sich, im Rahmen der prozessbedingten Einschränkungen, fast zur Gänze nach der Lieferung von verstromungsfähigen Hüttengasen. Die Planbarkeit dieser richtet sich fast ausschließlich nach der Prognosegenauigkeit der Roheisen-Tonnage des Hochofens sowie der Stahlwerkschergen.

Darüber hinaus haben auch der Erdgaspreis sowie der Strompreis Einfluss auf die Fahrweise im Kraftwerk. Das Setzen von Gas im Kessel ist zumindest kurzfristig planbar und wird in der Abteilung Energie und Medien in Besprechungen beschlossen. Gleichfalls intern ist die Menge an Sattdampf- und Prozessdampfauskopplung auf Tagesbasis bestimmbar und entsprechend einplanbar.

#### **Bereich Energie und Medien und Sonstige**

Da der Bereich Energie und Medien zu einem Teil, wie in Kapitel 3.1 erklärt, momentan nicht messtechnisch erfassbar ist, ist es schwer dessen Bezug verursachungsgerecht zu planen, zumal auch keine Prognosedaten vorliegen.

Ein großer Verbraucher, die E-Gebläse werden jedoch messtechnisch erfasst. Daten über den Einsatz der E-Gebläse sind in indirekter Natur vorhanden, dieser richtet sich nämlich danach ob momentan ein oder zwei Hochöfen in Betrieb sind. Somit gibt es nur zwei Betriebspunkte und die Information hierfür lässt sich aus der „APRODUKT“ Datei gewinnen.

### 3.3 Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge für den Energieverbrauch der Hauptverbraucher

In diesem Abschnitt werden, heruntergebrochen auf die einzelnen Bereiche am Standort Donawitz, mögliche Korrelationen zwischen Ausbringung der Produktion und den Strombezügen besprochen. Bei manchen Werken besteht eine sehr eindeutige Korrelation, bei anderen ist wiederum statistisch keine festzustellen. Die Betrachtungen und Erkenntnisse aus diesem Kapitel sollen die Basis für die Argumentation in Kapitel 3.4 und das Entwickeln von neuen Modellen für die Fahrplanerstellung sein. Allen Berechnungen und Analysen liegen Daten über mehrere Monate aus den Geschäftsjahren 2011 und 2012 zugrunde.

#### Hochofen und Sinteranlage

Die Sinteranlage läuft wie in Kapitel 3.1 beschrieben mit sehr konstantem Bezug und ist in dieser Betrachtung daher nicht besonders relevant, da sie mögliche Korrelationen weder positiv noch negativ beeinflusst.

Die beiden Hochöfen zeigen in Berechnungen klare Zusammenhänge zwischen dem Anfall an Gichtgas und der Ausbringungsmenge. Nur schwache Korrelation herrscht zwischen der Ausbringungsmenge und dem Bezug an elektrischem Strom. Dieses Verhalten stammt daher, dass sich ein Hochofen prozessbedingt sehr organisch verhält und Änderungen in den Umgebungsvariablen oft viele Stunden brauchen um sich zu manifestieren. Der Hochofenprozess lässt sich nicht einfach abstellen wie eine Maschine in einer Produktionslinie. Daher sind starke Schwankungen generell nicht zu erwarten. Trotzdem sieht man im Rahmen von Hochofenabstellungen und stark verringerten Produktionsmengen einen Einbruch im Bezug des Hochofens. Aus diesem Grund muss ein Modell gefunden werden, welches diesem Verhalten Rechnung trägt und es möglichst genau abbildet. Eine genauere Behandlung dieses Themas folgt in Kapitel 3.4.

Die Auflösung der Produktionsdaten liegt wie bereits in Kapitel 3.2.2 erwähnt nur im Tagesbereich, daher ist es nicht möglich Korrelationen von Ist-Produktion und den Lastprofilen im Laufe des Tages zu errechnen. Im Rahmen der Arbeit wurde jedoch versucht Periodizitäten und Muster zu finden um die Prognosegenauigkeit zu erhöhen.

Für diese Untersuchung wurden Daten über den Zeitraum von drei Monaten gesammelt, entsprechend aufbereitet und in einem Diagramm aufgetragen, dessen X-Achse 24 Stunden repräsentiert. Jeder einzelnen Viertelstunde werden somit 91 Werte zugeordnet. Die Idee dahinter ist, dass man eventuelle Trends erkennen kann, wenn sich diese Datenpunkte zu manchen Zeiten signifikant verdichten.

Abbildung 35 zeigt das Ergebnis dieser Darstellung. In diesem Fall sieht man, dass sich der Gutteil aller Werte eigentlich sehr konstant um einen Mittelwert herum bewegt und dass Ausreißer immer nur tageweise auftreten, welche im Falle des langen Betrachtungszeitraumes als eher insignifikant zu bewerten sind.

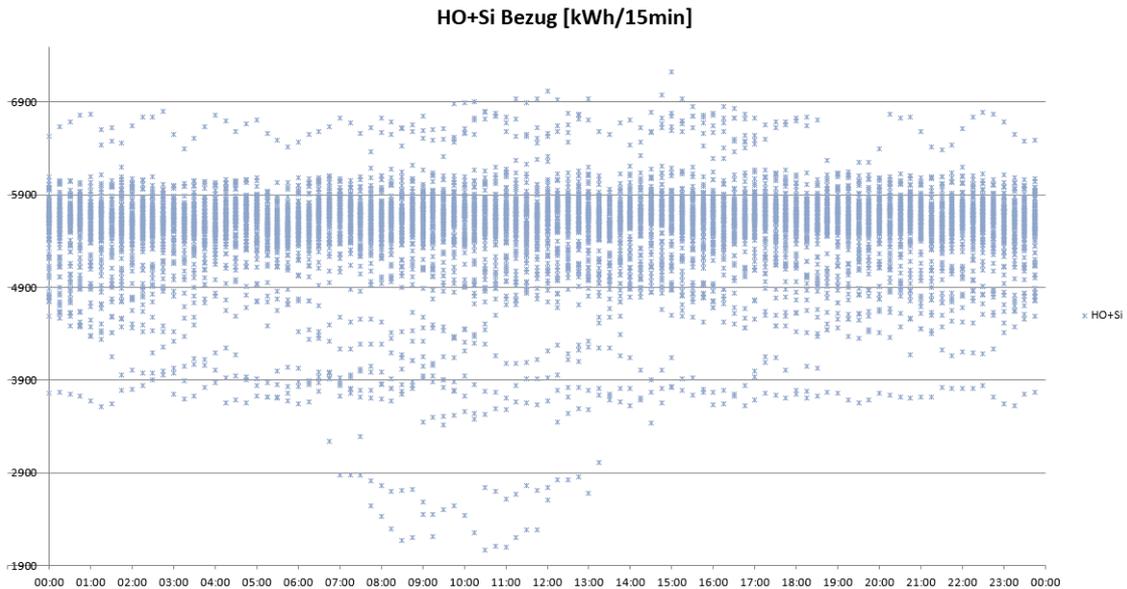


Abbildung 35 - Genauere Tagesbetrachtung des Hochofenbezugs

Somit kann man schließen, dass im Falle des Hochofens und der Sinteranlage keine tagesweise Periodizität besteht. Wenn man die Grafik etwas genauer betrachtet könnte man annehmen, dass eine annähernd Sinuskurven-förmiger Verlauf vorliegt, dies hat sich jedoch in weiteren Untersuchungen als nicht vorhersagbar und unregelmäßig herausgestellt.

## Stahlwerk

Beim Stahlwerk gibt es eine klare Korrelation zwischen der Ausbringungsmenge in Chargen und der daraus resultierenden Menge an Gichtgas. Man kann hier von einem linearen Zusammenhang ausgehen.

Ähnlich wie beim Hochofen ist jedoch auch beim Stahlwerk nicht möglich ausschließlich von den produzierten Chargen auf den Strombezug zu schließen. Auch hier gibt es Faktoren ausgehend vom Herstellungsprozess, welche den Bezug oft auf nicht vorhersagbare Weise beeinflussen. Auch hier wurde nach Regelmäßigkeiten im Tagesverlauf gesucht und das Resultat geht aus Abbildung 36 hervor. Man kann hier die großen, in Kapitel 3.1 beschriebenen, Bezugsschwankungen sehr gut erkennen, da sich die einzelnen Messwerte über weite Bereich nirgends bemerkenswert verdichten. Regelmäßigkeiten in Bezug auf spezielle Uhrzeiten sind jedoch keine festzustellen. Dies spiegelt sich auch im Produktionsprogramm wieder und lässt sich auch produktionsprozessbedingt hinterlegen.



Abbildung 36 - Genauere Tagesbetrachtung des Stahlwerkbezugs

## Drahtwerk

Der Hochofen und das Stahlwerk sind in ihrem Bezugsverhalten recht ähnlich. In starkem Kontrast dazu steht das Stahlwerk, dessen Bezug völlig andere Charakteristika aufweist.

Generell kann man sagen, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Erzeugnismenge sowie auch deren Dimension und dem Strombezug besteht. Zum einen steigt der Strombedarf über eine Schicht im Schnitt mit der Ausbringungsmenge, zum anderen steigt der Bezug auch mit immer kleiner werdenden Dimensionen des gewalzten Drahtes. Das ist damit zu begründen, dass viel mehr Energie aufgewendet werden muss um eine Tonne Draht mit der Stärke fünf Millimeter zu erzeugen als für eine Tonne Draht mit einer Stärke von zehn Millimeter notwendig ist. Der Grund dafür ist, dass um den dünneren Draht herstellen zu können, viel mehr Umformarbeit notwendig ist, als für den Dickeren.

Abbildung 37 zeigt die Korrelation zwischen dem Stromverbrauch bei der Produktion und der Dimension des gewalzten Drahtes. Man kann hier klar den linearen Zusammenhang zwischen der Dimension und dem Stromverbrauch erkennen.

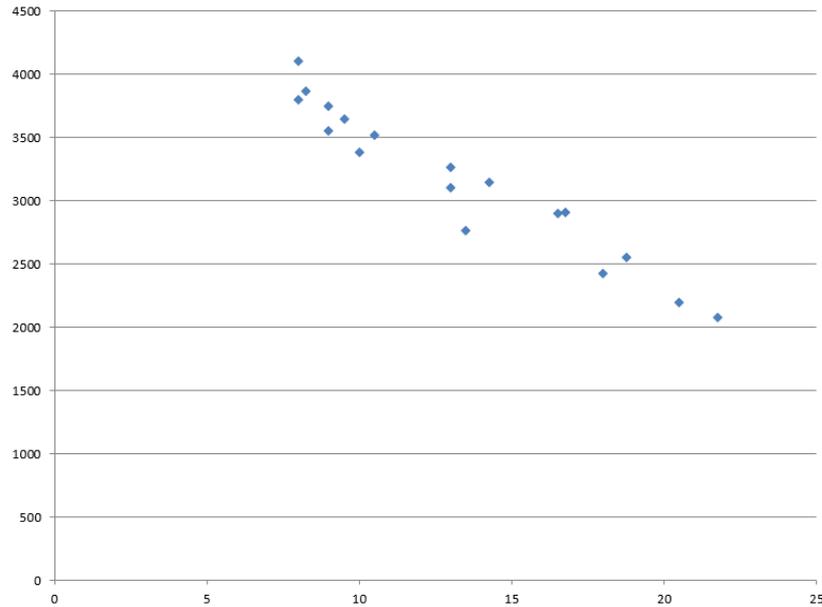


Abbildung 37 - Korrelation zwischen Bezug und Dimension des gewalzten Drahtes

Beim Drahtwerk sind die Stromverbräuche, wie bereits in Kapitel 3.1 angerissen, sehr problematisch vorherzusagen, da man nicht genau bestimmen kann, wie viele Tonnen von einer bestimmten Dimension, in welcher Schicht, zu welcher Zeit gewalzt werden. Die Planung gibt nur Aufschluss darüber, was an diesem Tag am Programm steht, aber lässt keine genaueren Prognosen zu.

Um die Prognosegenauigkeit zu steigern wurde auch hier eine genauere Betrachtung des Tagesablaufes durchgeführt. In Abbildung 38 ist das Ergebnis dieser Auswertung zu sehen. Klar zu erkennen ist der Produktionsbeginn um ungefähr sechs Uhr morgens und der Produktionsstillstand um zehn Uhr abends. Des Weiteren lässt sich aus der Grafik ableiten, dass manchmal auch bis spätestens Mitternacht weiterproduziert wird.

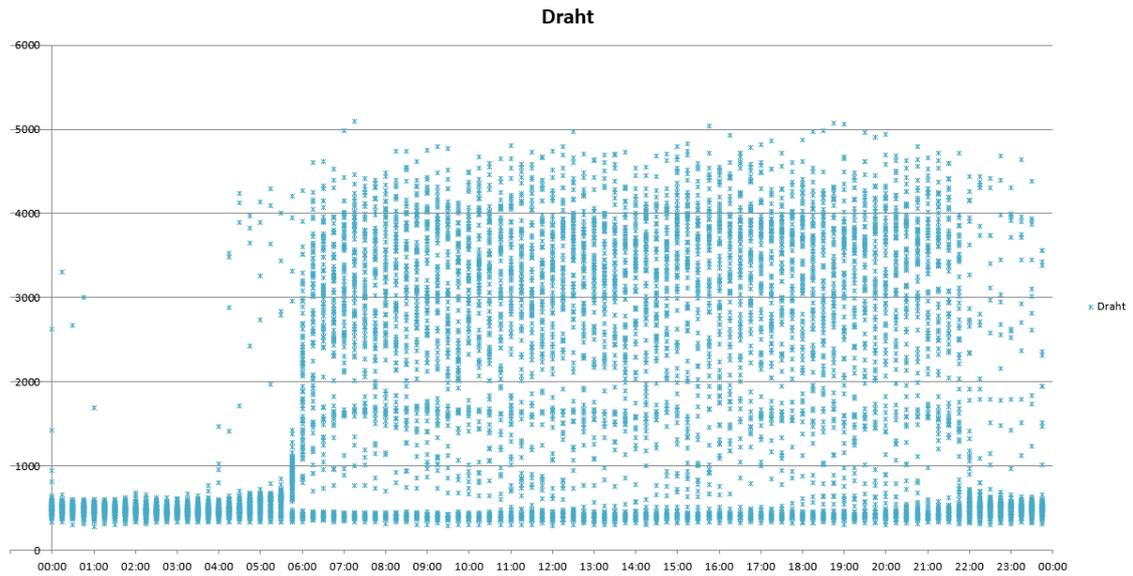


Abbildung 38 - Genauere Tagesbetrachtung des Drahtwerks

### Schienenwalzwerk

Beim Schienenwalzwerk ist die Ausgangssituation ähnlich wie beim Drahtwerk, aber wie bereits in Kapitel 3.1 besprochen, ist der Bezug im Mittel konstanter und unterliegt großen prozessbedingten Schwankungen. Es war weiters auch nicht möglich signifikante Korrelationen zwischen gewalzten Profilformen, Ausbringung und Strombedarf zu finden.

Auch die kumulierte Tagesbetrachtung zeigt keine herausstechenden Periodizitäten. Abbildung 39 zeigt die grafische Aufbereitung dieser Betrachtung. Man kann allenfalls auf zwei Betriebszustände schließen, da sich die Datenpunkte auf zwei Energieniveaus verdichten. Nach genauerer Betrachtung wird klar, dass das untere Niveau Produktionsstillständen und das obere der aktiven Produktion entspricht. Die Datenpunkte zwischen den beiden Niveaus lassen sich mit dem bereits besprochenen Lastprofil gut erklären, sie stammen aus den Schwankungen die durch die Generatorwirkung der Walzantriebe beim Auswerfen der Schienen entstehen.<sup>115</sup>

<sup>115</sup> Gespräch Braun M., (2012)



Abbildung 39 - Genauere Tagesbetrachtung des Schienenwalzwerks

### Air Liquide

Bei den Anlagen der Firma Air Liquide besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Ausbringungsmenge und dem Strombezug. Da es sich hier um kontinuierliche Luftzerlegungsprozesse handelt, ist auch die Ausbringung weitestgehend konstant. Es ist nur zwischen ein- und zwei-Anlagenbetrieb zu unterscheiden.

Die kumulierte Tagesbetrachtung in Abbildung 40 untermauert diese Erkenntnisse.

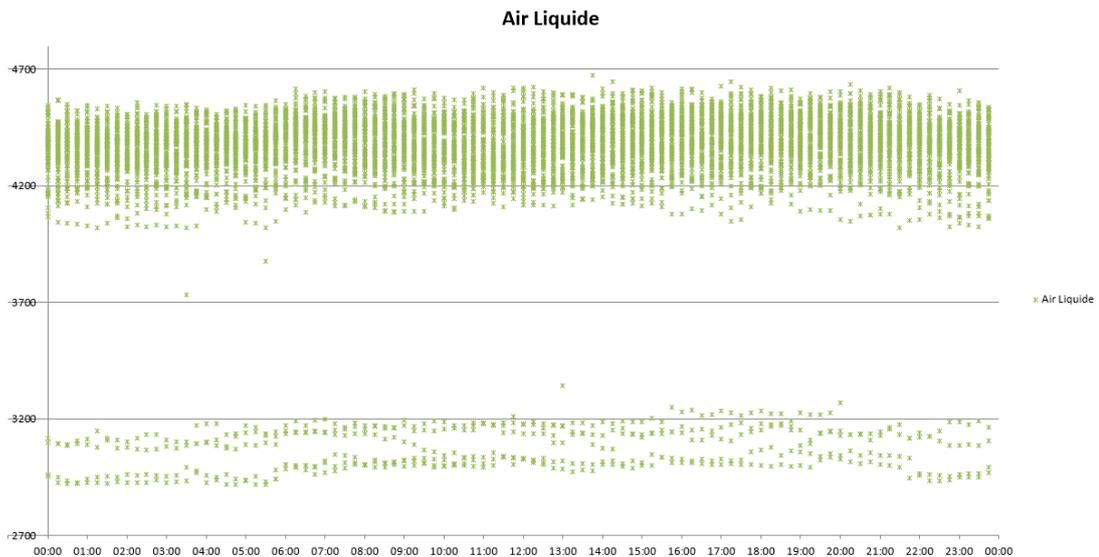


Abbildung 40 - Genauere Tagesbetrachtung der Fremdfirma Air Liquide

### **Eigenerzeugung**

Die Eigenerzeugung ist zu hundert Prozent abhängig von der Menge und vom Heizwert der zugeführten Hüttengase. Alternativ dazu kann noch Erdgas gesetzt werden, dies war jedoch zur Zeit der Entstehung dieser Arbeit nicht wirtschaftlich und konnte deshalb nicht weiter untersucht werden.

Die Erzeugung entspricht außer bei Revisionen und ungeplanten Ausfällen in der Regel immer dem Energiegehalt der Hüttengase multipliziert mit dem Wirkungsgrad des Kraftwerks. Manchmal ist es jedoch nicht wünschenswert die volle zur Verfügung stehende Menge an Gas zu verstromen, da bei zu starken Änderungen im verbrannten Gasvolumen Probleme mit der Regelung auftreten können.

### **Bereich Energie und Medien und Sonstige**

Auf den Bereich Energie und Medien wird hier nicht genauer eingegangen, da durch die fehlenden Zähler keine zuverlässigen Korrelationen gefunden werden können.

Allenfalls der Bezug der E-Gebläse hängt großteils von den beiden Betriebspunkten des Hochofens ab.

### 3.4 Vergleich der Berechnungsmodelle für die Fahrplanerstellung

In diesem Kapitel werden, aufgegliedert nach den ermittelten Hauptverbrauchern, die alten Fahrpläne aufbereitet und mit dem tatsächlichen Bezug verglichen. Im Zuge dessen werden auch die neuen Modelle zur Vorhersage vorgestellt. Die Implementierung dieser Modelle im Tool zur Fahrplanerstellung wird in Kapitel 3.5 beschrieben. Der Betrachtungszeitraum beträgt immer 8 Monate im Geschäftsjahr 2011, vom 1. Jänner bis zum 1. September, um möglichst jeden Betriebszustand abzudecken und die Performance des neuen Modells optimal bewerten zu können. Die Y-Achse der verwendeten Diagramme zeigt immer den Bezug in Megawatt und die X-Achse spiegelt den zeitlichen Verlauf wieder.

Um die Effektivität der Modelle zu bewerten wurden viele Kennzahlen wie Standardabweichung oder mittlerer prozentualer Fehler angedacht. Da man aber die Marktsituation nicht vorhersagen kann, ist die einzig sichere Strategie, die kumulierten Ausgleichenergiemengen so weit wie möglich zu reduzieren, das heißt den Bezug so genau wie möglich vorherzusagen. Somit wird in diesem Kapitel, als einzig aussagekräftige Kennzahl, die Menge an angefallener Ausgleichsenergie zur Messung des Zielerreichungsgrades verwendet.

Wenn dies der Anschaulichkeit dient, werden die Fahrpläne auch grafisch auf einer Zeitachse dargestellt. Im Laufe der Arbeit hat sich aber generell herausgestellt, dass Fahrpläne welche für den Betrachter genauer aussehen als andere oft bei weitem nicht dieselbe Genauigkeit aufweisen können (bis zu 2-3-fache Ausgleichsenergiemengen). Dieser Effekt wurde selbst bei kleinen Zeit-Auflösungen wie einzelnen Tagen noch beobachtet. Deshalb wird ein direkter grafischer Vergleich als nicht sinnvoll erachtet und hätte, nach den im Laufe der Arbeit angestellten Beobachtungen, auch keine wissenschaftliche Aussagekraft.

Um die Eignung verschiedener Methoden und Strategien der Fahrplanerstellung für große Testzeiträume bewerten zu können, wurde eine Simulationsumgebung programmiert, die in der Lage ist die tägliche Fahrplanerstellung über lange Zeiträume zu simulieren. Diese Umgebung hat es ermöglicht eine Vielzahl von veränderlichen Parametern und Berechnungsmethoden in akzeptablen Zeiträumen zu testen und automatisch auch grafisch darzustellen. Die Programmierung erfolgte zur Gänze in Microsoft Excel unter Verwendung von Visual Basic Code und eingebauten Excel Funktionen. Im Rahmen der Fahrplansimulationen wurde bald deutlich, dass komplizierte Formeln und Modelle Laufzeitprobleme in der Excel-Umgebung darstellen und sich somit nicht zur täglichen Anwendung eignen. Alle in diesem Kapitel vorgestellten Berechnungsmodelle wurden in dieser Simulationsumgebung über lange Zeiträume getestet und erwiesen sich als effizient und robust genug um dem täglichen Einsatz gewachsen zu sein. Alle gezeigten Grafiken wurden ebenfalls mit dieser Umgebung erstellt.

#### Hochofen und Sinteranlage

Beim bisherigen Fahrplan für Hochofen und Sinteranlage wurde in der Regel immer der gleiche Wert für den Bezug bei Vollproduktion angenommen und Hochofenabstellungen wurden mit einem reduzierten Wert berücksichtigt. Abbildung 41 zeigt den bisherigen Fahrplan und dessen Abweichung vom tatsächlichen Bezug. Man sieht, dass die Fahrplanabweichungen bei teilweise über 5 Megawatt liegen und auch die Abstellungen oft nicht optimal eingeplant werden.

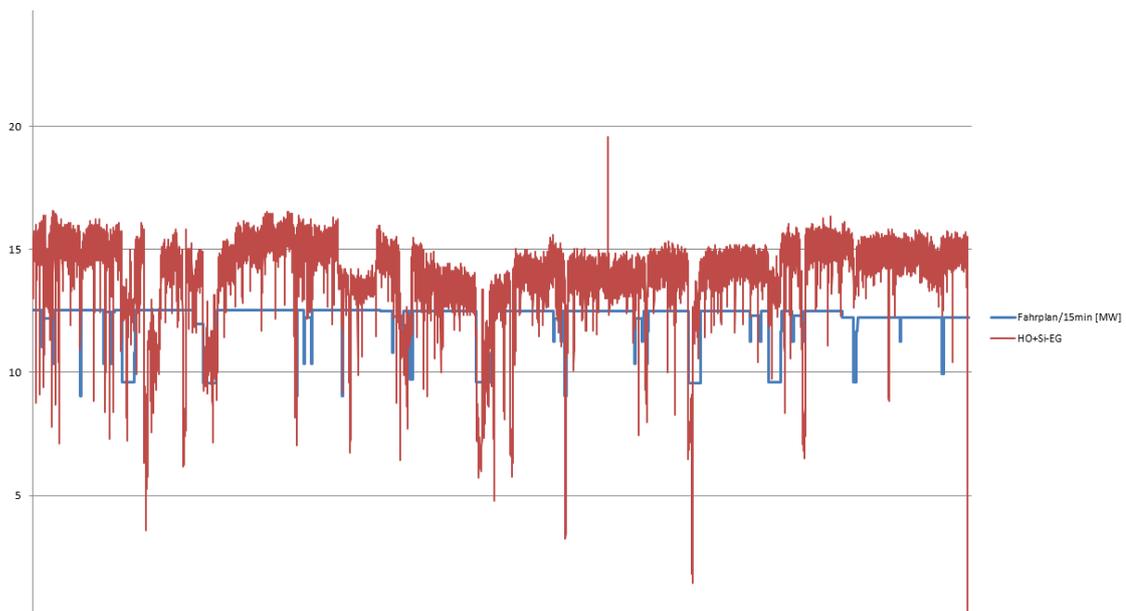


Abbildung 41 - Bisheriger Fahrplan für Hochofen und Sinteranlage

Aus Beobachtungen wie sie auch in Kapitel 3.1 geschildert wurden kann man erkennen, dass der Bezug meist über mehrere Tage weitestgehend konstant bleibt und sich nur bei Hochofenabstellungen maßgeblich ändert.

Aus diesem Grund sollte das neue Modell diese beiden Charakteristika vereinen und sich auch automatisch anpassen können. Es ist möglich einen groben linearen Zusammenhang zwischen Ausbringungsmenge und Strombezug zu finden. Dieser kann dazu verwendet werden um den Bezug vorherzusagen, jedoch wird der Verbrauch der vorhergehenden Tage nicht berücksichtigt und somit liegt man mit dieser Strategie meist ähnlich weit daneben wie beim bisherigen Fahrplan.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen extrapoliert das neue Modell den Bezug der letzten Tage und rechnet auch den analytisch berechneten Fahrplan zu einem kleinen Teil mit in die Vorhersage ein. Wenn eine Hochofenabstellung geplant ist, erkennt eine Heuristik diesen Umstand und „vertraut“ dem berechneten Fahrplan mehr als den historischen Daten. Mathematisch bedeutet das, dass umgekehrt zum vorherigen Fall der berechnete Fahrplan das Hauptkriterium ist und der Bezug nur zu einem kleinen Teil eingerechnet wird. Abbildung 42 soll diese Funktionsweise schematisch beschreiben. Das in der Abbildung gezeigt Delta steht für den „Umschaltfall“ der Heuristik, wenn eine große Fahrplanänderung entdeckt wird. Der Fahrplan ist dann für die Zeitspanne von 24h etwas ungenau, aber immer noch genauer als bisher, und stellt sich dann in weiterer Folge automatisch auf die neue Situation ein.

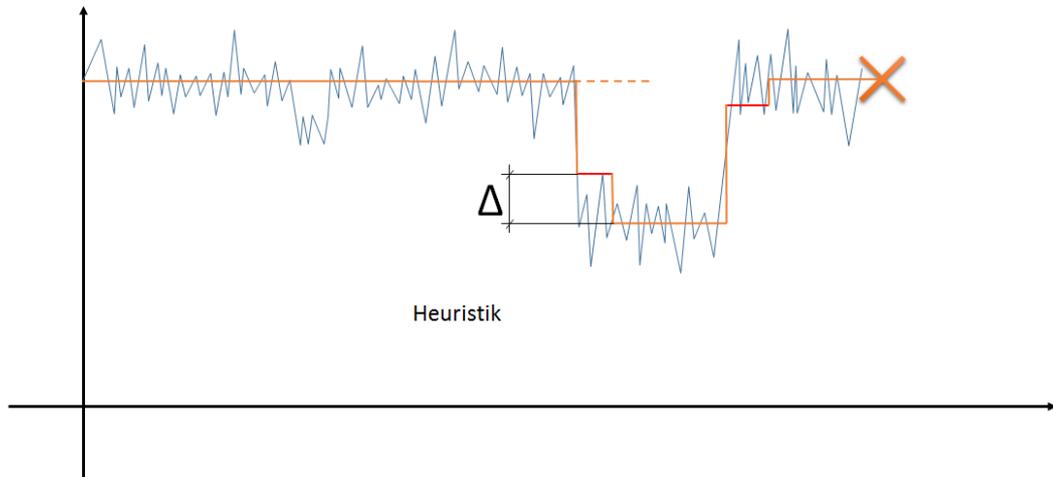


Abbildung 42 - Schematische Beschreibung der Funktionsweise der Heuristik für die Berechnung des Hochofenfahrplans

Der neue Fahrplan ist in Abbildung 43 zu sehen. Man kann gleich erkennen, dass der berechnete Fahrplan viel genauer dem tatsächlichen Bezug entspricht, und auch Abststellungen besser berücksichtigt werden. Es gilt hier zu erwähnen, dass dieser Fahrplan, im Gegensatz zum Bisherigen, vollautomatisch erstellt wurde und keine Zusatzinformationen außerhalb der APRODUKT Datei verwendet wurden.

Dennoch ist es gelungen die Ausgleichsenergiemengen für den betrachteten Zeitraum von 12.302 Megawattstunden auf 5.988 Megawattstunden zu reduzieren. Das entspricht einer Mengeneinsparung von über fünfzig Prozent.



Abbildung 43 - Neuer Fahrplan für Hochofen und Sinteranlage

## Stahlwerk

Wie bereits in Kapitel 3.1 diskutiert, verhält sich der Bezug des Stahlwerks ähnlich dem des Hochofens. Auch hier ist der Verbrauch im Mittel über lange Zeiträume meist konstant, jedoch können signifikant höhere Bezugsschwankungen als beim Hochofen festgestellt werden. In Abbildung 44 wird der bisherige Fahrplan mit dem tatsächlichen Bezug verglichen. Man kann gleich ablesen, dass die Fahrplanabweichungen oft mehr als acht Megawatt betragen, und das über lange Zeiträume.

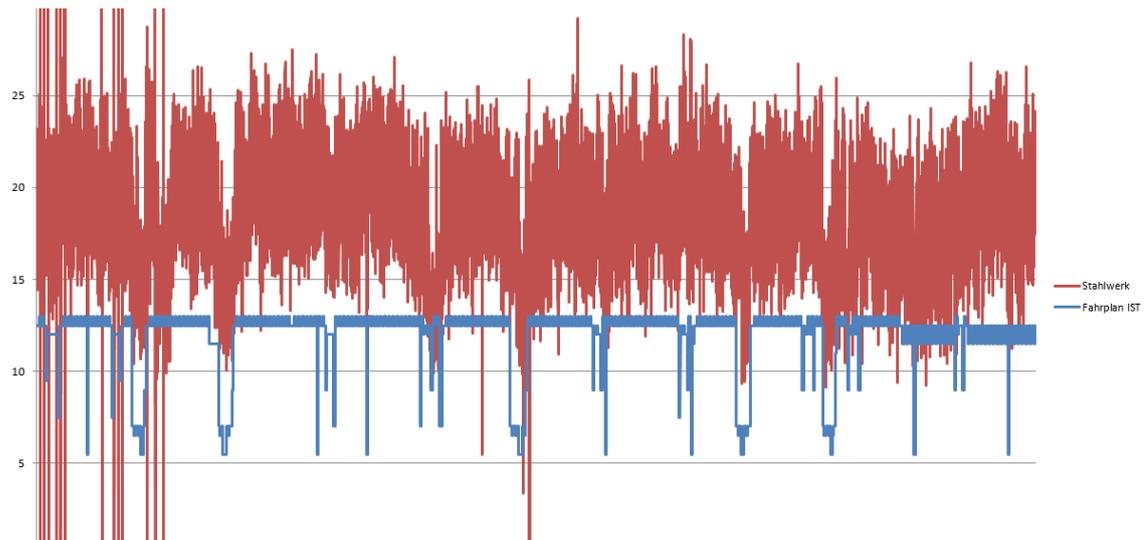


Abbildung 44 - Bisheriger Fahrplan für das Stahlwerk

Analog zu den Abstellungen beim Hochofen gibt es beim Stahlwerk Tiegelzustellungen, die es einzuplanen gilt. Somit ist das Anforderungsprofil des Stahlwerks an ein Prognosemodell weitestgehend dasselbe wie jenes des Hochofens. Dies hat sich auch in unzähligen Versuchen bestätigt. Wenn man beim Stahlwerk die gleiche Strategie wie beim Hochofen verfolgt, und nur die Berechnungsgrundlage für die Ausbringung anpasst, kann man die geringsten Ausgleichsenergiemengen von allen getesteten Alternativen erreichen.

Es musste nur ein anderer Schlüssel zum Berechnen des annähernd linearen Zusammenhangs zwischen Chargen und dem Strombezug gefunden werden, und der Rest des Modells konnte analog übernommen werden. Der Grund für dieses Vorgehen ist leicht zu begründen, da beide Anlagen ablaufbedingt sehr eng miteinander verknüpft sind und zahlreiche Ähnlichkeiten in Bezug auf Prozesscharakteristika aufweisen.

Abbildung 45 zeigt den Bezug des Stahlwerks und das Profil des Fahrplans nach dem neuen Modell. Klar erkennbar sind die stark reduzierten Maximalabweichungen, und auch im Mittel lässt sich stark verbesserte Genauigkeit vermuten.

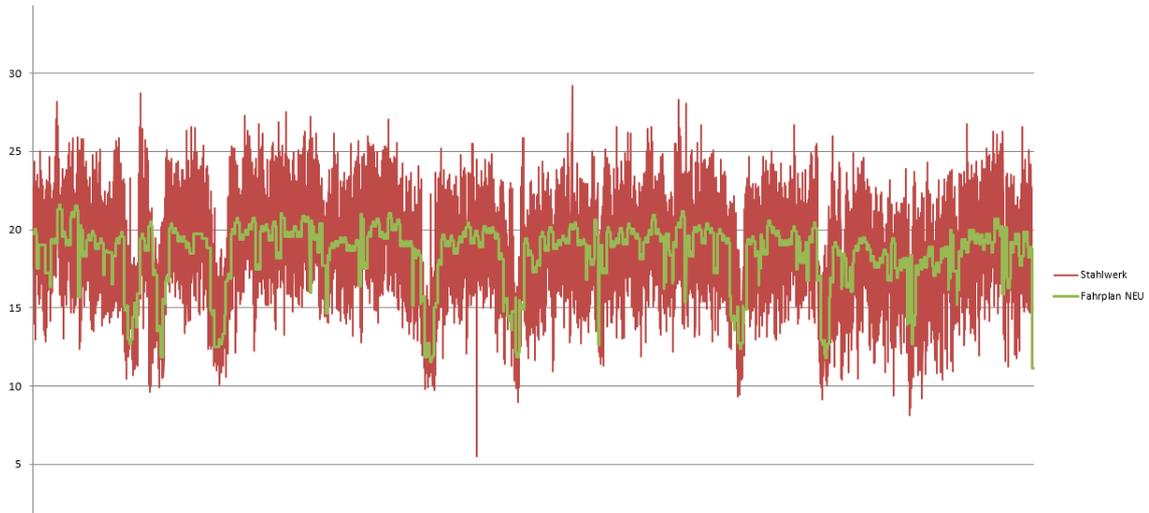


Abbildung 45 - Neuer Fahrplan für das Stahlwerk

Insgesamt konnten die Ausgleichenergiemengen im betrachteten Zeitraum von 38.987 Megawattstunden auf 12.196 Megawattstunden reduziert werden. Das ist weniger als ein Drittel der ursprünglichen Menge.

#### **Drahtwerk**

Das Drahtwerk wurde im Wesentlichen bisher recht genau vorhergesagt. Dadurch, dass zwischen der gewalzten Dimension, der Tonnage und dem Strombezug lineare Zusammenhänge herrschen, ist der Bezug relativ leicht zu berechnen. Bisher erfolgte die Berechnung jedoch nur auf Basis empirisch erstellter Formeln und auch manuelle Korrekturen spielten eine große Rolle. Die Qualität der manuellen Korrekturen hängt stark vom Erfahrungsschatz der ausführenden Mitarbeiter ab und machen es auch sehr schwierig die Genauigkeit der neuen automatisch berechneten Fahrplänen mit den bisherigen zu vergleichen.

Abbildung 46 zeigt den bisherigen Fahrplan. Man sieht, dass dieser eigentlich sehr genau der Realität übereinstimmt und auch die Zahlen bestätigen diesen Eindruck.

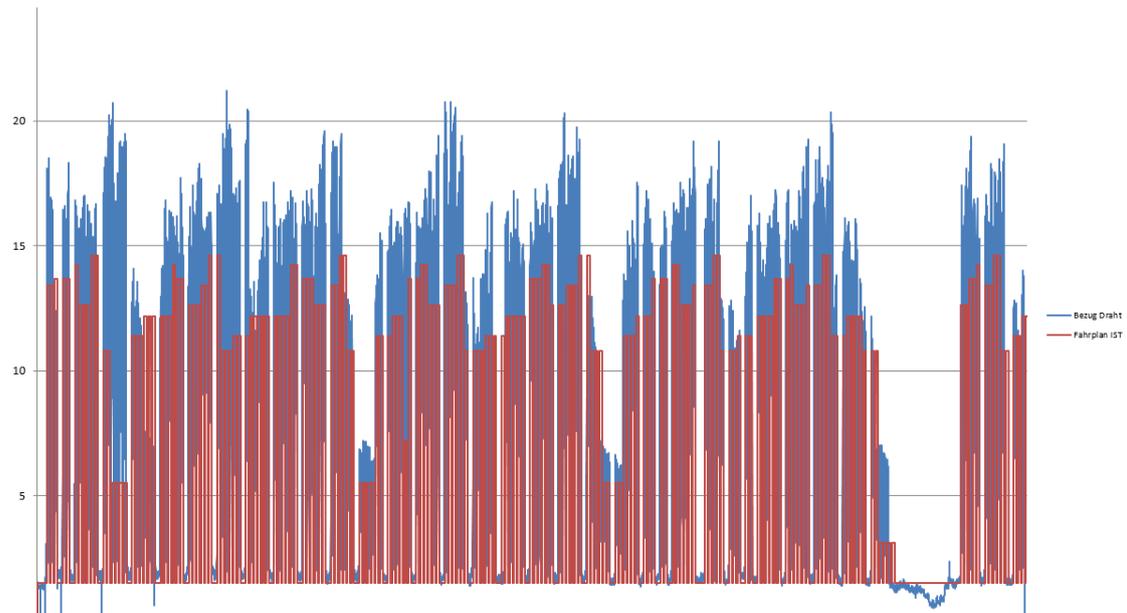


Abbildung 46 – Bisheriger Fahrplan für das Drahtwerk

Als Verbesserungsmaßnahme wurden mittels linearer Regression neue Formeln für den Stromverbrauch mit den beiden Variablen Ausbringung und Dimension aufgestellt um Veränderungen im Produktionsprozess sowie den Stromverbrauch neuer Aggregate zu berücksichtigen. Die Berechnung erfolgt nun auch basierend auf Formeln die einer mathematischen Methode und nicht der Empirik entspringen. Abbildung 47 zeigt die Korrelation von gewalzter Drahtdimension und Stromverbrauch des Drahtwerks:

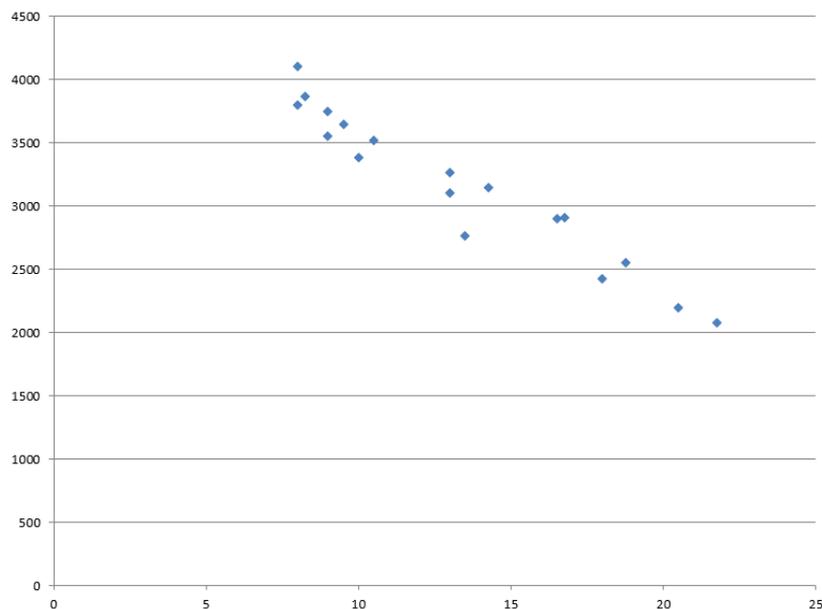


Abbildung 47 - Korrelation von gewalzter Drahtdimension und Stromverbrauch des Drahtwerks

Es wurde weiters ein Vergleichstageverfahren angewandt, welches den täglichen Stillständen Rechnung trägt und die Berechnung der Verbräuche nur für die aktive Zeit durchführt

und ansonsten fixe Werte für die Stillstandszeiten annimmt. Das vorgeschlagene Modell ist somit ein Hybridverfahren aus einer Vergleichstagebetrachtung und der formelmäßigen Berechnung von Stromverbräuchen.

Eine große Herausforderung welche auch mit den zur Verfügung stehenden Daten momentan nicht lösbar ist, ist die Aufteilung der geplanten Tonnage auf die beiden Schichten. Es ist nicht möglich ohne weitere a priori Informationen zu sagen wann, wie viel produziert werden wird. Auch statistisch lässt sich keine bessere Strategie finden als die Tonnage zu halbieren und so auf beide Schichten aufzuteilen. Des Weiteren macht es auch keinen Sinn eventuelle Überproduktionen am Beginn der dritten Schicht zwischen 22 und 24 Uhr einzuplanen, da vorab nicht ermittelbar ist, ob weiterproduziert wird oder nicht.

Der neue Fahrplan sieht im Profil fast genauso aus wie der alte, deshalb wird er hier nicht gesondert grafisch dargestellt. Es sei noch erwähnt, dass die Genauigkeit durch die Aktualisierung im zweistelligen Prozentbereich verbessert werden konnte, jedoch bei weitem nicht so gravierend ausfällt wie bei Hochofen und Stahlwerk.

### Schienenwalzwerk

Der bisherige Fahrplan des Schienenwalzwerks wird in Abbildung 48 grafisch aufbereitet. Man sieht, dass die Stillstände manchmal ganz akkurat erfasst wurden, der Fahrplan aber manchmal um über ein Megawatt vom tatsächlichen Bezug abweicht. Der prognostizierte Spitzenbezug liegt im Mittel mehr als zwei Megawatt über dem tatsächlichen mittleren Bezug.

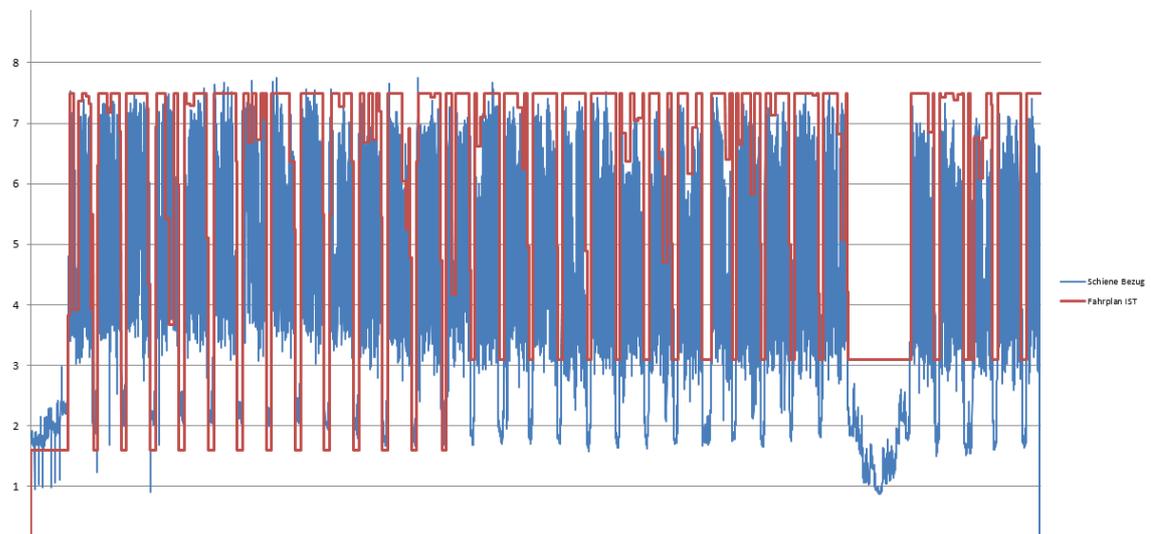


Abbildung 48 - Bisheriger Fahrplan des Schienenwalzwerks

Nachdem, wie in Kapitel 3.3 genauer beschrieben wurde, kein klarer Zusammenhang zwischen Ausbringungsmenge und Strombezug herrscht, war es ausgesprochen schwierig die Fahrplangenaugigkeit mittels einer Heuristik oder einem linearen beziehungsweise polynomialen Zusammenhang zu erhöhen.

Nach unzähligen Versuchen und Modellen stellte sich die Anwendung eines reinen Vergleichstagesverfahrens und somit das Anlegen von Fixwerten für Stillstand und Produktion als vorteilhafteste Variante heraus. Die Implementierung dieses Modells folgt in Kapitel 0.

#### Air Liquide

Bei der Fremdfirma Air Liquide kommt es wie in Kapitel 3.3 beschrieben darauf an, welche Anlage gerade in Betrieb ist. Der Bezug ist dann über Tage hinweg konstant und muss nicht verändert werden. Dementsprechend wurde der Fahrplan auch immer auf dieser Basis berechnet.

Als Verbesserungsmaßnahme wurden lediglich die beiden Werte an die Veränderungen der letzten Zeit angepasst und am Berechnungsmodell keinerlei Veränderungen vorgenommen, da dies auch nicht notwendig war.

#### Eigenerzeugung

Der bisherige Fahrplan der Eigenerzeugung war bislang immer sehr akkurat. Das liegt daran, dass die Abteilung Energie und Medien sowohl für die Fahrplanerstellung und den Betrieb des Kraftwerks verantwortlich ist und damit optimalen Einblick in die Prozesse und Planung hat. Aus diesem Grund galt es im Modell nur bestehende Tätigkeiten zu optimieren und auf der bereits genutzten Wissensbasis aufzubauen.

Abbildung 49 zeigt den bisherigen Kraftwerksfahrplan.

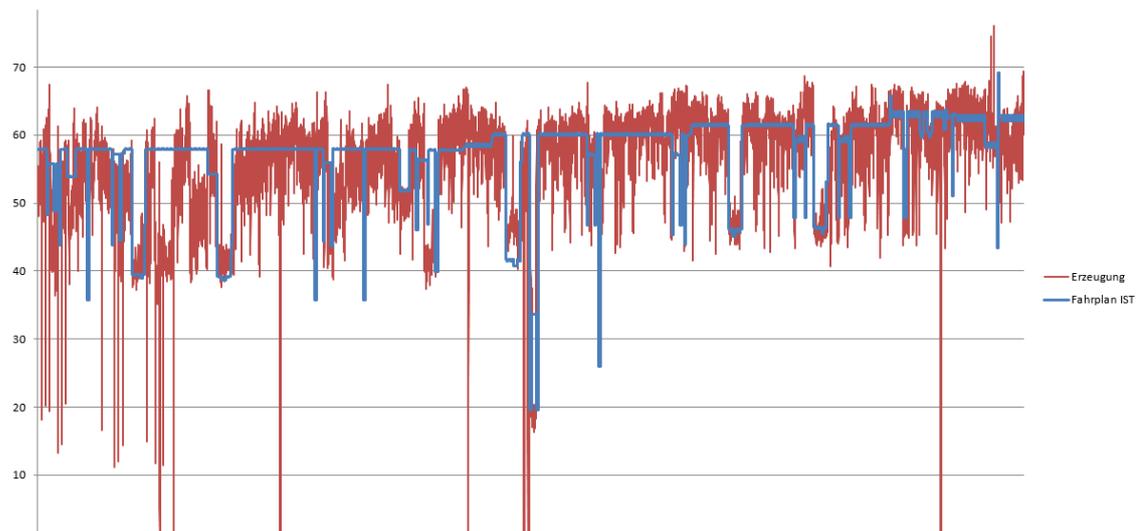


Abbildung 49 - Bisheriger Fahrplan der Eigenerzeugung

Der nun in Verwendung stehende Fahrplan ist nur eine Automatisierung des bisherigen Fahrplans und wird hier deshalb grafisch nicht weiter aufbereitet. Hinzu kommen die automatische Berechnung von Prozessdampf-, Sattdampf-, und Fernwärme/Stadtwärme Auskoppelung sowie einstellbare Mindestleistung und der Möglichkeit Erdgas zu setzen.

Des Weiteren wird auch prozessbedingten Umständen Rechnung getragen. So wird zum Beispiel automatisch der richtige Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der momentanen Kraftwerksleistung mit eingerechnet.

Zusammen führt diese Reihe an Verbesserungen nicht nur zu einer spürbaren Kosteneinsparung, sondern auch zu einer erheblichen Erleichterung des Arbeitsflusses.

Haupteinflussfaktor auf die Genauigkeit des Modells ist die Prognosegenauigkeit von Stahl- und Roheisenmengen. Abbildung 50 zeigt die vorhergesagte Menge an Roheisen sowie die tatsächliche Ausbringung.

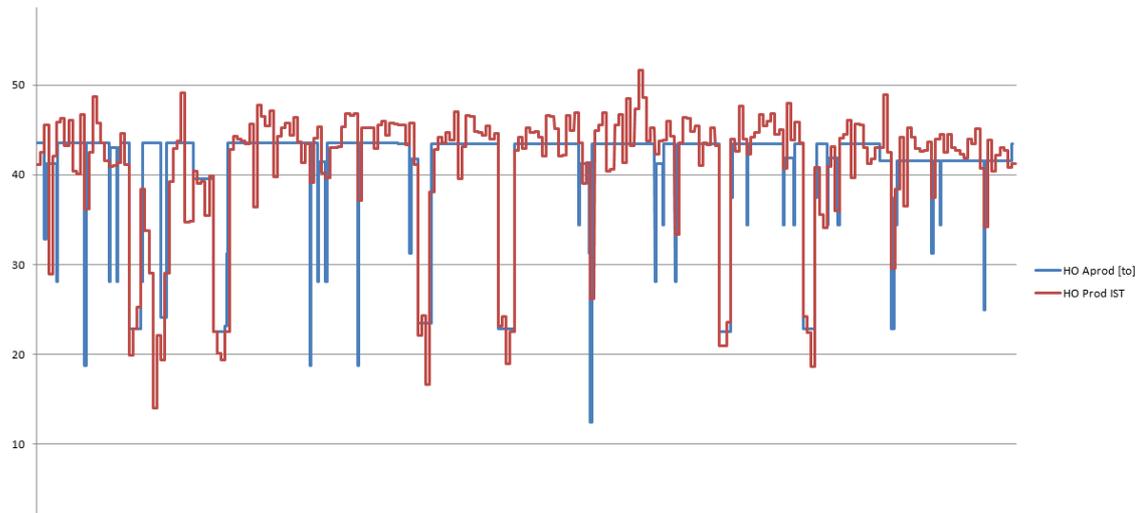


Abbildung 50 - Prognosegenauigkeit der Hochofenausbringung

Die Genauigkeit ist für die Berechnung der Gichtgasmengen durchaus ausreichend. Eine Steigerung dieser wäre jedoch trotzdem vorteilhaft um die Ausgleichsenergiemengen noch weiter nach unten zu treiben.

Abbildung 51 zeigt die Genauigkeit der Prognosen des Stahlwerks. Auch hier ist die Genauigkeit zwar verbesserungswürdig, aber durchwegs ausreichend. Da das Stahlwerk nicht der Haupttreiber der Kraftwerkserzeugung ist, ist diese Genauigkeitsverbesserung zweitrangig.

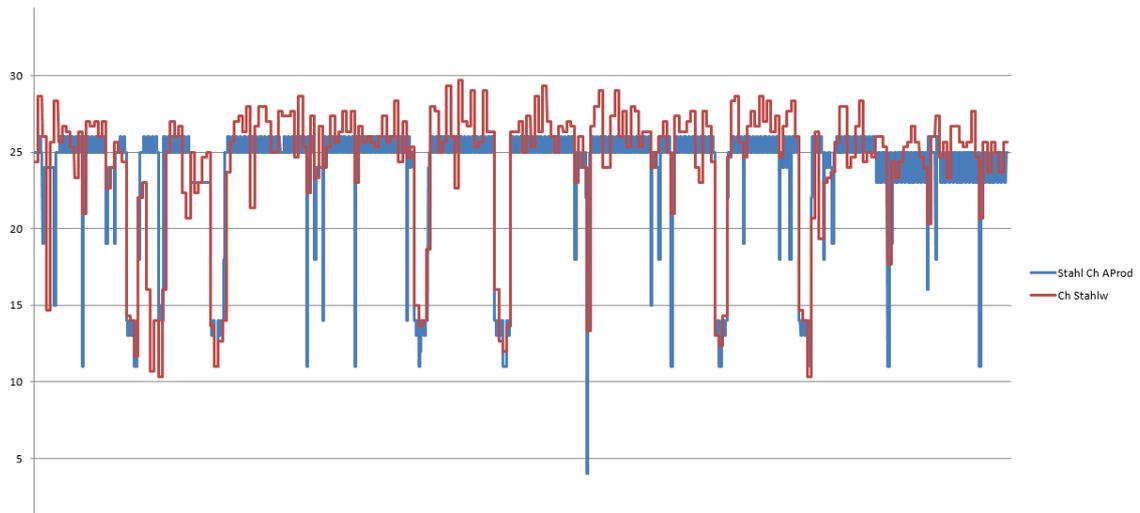


Abbildung 51 - Prognosegenauigkeit der Stahlwerksausbringung

#### **Bereich Energie und Medien und Sonstige**

Da der Bereich Energie und Medien, wie in Kapitel 3.3 bereits erläutert, zurzeit noch nicht genau gemessen wird, ist es bis auf die E-Gebläse nicht möglich ein funktionierendes Modell für den Strombezug aufzustellen.

Zurzeit wird folgende Strategie angewandt: Da oft auch Testbetriebe in diesem Bereich mitgemessen werden, ist es nicht empfehlenswert immer einen fixen Wert für den Strombezug anzunehmen. Stattdessen wird der Mittelwert der letzten Stunden vor Fahrplanerstellung gebildet und für den Folgetag übernommen. Diese Strategie federt vorerst die größten Ungenauigkeiten ab und schließt aus, dass durch Benutzerfehler völlig falsche Werte eingeplant werden können.

Der Bezug der E-Gebläse unterliegt, ähnlich der Anlagen der Firma Air Liquide, keinen großen Schwankungen und deshalb wird auch hier die gleiche Strategie verwendet. Bisher wurden die E-Gebläse nicht separat geplant aber ab sofort wird, wie in Kapitel 3.5 beschrieben, die Möglichkeit bestehen, diese als eigenständige Verbraucher einzuplanen und somit die Fahrplangenaugkeit noch weiter zu steigern.

### **3.5 Planungstool zur teilautomatischen Fahrplanerstellung und Zielkontrolle**

Ein wesentlicher Teil der Arbeit betraf die Analyse der Strombezugs- und Stromerzeugungsstruktur der Voest Alpine Donawitz und das Auffinden der größten Ausgleichsenergetreiber sowie von potentiellen Einsparungspotentialen. Weiters galt es Strategien und Modelle zu entwickeln um die Einsparungspotentiale umzusetzen.

Die besten Modelle sind jedoch ungeeignet, wenn deren Anwendung nicht wirtschaftlich und zu komplex ist. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Teilautomatisierung der entwickelten Modelle und deren Konsolidierung in einem praktischen und kompakten Tool welches auch eine einfache Erfolgskontrolle ermöglicht und die Ableitung von weiteren Verbesserungspotentialen zulässt.

Abbildung 52 zeigt das Benutzereingabefeld des neuen Fahrplantoole. Auf dieser Seite werden alle Benutzereingaben getätigt und die Berechnung wird dann automatisch durchgeführt. Nach Abschluss der Berechnungen hat der Anwender noch die Möglichkeit einer manuellen Korrektur.

Man wählt zuerst das aktuelle Datum und gibt dann die Prognosedaten für den gewünschten Zeitraum ein. Die Eingabefelder richten sich nach den verfügbaren Daten und den verwendeten Modellen. Die linke Hälfte ist die Eingabe für den Bezug der einzelnen Divisionen und die rechte Seite dient zur Berechnung der Eigenerzeugung.

Die Farbcodierung soll dem Anwender visualisieren, dass lange Planungszeiträume die Genauigkeit der Planung massiv einschränken und eine Abschreckungswirkung ausstrahlen.

Die Berechnung der einzelnen Fahrpläne erfolgt auf separaten Microsoft Excel Tabellenblättern. Jedem Tabellenblatt sind Visual Basic Module zugeordnet, welche die Berechnung in Verwendung der beschriebenen Modelle durchführen. Da Visual Basic Code selbst auf moderner Hardware bei komplexen Anwendungen immer noch Laufzeitprobleme verursacht, wurde großer Wert auf die Laufzeit der verwendeten Makros gelegt und die Rechenzeit übersteigt bei Einsatz aktueller Hardware in keinem Fall den einstelligen Sekundenbereich.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

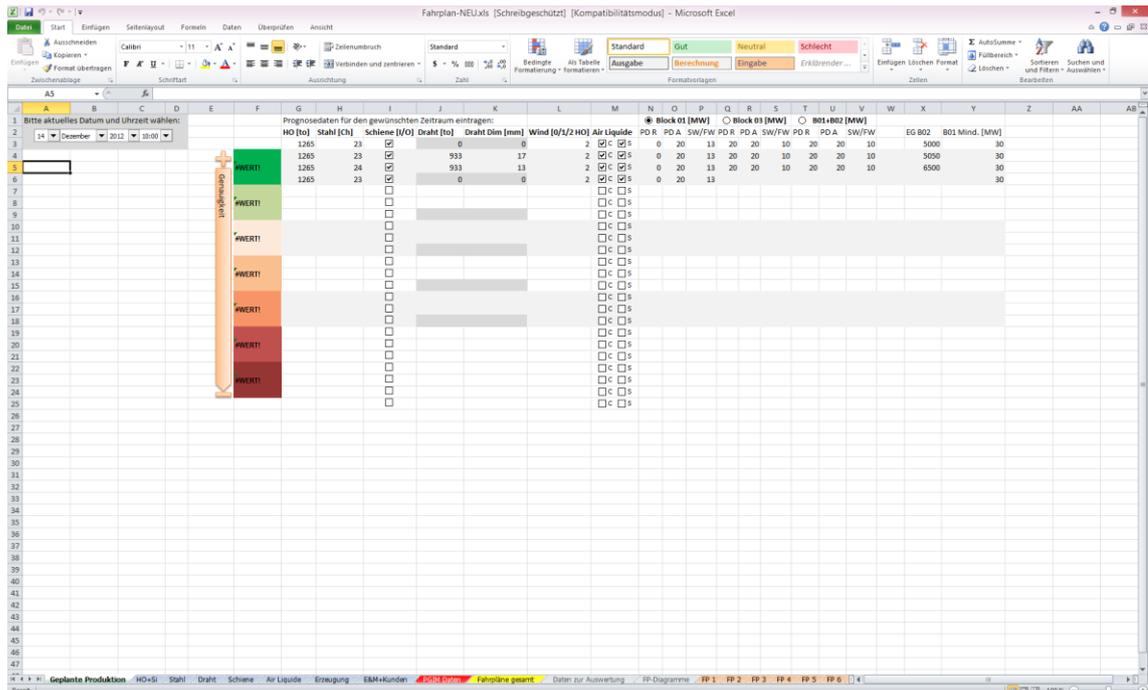


Abbildung 52 - Benutzereingabefeld des neuen Fahrplantools

Jene Daten, welche für die Berechnung der individuellen Fahrpläne benötigt werden, liest das Programm automatisch für den gewünschten Prognosezeitraum aus dem PGIM System aus. Abbildung 53 zeigt das Tabellenblatt auf dem die automatische Datenbeschaffung erfolgt. Die Screenshots wurden auf einem Computer angefertigt, der nicht mit dem Voest Alpine -Netzwerk verbunden war um keine aktuellen Produktionsdaten zu veröffentlichen.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

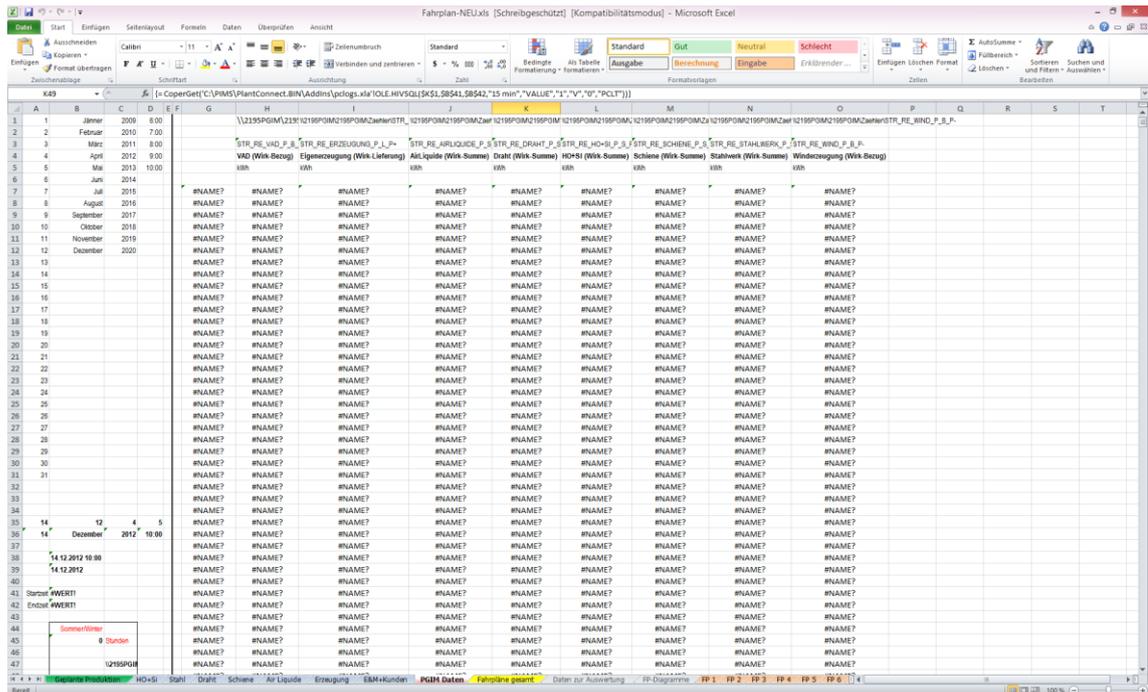


Abbildung 53 – Automatisches Einlesen der relevanten PGIM Daten der individuellen Bezüge

Die ausgelesenen Daten gehen vom aktuellen Zeitpunkt der Fahrplanerstellung bis zwei Tage in die Vergangenheit zurück um den Modellen die zur Berechnung benötigten historischen Daten zu liefern.

Die fertigen Daten werden dann für den Anwender noch einmal zur Kontrolle aufbereitet und das Gesamtbezugsprofil grafisch ausgegeben. Des Weiteren hat man die Möglichkeit sowohl die Eigenerzeugung als auch den Gesamtbezug manuell zu korrigieren. Auch Einzelkorrekturen sind leicht möglich, da alle Zellen mit einem in Visual Basic programmierten Makro befüllt werden und somit keinerlei Verknüpfungen aufweisen.

Das zuvor beschriebene Tabellenblatt wird in Abbildung 54 dargestellt. Die manuellen Korrekturspalten sind mit bedingter Formatierung hinterlegt, um positive und negative Änderungen leicht und schnell unterscheiden zu können.

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

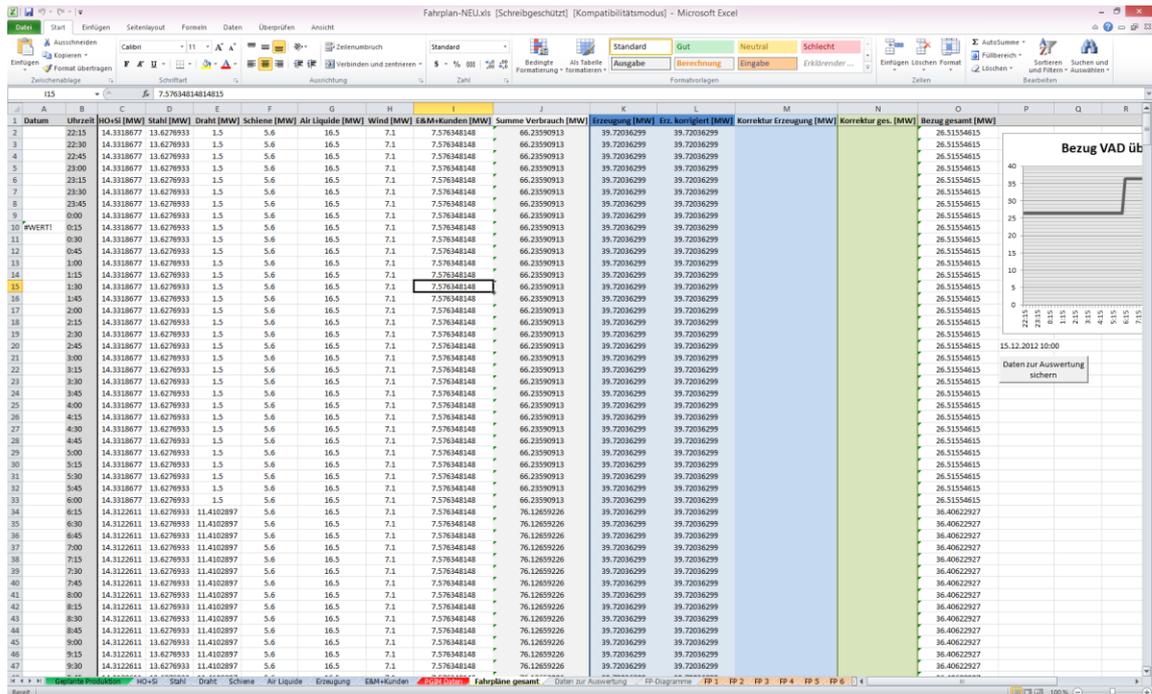


Abbildung 54 - Konsolidierung der individuell berechneten Fahrpläne und Korrekturmöglichkeit

Die teilautomatische Berechnung der Fahrpläne reduziert die Zeit, die täglich für die Erstellung der Fahrpläne aufgewendet werden muss und gleichzeitig kann eine höhere Genauigkeit erzielt werden. Dies ist besonders wichtig, da wie bereits in Kapitel 2.4.3 erklärt wurde, der Prozessablauf eine große Rolle bei der zukünftigen Akzeptanz der neuen Methode spielt.

Bisher war es so, dass Fahrpläne erstellt wurden und die Erfolgskontrolle eher stichprobenartig und auf Basis von Rückmeldungen der Verbund AG erfolgte. In jedem Fall wurde keine tägliche Evaluierung des Zielerreichungsgrads durchgeführt.

Dieser Umstand ist auch verständlich, da diese Erfolgskontrolle sehr viel Zeit in Anspruch nimmt und nicht besonders benutzerfreundlich ist. Sie umfasst folgende Schritte:

- Finden der relevanten Zähler
- Exportieren der Daten aus dem PGIM System in ein Microsoft Excel Sheet
- Individuelles Erstellen und Formatieren von Grafiken für die Anlagen am Standort
- Darstellung der Daten in den erstellten Grafiken

Das sind Arbeitsschritte, die sich im Laufe des Jahres zu einer beträchtlichen Summe an Mannstunden zusammenaddieren.

Um dem Abhilfe zu schaffen, wurde die Möglichkeit geschaffen, die Fahrpläne für die grafische Auswertung und spätere Erfolgskontrolle am Folgetag zu sichern und vollautomatisch die entsprechenden, relevanten Vergleichsdaten aus dem PGIM System auszulesen.

Abbildung 55 zeigt das Ergebnis dieser Bemühungen. Alle relevanten Bereich für die individuelle Fahrpläne erstellt werden, sind hier aufbereitet. Die rote Linie zeigt, wenn der

Computer mit einem voestalpine Netzwerk verbunden ist, das gemessene Lastprofil des betreffenden Tages und die blaue Linie repräsentiert den prognostizierten Fahrplan.

Die Vorteile lauten wie folgt:

- Einfache Erkennbarkeit von Abweichungen
- Man erkennt sofort wo Abweichung aufgetreten sind und kann davon ableiten ob diese Abweichung prozessbedingt oder ein Planungsfehler war
- Die Mitarbeiter werden in eine tägliche Feedbackschleife eingebunden ohne Zusatzaufwand für Analysen und Zielkontrollen aufwenden zu müssen
- Rückmeldung erfolgt auf täglicher Basis, d.h. extrem rascher Aufbau von Erfahrung und Knowhow in Bezug auf die Verbräuche am Standort

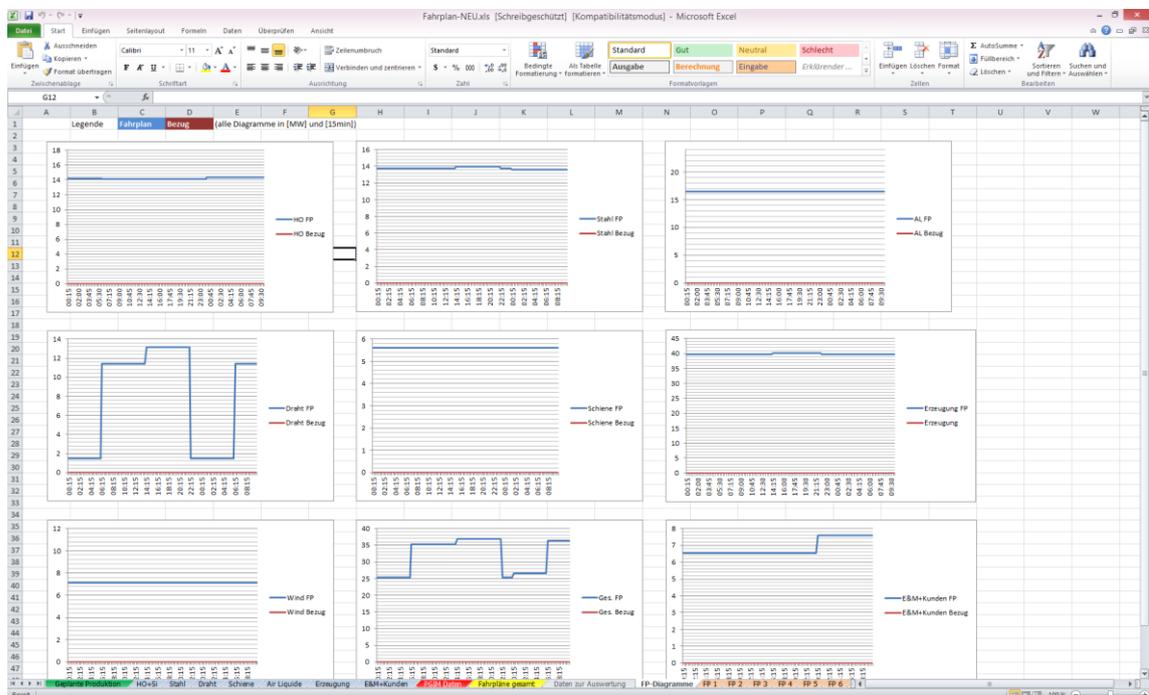


Abbildung 55 - Feedbacktool und automatische grafische Analyse der Fahrplangenauigkeit

Dieser Erfahrungsschatz in Bezug auf die einzelnen Standortverbräuche ist von großer Bedeutung. Selbst das beste Modell kann den Bezug nicht zu hundert Prozent vorhersagen und deshalb ist der Faktor Mensch unerlässlich. Aber der Mensch braucht Erfahrung um seine Tätigkeit optimal ausführen zu können und dieses Tool soll dazu beitragen.

Man kann klar erkennen, dass die Planung der Eigenerzeugung schon vor Beginn des Projektes sehr gut war. Warum? Weil sich das Team tagtäglich damit auseinandersetzt, da sie in diesem Bereich tätig sind. Daraus kann man schließen, dass es vorteilhaft wäre, dasselbe Bewusstsein und Knowhow auch für die Bezüge zu schaffen.

Um die Fahrplannerstellung möglichst effizient zu gestalten werden die fertigen Fahrpläne in dem Format ausgegeben, welches der Verbund für den Emailversand fordert. Die Tabellenblätter listen im Prinzip nur Bezug und Lieferung auf und sind in Abbildung 56 zu se-

### 3 Erstellung von Lastprognosen und Fahrplänen am Standort Donawitz

hen. Die enthaltenen Daten werden automatisch eingetragen sobald der Fahrplan erstellt wurde.

1	INTERIM	Datum	#WERT!	#WERT!	E	F	G	H	I	J	K
2		aus Regelzone	A_APG_N	A_APG_N							
3		an Regelzone	A_APG_N	A_APG_N							
4		Seller	APC	VOEST Donawitz							
5		Buyer	VOEST Donawitz	APC							
6		Abwender Bilanzgruppenverantwortlicher	VOEST Donawitz	VOEST Donawitz							
7		Version	I	I							
8		Kommentarbereich	Bezug DONAWITZ von APC	Lieferung DONAWITZ an APC							
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15		Kontrollsumme	MW	807.534	0.000						
16											
17		von	bis	MW	MW						
18		0:00	0:15	26.516	0.000						
19		0:15	0:30	26.516	0.000						
20		0:30	0:45	26.516	0.000						
21		0:45	1:00	26.516	0.000						
22		1:00	1:15	26.516	0.000						
23		1:15	1:30	26.516	0.000						
24		1:30	1:45	26.516	0.000						
25		1:45	2:00	26.516	0.000						
26		2:00	2:15	26.516	0.000						
27		2:15	2:30	26.516	0.000						
28		2:30	2:45	26.516	0.000						
29		2:45	3:00	26.516	0.000						
30		3:00	3:15	26.516	0.000						
31		3:15	3:30	26.516	0.000						
32		3:30	3:45	26.516	0.000						
33		3:45	4:00	26.516	0.000						
34		4:00	4:15	26.516	0.000						
35		4:15	4:30	26.516	0.000						
36		4:30	4:45	26.516	0.000						
37		4:45	5:00	26.516	0.000						
38		5:00	5:15	26.516	0.000						
39		5:15	5:30	26.516	0.000						
40		5:30	5:45	26.516	0.000						
41		5:45	6:00	26.516	0.000						
42		6:00	6:15	36.406	0.000						
43		6:15	6:30	36.406	0.000						
44		6:30	6:45	36.406	0.000						
45		6:45	7:00	36.406	0.000						
46		7:00	7:15	36.406	0.000						
47		7:15	7:30	36.406	0.000						

Abbildung 56 - Automatische Generierung der vom Verbund geforderten Excel-Datei

### 3.6 Vergleich der Gesamtfahrpläne und Bewertung der Verbesserung

Die Ergebnisse der Arbeit lassen sich in 2 Kategorien einteilen. Es wurden die Hauptstromverbraucher am Standort Donawitz identifiziert und ihnen neue Berechnungsmodelle für die Fahrplanerstellung zugeordnet. Weiters wurden diese Berechnungsmodelle in einem Tool zur teil-automatischen Fahrplanberechnung konsolidiert. Diese Ergebnisse bilden zusammen die erste Ergebniskategorie und spiegeln die Ziele der Aufgabenstellung wider.

Die zweite Kategorie wird durch die zusätzlichen Erkenntnisse und aufgedeckten Potentiale gebildet, die im Rahmen der Nachforschungen zu den Themen der Arbeit, den durchgeführten Analysen und den Datenauswertungen zum Vorschein kamen, gebildet. In Kapitel 4 wird auf diese Potentiale Bezug genommen und es werden Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise abgegeben.

Wie bereits in Kapitel 3.4 erklärt wurde, ist im Falle einiger Berechnungsmodelle der Genauigkeitsgewinn sehr schwierig zu bewerten und wird sich erst im Laufe der Zeit zeigen. Dazu kommt, dass zwar beim Hochofen und beim Stahlwerk sehr große Genauigkeitsgewinne bei der Vorhersage bezüglich der bisherigen Fahrpläne erzielt werden konnten, diese sich aber in der Gesamtbetrachtung nicht in vollem Maße zum Ergebnis durchschlagen. Der Grund hierfür ist, dass die Einzelfahrpläne bisher immer addiert und dann manuell aufgrund von Erfahrungswerten korrigiert wurden. Alle neuen Einzelfahrpläne sind genauer als die bisherigen Fahrpläne, jedoch verhalten sich die Einzel-Einsparungen in der Gesamtbetrachtung nicht kumulativ. Bei der Betrachtung zur Erfolgskontrolle eines Beispielmoments aus dem Jahr 2011 konnte eine Ausgleichsenergiemengen-Einsparung von etwas mehr als fünf Prozent erzielt werden.

Abbildung 57 zeigt diesen Vergleich grafisch:

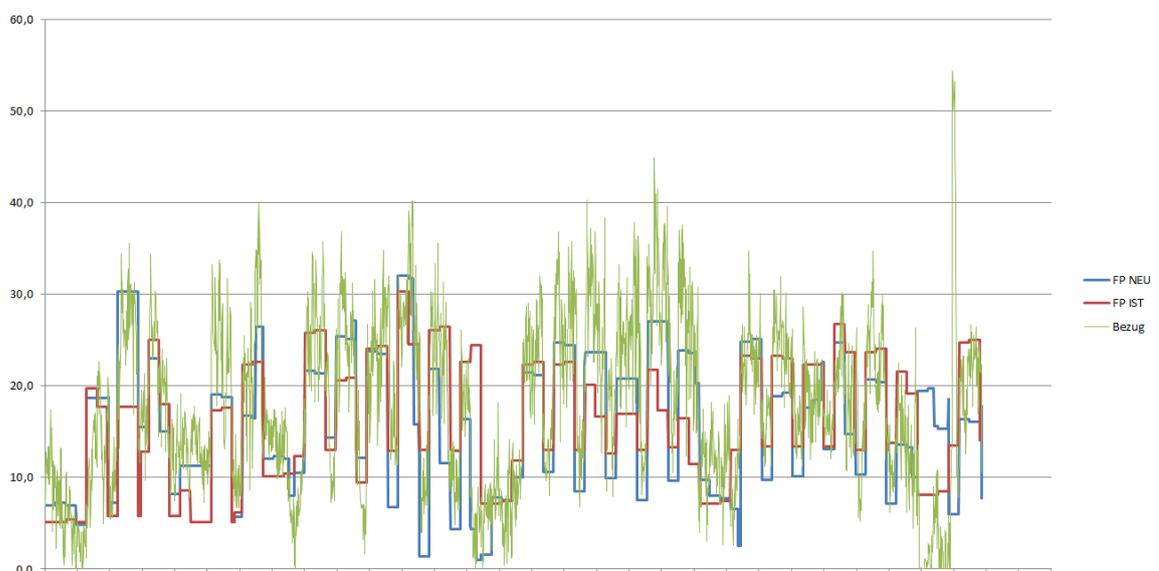


Abbildung 57 - Gesamt Betrachtung der bisherigen und neuen Fahrpläne und des tatsächlichen Strombezugs

Wie bereits erwähnt, ist der grafische Vergleich oft nicht besonders aussagekräftig in Bezug auf die verursachten Ausgleichsenergiemengen. Man kann jedoch erkennen, dass der neue Fahrplan in unterschiedlichen Szenarien meist genauer und manchmal auch weniger genau ist.

Das Ergebnis und der daraus erzielte Nutzen sind in Bezug auf die Rahmenbedingungen jedoch trotzdem mit „gut“ zu bewerten, da bedacht werden muss, dass hier ein völlig automatisch berechneter Fahrplan mit einem teils manuell erstellten Fahrplan verglichen wird, in dessen Entstehung Zusatzinformationen wie kurzfristige Abstellungen und Wartungen sowie die langjährige Erfahrung der involvierten Mitarbeiter eingeflossen sind. Weitere Potenziale zur Genauigkeitsverbesserung liegen somit in diesen manuellen Korrekturen. Die Größenordnung der insgesamt zu erreichenden Verbesserung ist schwer zu beziffern und muss sich mit der Anwendung zeigen.

Wie sich die erreichten Mengeneinsparungen monetär manifestieren, ist auf Grund der Beschaffenheit des Marktes unmöglich vorherzusagen. Bei den Betrachtungen verschiedener Zeiträume und deren Analysen zeigte sich oft, dass Fahrpläne mit größeren Abweichungen weniger Ausgleichsenergiekosten verursachten als die neuen, genaueren Berechnungsmodelle. Nach Absprache und Abwägung der Alternativen wurde, in Abstimmung mit der Leitung des betrieblichen Energiemanagements, entschieden trotzdem die Strategie der geringsten Ausgleichsenergiemenge zu verfolgen, da diese auf lange Sicht mit großer Wahrscheinlichkeit die günstigste Alternative darstellt.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit konnten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen Produktionsprogrammen und den Energiebezügen der zuvor identifizierten Hauptverbraucher gefunden werden. Weiters wurden davon Berechnungsmodelle für Verbrauchsvorhersagen abgeleitet und an die Verbrauchscharakteristika der einzelnen Hauptabnehmer am Standort Donawitz angepasst.

Bei der Entwicklung der Berechnungsmodelle wurden alle verfügbaren Daten verwendet und entweder zur späteren Berechnung oder in statistischen Analysen zur Modellbildung eingesetzt.

Zur Berechnung werden sowohl Formelberechnungen als auch Vergleichstageverfahren verwendet. Oft kommt eine Kombination der beiden Methoden zum Einsatz um eine höhere Prognosegenauigkeit zu erreichen. Als Grundlage für die Formelerstellung wurden Methoden aus dem Gebiet der Kennlinienanpassung wie Regressionsanalysen sowie einfache statistische Instrumente benutzt.

Um die Eignung verschiedener Methoden und Strategien der Fahrplanerstellung für große Testzeiträume bewerten zu können, wurde eine Simulationsumgebung programmiert, die in der Lage ist die tägliche Fahrplanerstellung über lange Zeiträume zu simulieren. Diese Umgebung hat es ermöglicht eine Vielzahl von veränderlichen Parametern und Berechnungsmethoden in akzeptablen Zeiträumen zu testen. Bei allen so ermittelten Berechnungsmodellen konnten Reduktionen der an den Hauptverbrauchern anfallenden Ausgleichsenergiemengen erreicht werden. Die Einsparungen gehen von über 70 Prozent im Bereich des Stahlwerks und 50 Prozent beim Hochofen zu rund 10 Prozent bei schwer bewertbaren Verbrauchern wie dem Drahtwerk.

In einer Gegenüberstellung des bisherigen Gesamtfahrplans für den Standort Donawitz mit dem, nach den neuen Modellen berechneten Fahrplans für einen Vergleichszeitraum konnten allerdings nur Mengeneinsparungen von knapp über fünf Prozent erreicht werden. Dieses überraschende Ergebnis, ist damit zu erklären, dass hier ein völlig automatisch berechneter Fahrplan mit einem teils händisch erstellten Fahrplan verglichen wird. Bei der Manuellen Erstellung fließen Zusatzinformationen wie kurzfristige Abstellungen und Wartungen sowie die langjährige Erfahrung der involvierten Mitarbeiter ein und dadurch nimmt die Genauigkeit bedeutend zu.

Weitere Potenziale zur Genauigkeitsverbesserung für den Fahrplan, der nach den neuen Berechnungsmodellen erstellt wird, liegen somit in den manuellen Korrekturen. Die Größenordnung der insgesamt zu erreichenden Verbesserung ist daher schwer zu beziffern und wird sich erst im Rahmen der zukünftigen Anwendung zeigen. In jedem Fall ist die Grund-Genauigkeit der Einzelfahrpläne größer als bisher und das erlaubt es wiederum Abweichungsanalysen durchführen zu können und so die Prognosegenauigkeit über längere Zeiträume weiter zu verbessern.

Es wurde zum Abschluss auch ein Tool programmiert, welches den Anwender bei der Erstellung von Fahrplänen unterstützen soll. Die Berechnung erfolgt mithilfe der im Rahmen dieser Arbeit erstellten Berechnungsmodelle und das Tool ist in der Lage Fahrpläne automatisch im richtigen Format für den Versand an den Verbund zu formatieren und auszugeben. Weiters besteht die Möglichkeit mit dem Programm Fahrpläne für die Auswertung und Zielkontrolle am Folgetag zwischen zu speichern. Die Daten werden automatisch,

nach Hauptverbrauchern getrennt, grafisch aufbereitet und grobe Mengen- sowie auch zeitliche Abweichungen lassen sich somit einfach und schnell erkennen.

Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Potentialen und Anregungen zur Verbesserung die über den Rahmen der Arbeit hinausreichen, die es aber trotzdem zu verfolgen gilt um ein kostenoptimales Ausgleichsenergiemanagement zu erreichen. Im Rahmen der Arbeit wurden zwei Haupt-Potentiale aufgedeckt:

- Potentiale im innerbetrieblichen Informationssystem
- Auslastungsdruck der Produktionsplanung

Der erste Punkt ist vermutlich am einfachsten zu erreichen und würde mit großer Wahrscheinlichkeit Ausgleichsenergiemengeneinsparungen im mehrstelligen Prozentbereich zur Folge haben. Wenn Produktionsprogramme in derselben Form übermittelt werden würden, in der sie auch den Planern selbst zur Verfügung stehen, würde für die Fahrplanerstellung eine vielfach genauere Planungsgrundlage für Prognosen und Analysen zur Verfügung stehen. Das Hauptproblem ist vermutlich die Verwendung von proprietären Systemen und die daraus resultierende Schnittstellenproblematik. Eine Kostenabwägung für die Schnittstelleneinrichtung wäre hier definitiv von Nöten. Zusätzlich dazu wäre auch ein gewisses Umdenken bei der Produktionsplanung notwendig, sodass zumindest am Vortag bekannte Änderungen akkurat an die Energiemanager weitergemeldet werden um den notwendigen Handlungsspielraum einzuräumen.

Dieses Umdenken bei der Planung führt nun direkt zum zweiten Punkt über. Die Realisierung dieses Punktes basiert stark darauf ob eine energiekostenoptimale Produktion Einsparungspotentiale gegenüber einer Auslastungsoptimalen Produktion birgt. Aktuelle Forschungsvorhaben tendieren in einem Marktklima geprägt von volatilen und steigenden Energiekosten zu einer energiekostenoptimalen Produktion oder streben zumindest Mischformen an. Es ist nicht Gegenstand der Arbeit diesen Aspekt in allen Details zu beleuchten, aber es wird dennoch empfohlen in dieser Richtung weitere Nachforschungen anzustellen und Analysen durchzuführen.

## Literaturverzeichnis

### Literatur

Adametz D., Lindner D. (2010): Daten und Fakten zum Strompreis. 1. Auflage, Wien: Österreichs E-Wirtschaft Akademie GmbH.

APCS Power Clearing and Settlement AG (2005): Anhang Ausgleichsenergiebewirtschaftung zu den AB-BKO, 9. Auflage, Wien, 2005.

APG – Austrian Power Grid: Last – Lastprognose. URL: <<http://www.apg.at/de/markt/last/lastprognose>> Zugriff: 24. 01. 2013

Austrian Power Clearing and Settlement (2012): Sonstige Marktregeln Strom – Zählwerte, Datenformate und standardisierte Lastprofile. Version 3.3, Wien: APCS.

Austrian Power Clearing and Settlement (2012): Sonstige Marktregeln Strom – Fahrpläne. Version 5.5, Wien: APCS.

Austrian Power Grid: Strommarkt. URL: <<http://www.apg.at/de/markt/strommarkt>> Zugriff: 23. 01. 2013

Blittersdorff A. (2005): Untersuchung ausgewählter Geschäftsvorfälle im liberalisierten Strommarkt auf Vollständigkeit und Eindeutigkeit der Regelung. Diplomarbeit, Hochschule Pforzheim.

Bundeskanzleramt Österreich (2009): Bundesgesetz über die Aufgaben der Regulierungsbehörden im Elektrizitäts- und Erdgasbereich und die Errichtung der Energie-Control GmbH und der Energie-Control Kommission (Energie-Regulierungsbehördengesetz - ERBG). Wien, 2009.

Bundeskanzleramt Österreich (2013): Bundesgesetz, mit dem die Ausübungsvoraussetzungen, die Aufgaben und die Befugnisse der Verrechnungsstellen für Transaktionen und Preisbildung für die Ausgleichsenergie geregelt werden. Wien, 2013.

Xu L., Tjoa A., Chaudhry S. (2008): Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems II. 1. Auflage, Boston: Springer Verlag.

Consentec GmbH (2012): Weiterentwicklung des Ausgleichsenergie-Preissystems im Rahmen des Verfahrens BK6-12-024 der Bundesnetzagentur. Stand 1. Oktober 2012, Aachen.

Dähne C., Electrabell (2005): Bilanzkreis- und Fahrplanmanagement – vor dem Hintergrund des Energiewirtschaftsgesetzes mit der Stromnetzzugangsverordnung (StromNZV). München, 2005.

E-CONTROL GmbH (2011): Das Österreichische Strommarktmodell – Stand April 2011, Wien, 2011.

Fischer K., Rosenkranz C., Rudorfer S. (2012): Handbuch Energiepolitik Österreich. 1. Auflage, Münster: LIT Verlag.

Friedl W., Suessenbacher W., Ennser B. (2012): Marktbasierte Beschaffung von Regelreserve. Graz, 2012.

Heuck K., Dettmann K.-D., Schulz D. (2007): Elektrische Energieversorgung. 7. Auflage, Wiesbaden: Vieweg und Sohn Verlag.

Hirzel S., Sontag B., Rohde C. (2011): Kurzstudie: Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationforschung ISI.

Jackson S. L. (2012): Research Methods and Statistics – A Critical Thinking Approach. 4. Auflage, Belmont CA: Wadsworth Cengage Learning.

Kalpakjian S., Schmid R. S., Werner E. (2011): Werkstofftechnik – Herstellung, Verarbeitung, Fertigung. 5. Auflage, München: Pearson Studium.

Katholische Universität Leuven & Tractabel Engineering (2009): „Study on the interactions and dependencies of balancing markets, intraday trade and automatically activated reserves” – Studie im Auftrag der Europäischen Kommission (DG TREN). 1. Auflage, Leuven, 2009.

Koch S. (2011): Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM. 1. Auflage, Heidelberg: Springer-Verlag.

Nestle D. (2008): Energiemanagement in der Niederspannungsversorgung mittels dezentraler Entscheidung – Konzept, Algorithmen, Kommunikation und Simulation. 1. Auflage, Kassel: kassel university press.

Österreichs Energie: Der Liberalisierte Strommarkt. URL: <<http://oesterreichsenergie.at/Liberalisierung.html>> Zugriff: 18.12.2012

Österreichs Energie: Rahmenbedingungen für die Netzbetreiber /Die Regulierungsbehörde. URL: <<http://oesterreichsenergie.at/rahmenbedingungen-fuer-die-netzbetreiberdie-regulierungsbehoerde.html>> Zugriff: 18.12.2012

Panos K. (2009): Praxisbuch Energiewirtschaft – Energieumwandlung,-transport und – beschaffung im liberalisierten Markt. 2. Auflage, Berlin: Springer-Verlag.

Pfannhauser S. (2005): Strommarktliberalisierung in Österreich – Die Umsetzung der Binnenmarktrichtlinie 2003/54 EG und das Legal Unbundling am Beispiel der LinzAG. 1. Auflage, München: GRIN Verlag.

Poier K., Wieser B. (2011): Steiermärkisches Landesrecht – Band 3: Besonderes Verwaltungsrecht. 1. Auflage, Wien: Springer Verlag.

Regehr C. (2010): Die Förderung erneuerbarer Energien auf dem liberalisierten Elektrizitätsmarkt – Ein Rechtsvergleich zwischen Deutschland und Österreich. 1. Auflage, München: GRIN Verlag.

regelleistung.net – Internetplattform zur Vergabe von Regelleistung: General information on control reserve – technical aspects. URL: <<https://www.regelleistung.net/ip/action/static/techaspects>> Zugriff: 26. 01. 2013

Saller G., Ingenieurbüro Dr. Saller (2010): Energiemanagement- & Fahrplanmanagement als Grundlage des Energieeinkaufs. Siegen, 2010.

Schmidt B., Rudorfer S. (2011): Strom aufwärts: 10 Jahre Liberalisierung des Strommarkts in Österreich. 1. Auflage, Wien: LIT Verlag GmbH.

Schwab A. J. (2012): Elektroenergiesysteme – Erzeugung, Transport, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie. 3. Auflage, Heidelberg: Springer-Verlag.

Stock G. (2008): Forschungsvorhaben – Energieeinsatzoptimierung in der Hüttenindustrie (Schlussbericht). 1. Auflage, Aachen: ProCom GmbH.

Tretter H., Pauritsch G. (2010): Energiewirtschaftlicher Bedarf regelfähiger Kraftwerke. 1. Auflage, Wien: Austrian Energy Agency.

TU-Berlin, Klein D. (2003): Regenergieabrechnung in Deutschland – Transparent oder Black Box?. Berlin, 2003.

Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity – UCTE, european network of transmission system operators for electricity – (ENTSO-E) (2004): UCTE Operation Handbook – P1 Load-Frequency Control and Performance. Version 2.5, Brüssel, 2004.

voestalpine AG (2012): voestalpine Konzernpräsentation für das Geschäftsjahr 2012/13, Wien, 2012.

voestalpine AG (2012): voestalpine, internes Dokument, Donawitz, 2012.

voestalpine AG (2012): voestalpine, interne Prozessdokumentation, Donawitz, 2012.

Werner C. (2009): Optimierung der Unternehmenslogistik durch SAP. 1. Auflage, Hamburg: IGEL Verlag GmbH.

Wirtschaftskammer Oberösterreich, Wirtschaftspolitik und Außenhandel Energiewirtschaft und Energietechnik (2011): Der Energiemarkt 2011. Linz, 2011.

Zeitung Energie & Management Online: Österreich - Ausgleichsenergie: Verursachungsgerecht trotz Kostenumlage. URL: <<http://www.energie-und-management.de/freearchive/Freearchive/feView3/4704.html>> Zugriff: 25. 01. 2013

## **Gespräche und Interviews**

Braun M. (2012), 25.8.2012

Erdkönig N. (2012/13), mehrere Gespräche

Harker M. (2012/13), mehrere Gespräche

Hausenblas E. (2012), 12.7.2012

Kiedl A. (2012/13), mehrere Gespräche

Kräuter A. (2012), 18.9.2012

Kröger S. (2012/13), mehrere Gespräche

O’Leary P. (2012), mehrere Gespräche

Schindler R. (2012), 24.9.2012

Seifert N. (2012), 13.11.2012

## Anhang

