

Investitionen zur Verminderung von Umweltbelastungen
Programm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Luftreinhaltung / Energie

Abschlußbericht

**Emissionsminderung und Energieverbrauchssenkung durch Auskopplung
industrieller Abwärme mittels Thermoölsystemen an stark charginabhängigen
Aluminium-Schmelzöfen**

von

Dipl.-Ing. Uwe Beier

Dr.-Ing. Klaus-Werner Döhl

Dipl.-Ing. Peter Kuhn

Dipl.-Ing. Stefan Thielen

Aluminium Norf GmbH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin

November 2003

Berichts-Kennblatt

Berichtsnummer 1. UBA 70 441- 5 / 8	2.	3.
4. Titel des Berichts Emissionsminderung und Energieverbrauchssenkung durch Auskopplung industrieller Abwärme mittels Thermoölsystemen an stark chargenabhängigen Aluminium-Schmelzöfen		
5. Autor (en), Name (n), Vorname (n) Beier, Uwe, Dipl.-Ing. Döhl, Klaus-Werner, Dr.-Ing. Kuhn, Peter, Dipl.-Ing. Thielen, Stefan, Dipl.-Ing.		8. Abschlußdatum 30. Juni 2002
		9. Veröffentlichungsdatum November 2003
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Aluminium Norf GmbH Koblenzer Str. 120 41468 Neuss		10. Vorh.-Nr. 20007
		11. Seitenzahl 110 plus Anhang Dokumentation
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 14193 Berlin		12. Literaturangaben 14
		13. Tabellen u. Diagramme 15
		14. Abbildungen 58
15. Zusätzliche Angaben Das Demonstrationsvorhaben ist Teil einer Kooperation mit den Stadtwerken Neuss, die ca. 50 % der Abwärme nutzen und zur Fernwärmeversorgung des Wohngebietes Neuss-Allerheiligen einsetzen.		
16. Kurzfassung Ausgehend von der bis 1996 hauptsächlich eingesetzten Rekuperatortechnik zur Brennluftvorwärmung an Aluminium-Schmelzöfen wurden Thermoölsysteme für den direkten Einsatz im heißen und korrosiven Abgas entwickelt und erstmals an diesen Öfen großtechnisch eingesetzt. Mit diesen Thermoölsystemen wurde die Brennlufttemperatur auf bis zu 550 °C gesteigert und eine Abwärmeauskopplung zur Prozeßwärme- und Fernwärmeversorgung von bis zu 23 MW betrieblich erprobt. Im Endausbau können 10 Mio. m³ Erdgas pro Jahr eingespart werden, was einer CO ₂ -Vermeidung von 18.900 t pro Jahr entspricht. Gleichzeitig führt die Rückgewinnung der Abwärme bei hoher Temperatur von ca. 600 °C dazu, daß der Abgasvolumenstrom um 50 % gesenkt werden kann. Nachgeschaltete Abgasreinigungsanlagen sind so wesentlich kleiner zu dimensionieren. Im Projekt konnte die Emission – bezogen auf 1 t gegossene Aluminium-Walzbarren – bei Staub auf 9 g/t und bei HCl auf 14 g/t gesenkt werden.		
17. Schlagwörter Luftreinhaltung, Emissionsminderung, Energieeinsparung, Thermoöl, Schmelzöfen, Aluminium		
18.	19.	20.

Report-Coversheet

1. UBA II 70 441- 5 / 8	2.	3.
4. Report Title Reduction of emission and energy consumption by utilization of industrial waste heat by means of thermal oil systems at strictly batch oriented aluminium remelt furnaces		
5. Author (s), Family Name (s), First Name (s) Beier, Uwe, Dipl.-Ing. Döhl, Klaus-Werner, Dr.-Ing. Kuhn, Peter, Dipl.-Ing. Thielen, Stefan, Dipl.-Ing.		8. Report Date 30. June 2002
		9. Publication Date November 2003
6. Performing Organisation (Name, Address) Aluminium Norf GmbH Koblenzer Str. 120 41468 Neuss		10. Report-No. 20007
		11. No. of Pages 110 plus appendix documentation
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt Bismarckplatz 1 14193 Berlin Germany		12. No.of References 14
		13. No. of Tables, Diagr. 15
		14. No. of Figures 58
15. Supplementary Notes The demonstration project is part of a cooperation with the municipal services Neuss which use about 50 % of the waste heat for district heating in the housing area Neuss Allerheiligen		
16. Abstract Recuperators were - until 1996 - the main technology for preheating combustion air for aluminium remelt furnaces. To improve this technology thermal oil systems for use in hot and corrosive exhaust gas were developed und for the first time applied on a commercial scale at these furnaces. With these systems the combustion air temperature raised up to 550 °C and the waste heat utilization of up to 23 MW was tested in industrial operation. In the final extension of the project 10 Mio. m³ natural gas per year can be saved which corresponds to a CO ₂ -reduction of 18.900 t per year. Simultaneously the waste heat utilization at a high temperature level of about 600 °C reduces the volumetric waste gas flow rate by 50 %. Subsequent waste gas cleaning plants can be sized substantially smaller. By this project the emission could be reduced – based on 1 t casted Al-ingot – for particulates to 9 g/t and for chlorides to 14 g/t.		
17. Keywords Air pollution control, Emission reduction, Energy saving, Thermal oil, Remelt furnaces, Aluminium		
18.	19.	20.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungen	3
Vorwort	4
1. Einleitung	5
2. Aufgabenstellung und Ziele	7
3. Durchführung des Demonstrationsvorhabens	9
3.1 Ausgangssituation an den Schmelz-/Gießanlagen	9
3.1.1 Schmelzofen	9
3.1.2 Gießofen und Gießanlage	11
3.2 Zeitlicher Ablauf	12
4. Bau der Abgasreinigungsanlage 2 mit Thermoölsystem	14
5. Ergebnisse zur Emissionsminderung	16
5.1 Reduzierung des Abgasvolumenstroms	17
5.2 Emissionsminderung für Staub	18
5.3 Emissionsminderung für Chlor und Chloride	22
5.3.1 Verbesserung der Natronlauge-Wäscher	22
5.3.2 Abscheidung im Gewebefilter	24
5.3.3 Analyse des Mengenflusses von Chlor	27
5.4 Kontinuierliche Emissionsmessung für Staub, HCl und NOx	28
5.5 Dioxine	30
5.6 Abfälle	31
6. Abwärmeauskopplung an den Schmelzöfen	33
6.1 Chargenabhängiger Temperaturverlauf am Schmelzofen	33
6.2 Wärmeauskopplung mittels Thermoöl	34
7. Abwärme zur Prozeßwärme- und Fernwärmeversorgung	37
7.1 Bau und Inbetriebnahme der Fernwärmeversorgung	37
7.2 Prozeßwärmeversorgung im Werk	38
7.3 Erneuerung und Inbetriebnahme Kesselhaus	39
8. Ergebnisse zur Energieeinsparung und CO ₂ -Minderung	41
8.1 Energieeinsparung durch Abwärmenutzung	41
8.2 CO ₂ -Emissionsbilanz	45

	Seite
9. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Technologietransfer	47
9.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	47
9.1.1 Investitionskosten	47
9.1.2 Betriebskosten Thermoölsysteme.....	49
9.1.3 Betriebskosten Abgasreinigungen AGR 2 und AGR 3	50
9.2 Technologietransfer	50
10. Schlußbemerkungen	52
Literaturangaben	54
Tabellenanhang	55
Bildanhang	68
Anhang Dokumentation	111

Abkürzungen

AGR	Abgasreinigung
Al	Aluminium
BImSchG	Bundes-Immissionsschutz-Gesetz
GO	Gießofen
HCl	Chlorwasserstoff
KL	Kühlluft
LUVO	Luftvorwärmer
MSR	Meß-, Steuer- und Regelungstechnik
NATO/CCMS	Norm, die Toxizitätsäquivalente für PCDD/F vorgibt
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo Dioxine
Reku	Rekuperator zur Brennluftvorwärmung mittels Abgas
RGI	Rotierende Gas-Injektion
SGA	Schmelz-/Gießanlage
SO	Schmelzofen
UMK	Umweltministerkonferenz
WT	Wärmetauscher

Anmerkung

$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ Volumenstrom im Normzustand pro Stunde.
Alle Volumenstromangaben in diesem Bericht sind bezogen auf den Normzustand. Dies ist auch dann der Fall, wenn in Tabellen oder Diagrammen aus Vereinfachungsgründen der Index N fehlt.

Vorwort

Die Aluminium Norf GmbH betreibt nach dem Werksausbau in den Jahren 1991 bis 1994 mit 2 Warmwalzstraßen und 5 Kaltwalzen eines der weltgrößten Aluminium-Walzwerke. Der beim Warmwalzen und Kaltwalzen von bis zu 1.500.000 t Aluminium-Walzband anfallende Fertigungsschrott wird im Schmelzbereich wieder zu Walzbarren umgearbeitet. Dazu werden 13 Schmelz-/Gießanlagen betrieben.

Alunorf bekennt sich zu einem integrierten Umweltschutz. Dies ist dokumentiert in der Validierung nach EG-Öko-Audit-Verordnung sowie der Zertifizierung nach der internationalen Umweltnorm ISO 14001. In diesem Zusammenhang ist der Energieverbrauch bzw. die Energienutzung von besonderer Bedeutung. Aufgrund der großen Ofeneinheiten und der eingesetzten modernen Technik im Bereich des Schmelzbetriebs wurden seit Werksgründung vergleichsweise geringe spezifische Energieverbräuche für das Schmelzen und Gießen von Aluminium-Walzbarren erreicht. Eine weitergehende Nutzung der Abwärme im Prozeß selber ist jedoch aufgrund der erreichbaren Temperaturniveaus begrenzt. Daher sollte die anfallende Abwärme auch anderweitig genutzt werden. In den Stadtwerken Neuss wurde dafür ein verlässlicher Partner gefunden, mit dem dieses Demonstrationsvorhaben erfolgreich zum Ziel geführt werden konnte.

In dem modellhaften Vorhaben wurden umfangreiche anlagentechnische Verbesserungen zur Wärmenutzung implementiert. Die errichteten Anlagen und die erreichte Verbesserung der Wärmenutzung werden im vorliegenden Bericht dokumentiert. Gleichzeitig konnten die Emissionen des Schmelzbetriebs noch weiter abgesenkt werden.

Für Alunorf war die Durchführung dieses Projektes eine Herausforderung gleich in mehrfacher Hinsicht:

- Es mußten technisch anspruchsvolle Lösungen entwickelt werden, um bei der stark instationär anfallenden Abwärme aus Chargenprozessen die kontinuierliche Wärmeversorgung über die Fernwärme sicherzustellen.
- Weiterhin mußte sicherheitstechnisch und betrieblich Neuland betreten werden, als es darum ging, bis zu 1.250 °C heißes Abgas mit Hilfe von Thermoöl abzukühlen.
- Auch von kaufmännischer Seite mußten neue Wege beschritten werden, denn für den Wärmeabnehmer sind langfristige Verträge zur Sicherstellung der Wärmeversorgung essentiell. Ein Produktionsunternehmen kann allerdings selten über 5 Jahre hinaus feste Zusagen eingehen. Nun mußten Verträge über eine Zeit von 15 Jahren geschlossen werden. Alunorf hat sich hierzu entschlossen, obwohl erhebliche Umwälzungen durch die Liberalisierung im Energiebereich zu erwarten waren.

Das Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Programms zur Förderung von Demonstrationsvorhaben gefördert, wofür an dieser Stelle ganz herzlich gedankt sei. Die Projektbetreuung lag bei der Deutschen Ausgleichsbank und dem Umweltbundesamt in Berlin. Unterstützt wurde das Projekt auch mit einem zinsgünstigen ERP-Darlehen.

Für die Hilfestellung bei der Bewilligung der Fördermittel und die intensive Unterstützung des Projektes danken wir vor allem den Mitarbeitern des Umweltbundesamts. Gleichzeitig danken wir der Stadt Neuss und unserem Kooperationspartner der Stadtwerke Neuss GmbH für die fruchtbare Zusammenarbeit und das uns entgegengebrachte Vertrauen.

1. Einleitung

Die Aluminium Norf GmbH produziert seit 1967 im Industriegebiet Norf/Uedesheim bei Neuss am Rhein. Aus dieser örtlichen Verbundenheit hat sich als Kurzbezeichnung das Unternehmenslogo Alunorf entwickelt.

Gegründet wurde die Aluminium Norf GmbH 1965 durch die Alcan Deutschland GmbH, Tochter der Alcan Inc., Montreal und die frühere VAW aluminium AG heute Hydro Aluminium Deutschland GmbH. Ziel war der Bau und Betrieb eines Walzwerkes für den wachsenden Aluminiummarkt in Europa.

Seit der Gründung wuchs das Werk. Die größte Erweiterung war das 1990 beschlossene, 1995 fertiggestellte zweite Warmwalzwerk einschließlich des Ausbaus der Kaltbandfertigung und neuer Schmelz-/Gießanlagen. Damit hatte sich die Produktionskapazität fast verdoppelt und bietet heute über 2.100 Mitarbeitern Arbeit.

Bild 1 zeigt eine Luftaufnahme des Werkes. Das Industriegelände der Alunorf umfaßt ca. 58 Hektar. Das Gelände ist über die Bundesstraße B9 an die Bundesautobahnen A 46 und A 57 angebunden und wird über die Rheinhäfen Stürzelberg und Neuss, sowie eine Industriebahn versorgt. So kommt ein großer Teil der Anlieferungen umweltfreundlich per Schiff und Bahn ins Werk.

Alunorf betreibt 2 Warmwalzstraßen und 5 Kaltwalzen zur Herstellung von hochwertigem Aluminiumwalzband. Angeschlossen ist ein Schmelzwerk mit 13 Schmelz-/Gießanlagen, in dem der beim Warmwalzen und Kaltwalzen sowie beim Beschneiden des Aluminiumbandes anfallende Fertigungsschrott wieder eingeschmolzen wird. Walzanlagen und Schmelzwerk stellen einen integrierten Fertigungsprozeß dar, der vom flüssigen Aluminium bis zum fertigen Halbzeug reicht. Das Halbzeug – also hochwertiges warm- und kaltgewalztes Aluminiumblech – wird in Banddicken von 0,2 bis 6 mm in Form von Coils ausgeliefert. **Jährlich werden rund 1.300.000 t Aluminiumband produziert.**

Die fertig verpackten **Aluminiumbänder** werden per Bahn oder LKW zur Weiterbearbeitung an die Werke der Alcan und der Hydro Aluminium versandt. Dort werden daraus **Endprodukte** für den Verpackungsmarkt, den Druckbereich, die Bauindustrie und den Verkehrsbereich hergestellt. Beispiele sind Menüschalen, Getränkedosen, Deckel und Schraubverschlüsse, Aluminium-Folie, Offset-Druckplatten, Fassadenbleche und Bedachungsprofile, Aufbauten für Eisenbahnwagen und LKW sowie verschiedene Anwendungen im PKW.

Die Fertigung ist an hohen Qualitätsstandards ausgerichtet und ist zertifiziert nach ISO TS 16 949. Gleichzeitig stehen Produktion und Produktionsverfahren am Standort Neuss im weltweiten Wettbewerb mit anderen Werken. Auch für den Arbeitsschutz sowie für den Umweltschutz gelten hohe Anforderungen. Das Umweltmanagement ist sowohl nach ISO 14 001 wie auch nach EMAS zertifiziert [1].

Bild 2 zeigt einen Überblick zum Stofffluß in der Produktion für das Jahr 2002. **Ausgangsbasis für den Walzprozeß sind sogenannte Walzbarren**, die von unterschiedlichen

meist europäischen Hüttenwerken überwiegend per Schiff und Bahn angeliefert werden. Im ersten Fertigungsschritt werden die bis zu 32 t schweren Walzbarren an Kopf und Fuß gesägt und die Gußhaut wird abgefräst. Anschließend werden sie vor dem Warmwalzen in erdgasbefeuerten Vorwärmöfen unterschiedlicher Bauart auf ca. 500 °C erwärmt. Es folgt das Warmwalzen wobei in einem Arbeitsgang aus einem 9 m langen Walzbarren ein 2 bis 6 mm dickes und bis zu 2,4 km langes Aluminiumwalzband entsteht, das aufgerollt wird (Coil).

Im weiteren Fertigungsprozeß schließt sich das Kaltwalzen an. Dabei wird das Band in 3 bis 4 einzelnen Walzdurchläufen auf rund 0,2 mm heruntergewalzt. Zwischen den einzelnen Kaltwalzdurchläufen wird das Coil je nach Produktvorschrift noch in Bundglühöfen unter Schutzgas bei 300 bis 400 °C geglüht.

Sämtliche Fertigungsschrotte wie abgesägte Kopf- und Fußstücke der Walzbarren, Späne, Kantenbesäumschrotte usw. fließen zurück zum Schmelzwerk. Dort werden die eigenen Schrotte mit Fremdschrotten, Recyclingmaterial und Legierungsmetall in 13 erdgasbeheizten runden Schmelzöfen eingeschmolzen. Nach dem Einschmelzen wird die Schmelze in ebenfalls erdgasbeheizte Gießöfen überführt und metallurgisch behandelt. Vom Gießofen aus gelangt das flüssige Aluminium zur Stranggußanlage wo erneut schwere Walzbarren mit Stückgewichten bis 32 t erzeugt werden.

Eine detaillierte Beschreibung des Produktionsablaufes findet sich in der Umwelterklärung 2001, die auf Wunsch gerne zur Verfügung gestellt wird [1].

2. Aufgabenstellung und Ziele

Bei dem Produktionsablauf der Alunorf handelt es sich um einen energieintensiven Fertigungsprozeß. Bis zu 15 % der Produktionskosten sind Kosten für Energie. Als wesentliche Energieträger kommen Erdgas und elektrischer Strom zum Einsatz. Desweiteren wird in erheblichem Umfang Prozeßwärme in Form von Heißwasser benötigt.

Auf der anderen Seite wird im Produktionsablauf auch Abwärme frei, die bisher nur zum Teil zurückgewonnen werden kann. Hier sind vor allem die Schmelz-/Gießanlagen für die Aufarbeitung der anfallenden Aluminium-Walzschrötte zu nennen. Als Nutzung der im Abgas von Aluminium-Schmelzöfen vorhandenen Abgaswärme ist bisher nur die Brennlufthvorwärmung üblich. Damit bleibt ein Abgasstrom, der meist noch rund 600 °C und darüber aufweist, ungenutzt. Für diesen üblichen Ausgangszustand sind im wesentlichen zwei Gründe verantwortlich:

- Die im Schmelz- und Gießprozeß anfallenden, heißen Abgase sind durch die Schmelzebehandlung mit Chlor oder Schmelzebehandlungssalzen stark korrosiv. Zusätzlich handelt es sich um einen chargenweisen Prozeßablauf, wobei die Werte für Volumenstrom, Temperatur und Schadstoffkonzentration im Abgas stark variieren. Es fehlt somit eine Technik zur Auskopplung der Abgaswärme, die im betrieblichen Alltag erprobt wurde und die ihre Tauglichkeit und Wirtschaftlichkeit erwiesen hat.
- Häufig gibt es für die Nutzung von zusätzlicher Abwärme keine sinnvollen Verbraucher. Dies vor allem deshalb, weil die bisher verfügbaren Techniken zur Wärmeauskopplung es kaum erlauben, Heißwassertemperaturen größer als 110 °C zu erzeugen, so daß vorhandene Wärmeverbraucher mit höherem Temperaturbedarf nicht versorgt werden können. Weiterhin sind Projekte zur Energieeinsparung aufgrund hoher Investitionskosten fast immer nur langfristig wirtschaftlich.

Als Aufgabenstellung für dieses Projekt galt es daher im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens aufzuzeigen und betrieblich zu erproben, in welcher Weise die bisher übliche Technik zur Emissionsminderung und Wärmerückgewinnung sowie Wärmeeutzung an Aluminium-Schmelzöfen verbessert werden kann.

Wesentliche Ziele des geplanten Demonstrationsvorhabens sind dabei:

1. Reduzierung der Abgasmenge von 1,3 auf 0,7 Mio. m³_N/h durch Aufbau verbesserter Abgassysteme und Verringerung von Kühlluft einblasungen mit dem Ziel Abwärme auf einem höheren Temperaturniveau auskoppeln zu können.
2. Einbau und Erprobung von Thermoölsystemen zur Wärmeauskopplung und gleichzeitigen Kühlung der Abgase von ca. 600 °C auf 160 °C auch bei stark schwankenden Betriebsverhältnissen und korrosivem Abgas.
3. Aufbau und Erprobung einer zweistufigen HCl-Abscheidung für die Gießöfen zur Reduzierung der HCl-Emission bei minimalem Anfall von Filterstaub.

4. Nutzung der zurückgewonnenen Abwärme für die:

- Erhöhung der Brennlufttemperatur an den Schmelzöfen (prozeßinterne Wärmenutzung)
- Verdrängung von Erdgas im Kesselhaus (werksinterne Wärmenutzung)
- Versorgung des Neubaugebietes Neuss-Allerheiligen mit Fernwärme durch Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Neuss (werksexterne Wärmenutzung).

Insbesondere für den 4. Punkt der zuvor genannten Ziele bot sich durch die Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Neuss die einmalige Chance, überschüssige industrielle Abwärme sowohl zur werksinternen Prozeßwärmeversorgung als auch zur Fernwärmeversorgung zu nutzen. **Bild 3** zeigt dazu einen Ausschnitt aus der Topographischen Karte. In südwestlicher Richtung wird in 1 bis 2 km Entfernung zum Werkszaun der Alunorf in den kommenden Jahren das Wohngebiet Allerheiligen entwickelt. Diese Entwicklungsmaßnahme der Stadt Neuss soll für bis zu 4.000 Einwohner neuen Wohnraum schaffen. Zur Beheizung und Warmwasserversorgung der neu zu errichtenden Wohnungen kann anfallende Abwärme in Form von Fernwärme genutzt werden. Diese weitergehende externe Nutzung der Abwärme zur Fernwärmeversorgung erfordert allerdings auch dann eine Wärmelieferung, wenn die Produktion stillsteht und Abwärme nicht anfällt.

Mit den Stadtwerken Neuss wurde daher vereinbart, durch Einbindung des Kesselhauses der Alunorf eine gesicherte Fernwärmeversorgung aufzubauen. Dadurch wird es möglich, in Schwachlastzeiten der Fernwärme wie z. B. im Sommer die anfallende Abwärme zur Prozeßwärmeversorgung in das werkseitig bestehende Heißwassersystem von Alunorf einzukoppeln. Das bisher dafür in den Heizkesseln verfeuerte Erdgas wird dann durch Abwärme verdrängt.

Die besondere Chance für das Gesamtprojekt mit den Abhängigkeiten Thermoöl / Heißwassernetz / Wärme ist darin begründet, daß weder Alunorf, noch die Stadtwerke Neuss jeweils für sich derartige Systeme errichten würden. Alunorf nicht, weil die Amortisationszeiten von 6 bis 8 Jahren weit über die in der Industrie üblichen Zeiten hinaus gehen. Die Stadtwerke nicht, weil die klassische Fernwärmeversorgung bei der heutigen hohen Wärmedämmung und der geringen Wohnbebauungsdichte sich nicht rechnet. Erst die kostenlose Bereitstellung der Abwärme für die Stadtwerke durch Alunorf und die Investition in ein Heißwassernetz durch die Stadtwerke, mit Nutzungsrecht für beide Partner, verbunden mit den erheblichen Emissionsminderungen im Neubaugebiet sowie an den Schmelz-/Gießanlagen machen dieses Gesamtprojekt so aussichtsreich.

3. Durchführung des Demonstrationsvorhabens

Das geförderte Demonstrationsvorhaben baut auf Ergebnissen auf, die Alunorf zuvor in eigener Verantwortung allein finanziert hatte. Ohne diese grundlegenden Kenntnisse im Hinblick auf das sicherheitstechnische Verhalten von Thermoölsystemen bei Störungen und im Schadensfall wäre die großtechnische Anwendung nicht zu vertreten gewesen. Desweiteren war das Demonstrationsvorhaben eingebunden in einen mehrjährigen Umbauprozess der Schmelz-/Gießanlagen der von vornherein als nicht förderungsfähig angesehen und somit auch nicht als Demonstrationsvorhaben gefördert worden ist. Gleichwohl definieren diese nicht geförderten Umbaumaßnahmen wichtige Schnittstellen, um das Förderprojekt in seiner betrieblichen Erprobung überhaupt durchführen zu können.

Das Demonstrationsvorhaben der Alunorf zur Emissionsminderung und Abwärmeauskopplung ist in enger Verzahnung mit dem Förderprojekt der Stadtwerke Neuss zur Abwärmenutzung im Neubaugebiet Allerheiligen durchgeführt worden. Erst durch die Bündelung und weitreichende Verknüpfung werksinterner und werksexterner Wärmeverbraucher wurde es möglich, die anfallende Abwärme in solch hohem Maße zu nutzen. Die dafür erforderliche Kooperation zwischen Industrie, öffentlicher Versorgung und Kommune darf als beispielhaft bezeichnet werden.

3.1 Ausgangssituation an den Schmelz-/Gießanlagen

Im Aluminium-Schmelzwerk werden 13 Schmelz-/Gießanlagen (SGA) betrieben. Jährlich werden rund 800.000 t Aluminiumschrott eingeschmolzen und wieder zu Walzbarren aufgearbeitet. Jede Schmelz-/Gießanlage besteht aus einem runden Schmelzofen (SO) und einem zylindrischen Gießofen (GO). **Bild 4** zeigt einen Überblick zum Abgassystem an den Schmelz-/Gießanlagen. Die Schmelz-/Gießanlagen sind von 1 bis 13 durchnummeriert. In dieser Richtung von 1 nach 13 sind die Anlagen technisch weiterentwickelt worden und in der Größe gewachsen. Die älteren und kleineren Anlagen haben ein Fassungsvermögen von 42 t Schmelze während die jüngeren und größeren Anlagen bis zu 120 t Schmelze fassen.

Jede Schmelz-/Gießanlage hatte bis 1996 eine separate Abgaserfassung. Die Abgase des Schmelzofens und des Gießofens einschließlich der Abgase aus den Abgaswäschern der Gießöfen wurden je Anlage über einen eigenen Kamin abgeleitet. Jede einzelne Schmelz-/Gießanlage konnte somit vollkommen unabhängig von anderen Anlagen allein betrieben werden. Die Summation aller Abgasströme erreichte im Maximum rund 1,3 Mio. m³_N/h. Allerdings waren durch den Chargenprozeß nicht ständig alle Anlagen auf Vollast. Der ablaufende Chargenprozeß wird im Folgenden für den Schmelzofen und den Gießofen beschrieben.

3.1.1 Schmelzofen

Bild 5 zeigt beispielhaft den Schmelzofen 13 während der Befüllung mit geöffnetem Ofendeckel. Mittels eines Chargierkorbes wird Festmetall aus dem Metallrücklauf der Walzanlagen in den runden Herdschmelzofen eingefüllt. Neben Festmetall kann flüssiges Recyclingmaterial oder flüssiges Metall aus den Induktionsöfen hinzugegeben wer-

den. Das Einschmelzen erfolgt dann an diesem Ofen mit 120 t Fassungsvermögen durch 6 Erdgasbrenner, die zusammen in Vollast eine Feuerungswärmeleistung von 24 MW erbringen. Der Schmelzvorgang wird im Verlauf des Einschmelzens durch ein- oder mehrmaliges Verteilen und Rühren unterstützt. Dazu wird der Schmelzvorgang durch Reduzieren der Erdgasmenge auf ca. 10 % kurzfristig unterbrochen. Das im Ofen befindliche Festmetall wird mit einem an einem Gabelstapler montierten Werkzeug (Rührschild) durch die Ofentür über die gesamte Herdfläche verteilt.

Das Einschmelzen einer Charge von 120 t Aluminium dauert 5 bis 6 Stunden. Je nach Schmelzfortschritt wird die Brennerleistung zurückgeregelt. In der Vollastphase steigt die Abgastemperatur auf bis zu 1.350 °C an. Die Endtemperatur der Aluminium-Schmelze beträgt ca. 720 °C.

Bild 6 zeigt eine schematische Darstellung einer Schmelz-/Gießanlage mit Angabe der verschiedenen Abgasströme. Ergänzend dazu sind in **Bild 7** die Volumenströme und Temperaturverhältnisse gemessen für die Schmelz-/Gießanlagen 9 und 10 graphisch dargestellt. Die maßstäbliche Auftragung der verschiedenen Volumenströme läßt erkennen, daß das wärmetechnische und das emissionsrelevante Verhalten einer Schmelz-/Gießanlage eng miteinander verknüpft sind. Die aus dem Schmelzofen austretende Abgaswärme wird an allen 13 Schmelzöfen zur Brennluftvorwärmung genutzt. Dazu waren die Schmelzöfen 1 bis 12 zu Beginn des Demonstrationsvorhabens bis 1996 ausschließlich mit Rekuperatoren zur Brennluftvorwärmung ausgerüstet. Diese metallischen Rekuperatoren gestatten eine Brennluftvorwärmung von maximal 440 °C. Allerdings können sie aufgrund der hohen Abgastemperatur bis 1.350 °C nicht direkt das heiße Abgas vertragen. In den Abgasfuchs wird daher ständig Kühlluft eingeblasen, so daß am Eintritt in den Rekuperator die Abgastemperatur auf 850 bis 900 °C absinkt. Andernfalls würden die metallischen, hochwarmfesten Rekuperatorrohre in kürzester Zeit verzundern und damit zerstört. Nach dem Rekuperator beträgt die Abgastemperatur, abhängig von der einzelnen Schmelz-/Gießanlage 500 bis 700 °C. Der Kühlluftvolumenstrom beträgt abhängig von der Größe des Ofens zwischen 30 bis 80 % des heißen Abgasstroms. Die geringeren Werte betreffen die kleineren und älteren Anlagen, die höheren Werte betreffen die neueren und größeren Anlagen.

Aufgrund der aggressiven Abgasbestandteile beträgt die Standzeit der Rekuperatoren ca. 4-5 Jahre. Unter ungünstigen Betriebsbedingungen, wenn z. B. Krätzsalze verwendet werden, können teilweise auch nur 2 Jahre erreicht werden. Eine wirtschaftliche Wärmerückgewinnung ist dann allerdings nicht mehr gegeben.

Die Wärmeverluste bei Einsatz von Rekuperatoren zur Brennluftvorwärmung erreichen damit an Aluminium-Schmelzöfen immer noch 40 bis 45 %. Außer zur Brennluftvorwärmung fand bis 1996 keine weitere Nutzung der Abgaswärme an den Schmelzöfen statt.

Ab 1996 ging mit dem Schmelzofen 13 ein erster regenerativ beheizter Ofen in Betrieb [2]. Die mittlere Brennlufttemperatur kann damit bis auf 1.050°C gesteigert werden [3-5]. Betrieblich werden heute im Mittel 950°C Brennlufttemperatur erreicht. Als Regeneratorspeichermasse werden an den 6 Brennern keramische Wabenkörper eingesetzt, die sich als sehr wartungsarm bewährt haben. Weiterhin ist der Druckverlust mit Wabenkörpern wesentlich geringer als bei Kugelschüttungen, wodurch die Stromkosten für Brennluft- und Abgasventilator erheblich geringer sind. Der Wärmeverlust im Abgas sinkt an einem regenerativ beheizten Schmelzofen damit auf rund 25 % ab.

Mit dieser Ausgangslage stellten die Schmelzöfen – bei einem Energieeinsatz von fast 60 Mio. m³ Erdgas pro Jahr – ein erhebliches Potential zur Auskopplung von industrieller Abwärme dar. Allerdings ist neben den reinen wärmetechnischen Anforderungen – wie schon angedeutet – auch die Emissionsseite von entscheidendem Einfluß, wie anhand von Bild 6 und Bild 7 im Folgenden weiter aufgezeigt wird.

3.1.2 Gießofen und Gießanlage

Nach Beendigung des Einschmelzens im Schmelzofen wird die Krätze, also der oxidierte Aluminiumanteil der auf der Badoberfläche aufschwimmt, durch die Ofentür in Tiegel abgezogen.

Anschließend fließt die Schmelze mit rund 720 °C durch eine Überföhrungsrinne in den Gießofen. Im Gießofen wird über mehrere Lanzen ein Stickstoff-Chlorgemisch (90 % N₂/ 10 % Cl₂) in die Schmelze eingeblasen und eine Schmelzebehandlung vorgenommen. Durch das Dispergieren des Spölgases in der Aluminium-Schmelze werden unerwünschte Begleitelemente wie Wasserstoff, Alkali- und Erdalkalielelemente sowie nichtmetallische Bestandteile an die Badoberfläche gebracht. Dort entweichen sie entweder gasförmig oder werden in der sich bildenden Krätze eingebunden.

Während der Spölgasbehandlung ist der Gießofen geschlossen. Bei Unterdruck im Gießofen werden die entstehenden Abgase kontinuierlich abgesaugt und über einen Wäscher gereinigt. Der Wäscher wird mit 5 bis 10 prozentiger Natronlauge (NaOH) als Waschflüssigkeit betrieben.

Die entstandene Krätze wird durch eine am Gießofen befindliche Reinigungstür in Tiegel abgezogen. Eventuell entstehende Abgase und Stäube werden über die Abgashauben des Gießofens bzw. eine an der Tür befindliche Haube abgesaugt. Hierbei entstehen erhebliche Abluftströme, die durch die vorangegangene Chlorierung stark korrosiv wirken. Die Gießofenkrätze wird analog zur Krätze aus dem Schmelzofen abgekühlt und zur Aufarbeitung an Dritte abgegeben.

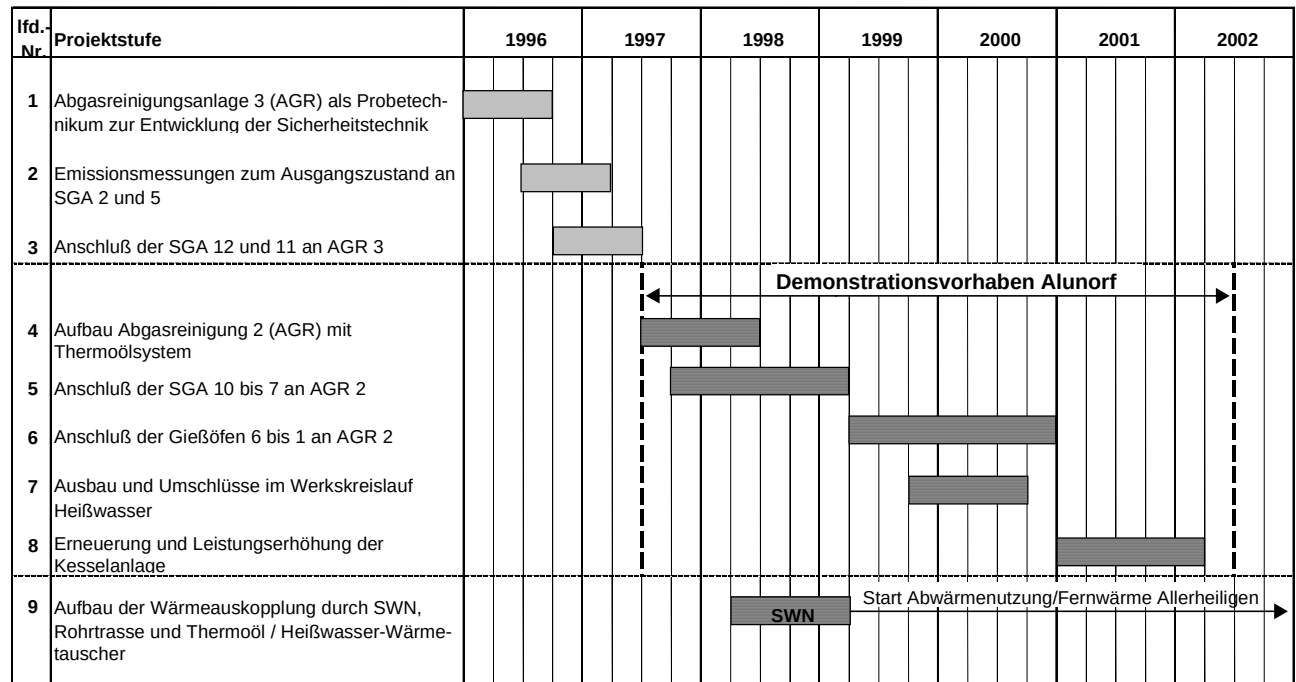
Nach einer Abstehtzeit zur Beruhigung der Schmelze wird der Gießofen hydraulisch gekippt und das flüssige Aluminium gelangt über Rinnen und Verteiler zur Stranggußmaschine. **Bild 8** zeigt einen Gießofen während des Gießvorgangs. Während des Gießens wird durch die am Gießofen vorhandenen Erdgasbrenner eine konstante Gießtemperatur von rund 720 °C gehalten. Die dabei entstehenden Abgase werden über einen speziellen Abzug erfaßt und über eine der Abgashauben zum Kamin des Schmelzofens geführt.

Auf dem Weg zur Stranggußanlage fließt die Schmelze durch eine Flotationseinrichtung und ein mechanisches Gießfilter. In mehreren nebeneinander angeordneten wassergekühlten Kokillen wird das schmelzflüssige Aluminium dann zu Walzbarren mit bis zu 9 m Länge vergossen. **Bild 9** zeigt einen 32 t schweren Walzbarren nach der Abkühlung auf dem Weg zur Weiterverarbeitung ins Walzwerk.

Während im Gießofen eine Schmelze metallurgisch behandelt und anschließend vergossen wird, läuft im vorgelagerten Schmelzofen schon das Einschmelzen der nächsten Charge ab. Dieser zyklische Chargenprozeß am Gießofen und Schmelzofen dauert jeweils rund 5 bis 6 Stunden. Insgesamt vergehen 10 bis 12 Stunden bis aus einem Schrottberg wieder ein Walzbarren hergestellt worden ist.

3.2 Zeitlicher Ablauf

Der folgende Balkenplan zeigt den zeitlichen Ablauf der Arbeiten. Im Vorfeld des Demonstrationsvorhabens (Ild.-Nr. 1 u. 2) standen Entwicklungsarbeiten zur Sicherheitstechnik des Thermoölkonzeptes und zur Istaufnahme des Ausgangszustandes insbesondere an den Schmelz-/Gießanlagen 2 und 5. Die Daten des Ausgangszustandes – also vor Durchführung der Umbaumaßnahmen – bilden die Grundlage für einen späteren Vergleich vorher/nachher. Desweiteren wurden die Schmelz-/Gießanlagen 12 und 11 mit 2 Thermoölwärmetauschern (Schockbündel) ausgerüstet und an das Thermoölssystem der Abgasreinigung 3 angeschlossen (Ild.-Nr. 3).



Balkendiagramm zum zeitlichen Ablauf

Das Demonstrationsvorhaben startete Mitte 1997 mit dem Aufbau der Abgasreinigung 2 (Ild.-Nr. 4) und wurde Ende Juni 2002 erfolgreich abgeschlossen. Parallel dazu wurde auch das Projekt der Stadtwerke Neuss, SWN begonnen (Ild.-Nr. 9). Wesentlicher Umfang in dem ergänzenden Projekt der SWN war die Errichtung eines Heißwassernetzes mit einer Rohrtrasse vom Werkszaun am Energiezentrum 2 quer durch das Werk zum Kesselhaus. Das **Bild 10** zeigt hierzu einen schematischen Werksplan mit der eingezeichneten Rohrtrasse. Die Rohrtrasse verbindet zum einen das Fernwärmegebiet Allerheiligen mit den Abgasreinigungen 3 und 2, in denen die Abwärme ausgekoppelt wird. Zum anderen verbindet sie die Abgasreinigung 2, in der auch die Fernwärmezentrale untergebracht ist, mit dem Kesselhaus am Energiezentrum 1.

Bild 10 zeigt weiterhin in der Schmelzerei die Anordnung der Schmelz-/Gießanlagen (SGA) 1 bis 13 von Nordost nach Südwest. In der perspektivischen Ansicht in **Bild 11** wird eine Übersicht aus der Planungsphase der Abgasreinigungsanlagen (AGR) gezeigt. An die Abgasreinigung 3 sind die SGA 11 bis 13 angeschlossen. An die im Vorhaben errichtete Abgasreinigung 2 wurden dann stufenweise die SGA 10 bis 7 (Ild.-Nr. 5) und anschließend die Gießöfen 6 bis 1 (Ild.-Nr. 6) angeschlossen.

Neben den Umbauten zur Emissionsminderung wurden in den Projektstufen (Ild.-Nr. 7 und 8) die Maßnahmen zum Ausbau der Thermoölsysteme und des Kesselhauses realisiert. Seit Februar 1999 wird das Neubaugebiet Allerheiligen durch die Abwärme aus den Schmelz-/Gießanlagen beheizt. Die Inbetriebnahme der Fernwärmeversorgung nach Allerheiligen wurde am 23.02.1999 mit einem Festakt öffentlich bekannt gemacht. Das Ereignis fand in der überregionalen und regionalen Tagespresse ein großes Interesse. Desweiteren erschienen eine Reihe von Veröffentlichungen in der Fachpresse. Die Veröffentlichungen zur Inbetriebnahme sind im **Anhang Dokumentation** separat zusammengestellt. Auch zum Abschluß des Demonstrationsvorhabens der Alunorf wurde am 04.07.2002 gemeinsam mit den Stadtwerken Neuss die offizielle Inbetriebnahme des Kesselhauses feierlich der Öffentlichkeit vorgestellt. Die anlässlich hierzu erhaltenen Veröffentlichungen in der örtlichen Presse sind ebenfalls in der **Dokumentation** im Anhang aufgeführt.

Projektbegleitend zu den aufwändigen Umbaumaßnahmen wurden eine Vielzahl von Emissionsdaten und Daten zu Energieverbrauch und Energieeinsparung ermittelt. Die Messungen zur Emissionssituation wurden weitgehend mit eigenen Meßgeräten und betrieblichen Einrichtungen durchgeführt. Für aufwändigere Emissionsmessungen wurden folgende Institute beauftragt:

- ANECO, Institut für Umweltschutz GmbH & Co, 41068 Mönchengladbach
- ADU cologne, Institut für Immissionsschutz GmbH, 50935 Köln
- BFI, Betriebsforschungsinstitut, VDEh-Institut für angewandte Forschung GmbH, 40237 Düsseldorf
- TÜV Süddeutschland, 41238 Mönchengladbach.

In **Tabelle 1** sind die Meßberichte zur Beurteilung der Emissionen zusammengestellt. Wesentliche Aufgabenschwerpunkte bildeten die Emissionsmessungen zur HCl-Emission an den Wäschern, die Staub-Emission, Dioxin-Messungen und die Lärm-Emission. Auf die Ergebnisse wird in Kapitel 5 näher eingegangen.

Ergänzend zur Beurteilung der Emissionssituation wurden Messungen zur Energiebilanzierung und zur Berechnung der damit verbundenen CO₂-Emission an zwei Institute vergeben:

- BFI, Betriebsforschungsinstitut, VDEh-Institut für angewandte Forschung GmbH, 40237 Düsseldorf
- IUTA, Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V., 47229 Duisburg.

Vom Start der Fernwärmeversorgung des Wohngebiets Allerheiligen im Februar 1999 bis zum Schluß des Projektes im Juni 2002 hat das IUTA die Wärmebilanzierung vorgenommen und kritisch geprüft. Diese Meßberichte sind in **Tabelle 2** zusammengestellt. Auf die Ergebnisse wird in Kapitel 8 näher eingegangen.

Insgesamt steht aufgrund dieser umfangreichen Messungen ein gut gesichertes Datenmaterial zur Verfügung, das es erlaubt, die Erfolge des Demonstrationsprojektes zuverlässig zu dokumentieren.

4. Bau der Abgasreinigungsanlage 2 mit Thermoölsystem

Ein Ziel dieses Demonstrationsprojektes war es, die vorhandenen 13 Schmelz-/Gießanlagen so umzubauen, daß es möglich wird, die chargenabhängig stark schwankenden Abgasvolumenströme der Einzelöfen für eine erhöhte Wärmerückgewinnung zu erschließen. Gleichzeitig sollte die Emissionssituation besonders im Hinblick auf HCl und Staub verbessert werden. Das Demonstrationsprojekt sollte weiterhin zeigen, daß die Wärmerückgewinnung mit Thermoöl auch an Schmelzöfen für Aluminium betrieblich sicher einsetzbar ist.

Um die genannten Aufgaben zu erproben, wurde die sogenannte Abgasreinigungsanlage 2, AGR 2 im Rahmen dieses Projektes gebaut. An die AGR 2 wurden die Schmelzöfen 7 bis 10 und die Gießöfen 1 bis 10 angeschlossen, wie bereits in Bild 11 dargestellt. **Bild 12** und **Bild 13** zeigen zwei Fotos während der Bauzeit. Bild 12 zeigt im Vordergrund die 4 Filterlinien für je 75.000 m³_N/h Abgasvolumenstrom. Jeder Filterlinie ist ein Saugzugventilator zugeordnet, die aus Gründen des Lärmschutzes im unteren Teil des Betonblocks untergebracht sind. Bild 13 läßt den weiteren Aufbau zum Kamin hin etwas besser erkennen. Oberhalb der Ventilatoren sind in 2 Etagen innerhalb des Betonblocks die Anlagen zur Fernwärmeversorgung untergebracht. Dies sind die zentralen Außendeckungsgefäße, die Hauptversorgungspumpen und die Heißwassermetauscher WT 2 und WT 4. Ebenfalls innerhalb des Betonsblocks befindet sich unten noch die zentrale Elektro-Schaltanlage mit allen elektrischen Steuerungseinrichtungen. An den Betonteil angeschlossen ist der Abgaskamin mit der kontinuierlichen Emissionsmeßeinrichtung. Hinter dem Kamin – im Foto kaum zu erkennen – ist der mehrgeschossige Thermoöl-Wärmetauscher der AGR2 untergebracht. Hier wird das Abgas der Schmelzöfen 7 bis 10 von rund 600 °C auf unter 160 °C abgekühlt. Der Wärmetauscher ist als Gaskühler mit ca. 19 MW Wärmeleistung ausgelegt. Die Wärme wird an den Thermoölkreislauf übertragen. Das bis zu 280 °C heiße Thermoöl gibt dann seine Wärme an den Heißwasserkreislauf ab. Überschüssige Wärme wird über den Rückkühler, der oberhalb der Filterlinie im Freien angeordnet ist, an die Umgebung abgegeben. Die gesamten Einrichtungen sind durch eine leichte Aluminium-Verkleidung gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Die im Inneren der AGR 2 angeordneten Anlagenteile lassen sich anhand des Schemas in **Bild 14** überblicken. Im Schema von links kommend das Abgas der Gießöfen 1 bis 6 sowie die Gießöfen 7 bis 10 die ihr Abgas in die gemeinsame Rohgasleitung münden lassen. Ebenfalls an diese Rohgassammelleitung für die Gießöfen angeschlossen sind die Reingasströme der Natronlaugewäscher 1 bis 10. Die Schmelzöfen 7 bis 10 sind an einer 2. Abgasleitung angeschlossen, die als erstes zum Abgaskühler der AGR 2 führt.

Am Abgaskühler angeschlossen ist das Thermoölsystem – braun dargestellt –. Der Abgaskühler ist mit einer Kugelregenanlage ausgerüstet, die die Wärmetauscherrohre vor Staubablagerungen schützt. Das Thermoölsystem umfaßt als wesentliche Anlagenteile den großen senkrecht angeordneten Abgaskühler, die Thermoölpumpen, den Wärmetauscher WT 2 für Thermoöl / Heißwasser, die Rückkühler sowie Ausdehnungs- und Sammelgefäß für Thermoöl. Der Wärmetauscher WT 2 ist aus Sicherheitsgründen als Doppelrohr-Wärmetauscher mit drucküberwachtem Zwischenraum ausgeführt. Falls sich eine Leckage einstellt, so kann abhängig von der Höhe des Drucks im Zwischen-

raum festgestellt werden, zu welcher Seite hin die Leckage vorliegt (Wasserseite: 7 - 10 bar; Thermoölseite: 4 - 6 bar). Bei Leckagen eines Rohres tritt noch kein Wasser in das Thermoölssystem ein. Dies ist notwendig, um eine mögliche Wasserverdampfung im Thermoöl mit Sicherheit ausschließen zu können. Andernfalls käme es zu kritischen Dampfschlägen. Das Thermoölssystem wurde gemäß DIN 5754 mit folgenden Sicherheitsverriegelungen ausgerüstet:

- Regelung der Thermoöl-Temperatur im Eintritt des Abgaskühlers
- Thermoöl-Temperaturbegrenzer im Abgaskühler Austritt
- Thermoöl-Durchflußüberwachung als Differenzdruckmessung
- CO-Überwachung im Kamin als Alarm, Thermoöl läuft aber weiter.

Nachdem das bis zu 600°C heiße Abgas der Schmelzöfen 7 bis 10 den Abgaskühler durchströmt hat, wird es mit dem Abgasstrom aus den Gießöfen und Wäschern 1 bis 10 zusammengeführt. Anschließend erfolgt die Kalkdosierung. Neben Frischkalk kann auch rezirkulierter Kalk aus den Filterlinien zugegeben werden. Der so konditionierte Abgasstrom gelangt dann mit rund 160 °C zu den 4 Staubfiltern. Hier wird der Abgasstrom in einer Vielzahl von Gewebefilterschläuchen abgereinigt. Der sich auf den Filterschläuchen außen ansammelnde Staubbelag wird durch Spülwagen abgereinigt und fällt in der Filterkammer nach unten. Über Austragsschnecken wird der Staub abgetragen und in Bigbags abgeworfen. Jeder Filterlinie ist ein Saugzuggebläse nachgeschaltet, das den Abgasstrom dem Kamin zuführt.

Bild 15 zeigt ein Foto nach der Fertigstellung der AGR 2. Von links kommen die 2 isolierten Abgasleitungen mit je 2.000 mm Durchmesser. Rechts sind die Rückkühler für Thermoöl zu erkennen. Auf der Frontseite der AGR 2 sind die isolierten Heißwasserleitungen zum Fernwärmegebiet Allerheiligen zu sehen (Vorlauf und Rücklauf). Wesentliche Kenndaten der AGR 2 sind in **Tabelle 3** zusammengestellt. Zum Vergleich sind die Kenndaten der AGR 3 mit angegeben.

Die Abgasreinigungsanlage AGR 2 war 1998 fertiggestellt. Bis alle entsprechenden Schmelz- und Gießöfen angeschlossen waren, dauerte es noch bis Ende 2000. Parallel zum Bau der AGR 2 wurde von den Stadtwerken Neuss die Fernwärmeversorgung aufgebaut. In **Bild 16** ist eine Gesamtübersicht der Abgasführung der 13 Schmelz-/Gießanlagen dargestellt. Addiert man hier die Volumenströme aller Anlagen so ergibt sich ein maximaler Volumenstrom von nur noch 630.000 m³_N/h. Verglichen mit der Volumenstromangabe in Bild 4 mit 1.270.000 m³_N/h ist dies eine Reduzierung um rund 50%. Wesentlichen Einfluß auf die Reduzierung des Volumenstroms hat die Abwärmennutzung mit Thermoöl. Im Bild mit eingezeichnet sind die 2 Abgaskühler an AGR 2 und AGR 3.

Auf den Umbau der Gießöfen und die Natronlauge-Wäscher wird im folgenden Kapitel im Zusammenhang mit den Ergebnissen zur Minderung der HCl-Emissionen eingegangen.

5. Ergebnisse zur Emissionsminderung

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Emissionsverhalten der Schmelz-/Gießanlagen dargestellt. Die Ergebnisse der SGA 1 bis 10 die im Rahmen des geförderten Demonstrationsverhaltens umgebaut wurden, werden mit Ergebnissen vor dem Umbau als auch mit Ergebnissen der SGA 11 bis 13 verglichen, die nicht Gegenstand des Förderprojektes waren. Gleichwohl macht es Sinn, die neu gewonnen Ergebnisse mit verfügbaren Ergebnissen von anderen Anlagen zu vergleichen. Durch das Demonstrationsvorhaben sind emissions- und wärmetechnisch drei Ausrüstungsstufen an den 13 Schmelz-/Gießanlagen entstanden:

Stufe 1: Schmelz-/Gießanlage 1 bis 6

- Schmelzöfen 1 bis 6
Abkopplung des Abgasstrom der Gießöfen und der Natronlauge-Wäscher. Einzelkamine nur noch für die Schmelzöfen.
- Gießöfen 1 bis 6
Modernisierung der Natronlauge-Wäscher und Anschluß der Gießöfen an die AGR 2. Dadurch zweistufige HCl-Abscheidung.
- Wärmeauskopplung an den Schmelzöfen 1 bis 6 zur prozeßinternen Brennlufthvorwärmung durch vorhandene Rekuperatoren.

Stufe 2: Schmelz-/Gießanlagen 7 bis 10

- Schmelzöfen 7 bis 10
Erfassung und Zusammenführung der Abgasströme der 4 Schmelzöfen und Reinigung der Abgase durch eine trockene Staubabscheidung.
- Gießöfen 7 bis 10
Modernisierung der Natronlauge-Wäscher und Anschluß der Gießöfen an die AGR 2. Dadurch zweistufige HCl-Abscheidung.
- Abwärmenutzung an den Schmelzöfen 7 bis 10 durch vorhandene Brennluftrekuperatoren und zusätzlich durch Abgaskühler und Auskopplung der Abwärme durch Thermoöl.

Stufe 3: Schmelz-/Gießanlagen 11 bis 13

- Schmelzöfen 11 bis 13
Erfassung und Zusammenführung der Abgasströme der 3 Schmelzöfen und Reinigung der Abgase durch eine trockene Staubabscheidung.
- Gießöfen 11 bis 13
Modernisierung der Natronlauge-Wäscher und Anschluß der Gießöfen an die AGR 3. Dadurch zweistufige HCl-Abscheidung.
- Abwärmenutzung an den Schmelzöfen 11 bis 13 durch vorhandene Rekuperatoren oder Regeneratoren zur Brennluftvorwärmung und zusätzlich an 11 und 12 durch Thermoölschockbündel und Erhöhung der Brennlufttemperatur durch Thermoölvorwärmer. Ergänzende Abwärmeauskopplung durch Abgaskühler mit Thermoöl.

Diese drei Ausrüstungsstufen wirken sich unterschiedlich auf die Emissionsminderung und die wärmetechnischen Ergebnisse aus. Die Anlagentechnik gemäß Stufe 3 beinhaltet den größten technischen Aufwand, erlaubt andererseits aber auch die höchstmögliche Wärmenutzung.

5.1 Reduzierung des Abgasvolumenstroms

Der Abgasvolumenstrom der Schmelz-/Gießanlagen setzt sich aus mehreren Teilströmen zusammen, wie bereits in Bild 7 gezeigt wurde. In der Zusammenstellung von Davids und Lange [6] werden spezifische Abgasvolumenströme üblicherweise von 15.000 bis 20.000 m³_N/t Aluminium genannt. Für moderne "fortgeschrittene" Ofenanlagen können auch nur 10.000 bis 15.000 m³_N/t Aluminium erreicht werden. Im folgenden Bild sind diese Bereiche grau hinterlegt.

Ausgehend von diesen Daten ist in **Bild 17** der spezifische Abgasvolumenstrom pro t Walzbarren für die hier gegebenen drei Ausrüstungsstufen an den SGA dargestellt. Vor Beginn des Demonstrationsprojektes in 1996 lagen die Werte aller 3 Ofengruppen etwa in dem Bereich von 10.000 bis 15.000 m³_N/t Walzbarren. Die Schwankungsbreite betrug rund 2.000 bis 4.000 m³_N/t. Nach Umrüstung der Ofengruppen werden in 2001 für SGA 7 - 10 und auch für SGA 11 - 13 deutlich geringere Werte erreicht. Die spez. Abgasvolumenströme liegen unter 5.000 m³_N/t und sinken teilweise auf nur noch 3.000 m³_N/t ab. Für die gemessenen Mittelwerte werden an SGA 7 - 10 und SGA 11 - 13 nur noch 30% des ursprünglichen Abgasvolumenstroms erzeugt, d.h. eine Verminderung um rund 70%.

Die Ursachen für diese erhebliche Verringerung sind:

- Verzicht auf die Kühlluft einblasung im Fuchs und stattdessen Kühlung mittels Schockbündel an SO 11 - 13. Anschluß der SO 7 - 10 an die AGR 2 mit Reduzierung der Kühlluft und Erhöhung der Abgastemperatur.
- Verbesserte Abdichtung der Gießöfen, was eine verringerte Absaugung ermöglicht.
- Komplettabschottung der Gießöfen beim Chlorieren, so daß lediglich ein geringer Volumenstrom von ca. 1.000 m³_N/h über den Wäscher abgesaugt werden muß.
- Erhöhte Brennlufttemperatur führt zu einem erhöhten Wärmeeintrag in den Ofen und verringert hierdurch den Brenngaseinsatz und folglich die Abgasemission.
- Verzicht auf die Zugbegrenzer im Kamin durch Regelung der Saugzuggebläse in AGR 2 und AGR 3, wodurch der Falschlufteintritt deutlich reduziert wird.

Die Verringerung des Abgasvolumenstroms hatte auch erhebliche Vorteile für die Dimensionierung der Abgasreinigungsanlage. AGR 2 konnte für weniger als die Hälfte des ursprünglich anfallenden Volumenstroms geplant und gebaut werden. Statt ursprünglich fast 700.000 m³_N/h ist AGR 2 jetzt mit 300.000 m³_N/h ausgelegt. Dies spart Investitionskosten für die kleinere Anlage und erhebliche Betriebskosten für Energie sowie Hilfs- und Betriebsstoffe.

5.2 Emissionsminderung für Staub

Im Rahmen der Vorbereitung dieses Demonstrationsvorhabens wurden systematische Versuchsreihen zur Staubentstehung und zur Staubemission durchgeführt. **Tabelle 4** enthält dazu die Kennwerte der Staubmessungen an Schmelz-/Gießanlage 2. Ähnliche Staubmessungen sind auch an Schmelz-/Gießanlage 5 durchgeführt worden. Diese Meßergebnisse sind in **Tabelle 5** zusammengestellt. Die Messungen erstrecken sich über einen Zeitraum von August 1996 bis Januar 1997. Die gewonnenen Daten bilden eine wesentliche Grundlage zur Definition des Ausgangszustandes, also des Zustandes vor Durchführung des Demonstrationsprojektes. Weitere Daten zum Ausgangszustand wurden aus den vorliegenden Emissionsberichten abgeleitet.

Die in den Tabellen 4 und 5 zusammengestellten Meßergebnisse beziehen sich auf die gesamte Chargendauer, die Chlorierzeit, die Zeit des Abkrätzens am Gießofen sowie ggf. die Zeit des Metallbrandes. Für die Chlorierzeit, die Zeit des Abkrätzens und die Zeit des Metallbrandes wurde die Zeitdauer des entsprechenden Staub-Peaks zugrundegelegt. Eingetragen sind jeweils die Zeitdauer, die mittlere gemessene Staubkonzentration, der mittlere Staubmassenstrom und die insgesamt in diesem Zeitraum emittierte Staubmasse. Anschließend wird hieraus der Anteil der Staubemission beim Chlorieren bzw. beim Krätzen im Gießofen an der Gesamtstaubemission während einer Charge berechnet.

Für die restliche Zeit (= Gesamtzeit - Chlorieren - Abkrätzen GO - Metallbrand) werden der mittlere Staubmassenstrom und die mittlere Staubkonzentration berechnet. Dies stellt die Grundlast der Staubemission dar, die außerhalb der staubträchtigen Betriebsphasen auftritt. Zur Ermittlung der mittleren Staubkonzentration wurde aus den Werten der gesamten Charge der mittlere Kaminvolumenstrom ermittelt.

Gemittelt über die gesamte Charge treten an den SGA 2 und 5 Staubkonzentrationswerte von 0,34 - 8,9 mg/m_N³ und Staubmassenströme zwischen 0,014 und 0,542 kg/h auf.

Beim Chlorieren und beim Krätzen am Gießofen treten deutlich erhöhte Werte für Staubkonzentration und Staubmassenstrom über eine geringe Zeitdauer auf. Im Mittel über alle untersuchten Chargen liegt der Staubanteil beim Chlorieren bei 23 % (SGA 5) bzw. 36 % (SGA 2). Beim Krätzen am Gießofen liegt er bei 17 % (SGA 5) bzw. 24 % (SGA 2). Demnach ergeben sich bei einer Verringerung der Staubemission beim Chlorieren die höchsten Emissionsverringerungen.

Als Grundlast ergeben sich Werte des Staubmassenstroms zwischen 0,002 und 0,245 kg/h, so daß Emissionsbegrenzungen außerhalb der Zeiten des Chlorierens, Abkrätzens am Gießofen und Metallbrandes sicher eingehalten werden.

Aus den Meßdaten in Tabelle 4 und 5 ist dann eine übersichtliche Darstellung in Form eines Sankey-Diagrammes abgeleitet worden. In **Bild 18** ist der mittlere Staubmassenstrom für die Schmelz-/Gießanlagen 1 bis 6 in solch einer quantitativen Darstellung aufgetragen. Hierbei wurden die einzelnen Anteile durch Mittelung der Meßergebnisse von SGA 2 und 5 errechnet. Als wesentliches Ergebnis dieser Analysen zeigt sich, daß der Anteil des Staubes aus dem Gießofen mit etwa 2/3 deutlich größer ist, als der Anteil aus

dem Schmelzofen. Die Staubentstehung und Emission vor Umbau betrug am Gießofen 0,659 kg/h während am Schmelzofen durchschnittlich nur 0,331 kg/h emittiert wurden.

Der im Schmelzofen kurzzeitig auftretende Metallbrand ist ein Betriebszustand, bei dem eine direkte Oxidation von Aluminium in einem lokal eng begrenzten Bereich im Schmelzofen erfolgt. Metallbrand tritt bei Einsatz dünnwandiger Schrotte auf und ist erkennbar am weißen Rauch, der aus dem Schmelzofen austritt. Der Metallbrand tritt meist 15 - 60 Minuten nachdem die Brenner auf Vollast geschaltet wurden auf. In dieser Zeit werden Partien der Charge, die in Brennernähe liegen, auf so hohe Temperatur erhitzt, daß eine Autooxidation des Aluminiums stattfindet. Bei den beobachteten Metallbränden ergeben sich hohe momentane Staubkonzentrationswerte von bis zu 50 mg/m_N³ und mehr. Die Dauer des Metallbrandes liegt meist zwischen 10 und 50 Minuten. Während der Messungen wurde im Mittel wöchentlich ein Metallbrand beobachtet. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß bei den Versuchen überwiegend Chargen mit besonders dünnwandigem Material eingesetzt wurden, die ursächlich für das Auftreten von Metallbrand sind. Der Anteil des Metallbrandes macht mit 9% den geringsten Anteil der unterschiedlichen Staubmassenströme in Bild 18 aus.

Als weiteres Ergebnis der Messungen zur Staubemission sind in **Tabelle 6** Daten zur Staubentstehung und den vorgefundenen Staubeigenschaften der Schmelz-/Gießanlagen zusammengestellt. Staubentstehung und Staubeigenschaften unterscheiden sich deutlich für den Schmelzofen und für den Gießofen. Als Fazit kann festgestellt werden, daß die Stäube des Schmelzofens stark variieren während die Stäube des Gießofens eher homogen sind.

Neben diskontinuierlichen Staubmessungen wurden an mehreren Schmelz-/Gießanlagen auch kontinuierliche Staubmessgeräte eingebaut. Die Ergebnisse wurden über längere Zeit ausgewertet. Hierbei konnte die Abhängigkeit der Staubemission vom aktuellen Betriebszustand festgestellt werden.

Bild 19 zeigt beispielhaft in mehreren Teilbildern den zeitlichen Verlauf der für die Staubemission wesentlichen Größen für eine Charge mit erhöhter Staubemission an SGA 5. In den beiden oberen Teilbildern sind die Betriebszustände am Schmelz- und am Gießofen dargestellt. Beim Schmelzofen wurden insbesondere die Zeiten mit geöffnetem Ofendeckel bzw. geöffneter Ofentür als Balken dargestellt. Beim Gießofen wurden die für die Staubemission relevanten Teilvorgänge Chlorieren, Abkrätzen und Gießen dargestellt. Das 3. Teilbild zeigt die Staubkonzentration als durchgezogene Linien. Hierbei wurde der Momentanwert und zusätzlich der gleitende Halbstundenmittelwert dargestellt. Zusätzlich ist der gleitende Stundenmittelwert der Staubfracht (Staubmassenstrom) als gepunktete Linie dargestellt. Das untere Teilbild zeigt die Volumenströme der Anlage:

- Kaminvolumenstrom (= Gesamtvolumenstrom)
- Abgasvolumenstrom aus dem Schmelzofen (AG SO)
- Abluftvolumenstrom aus dem Gießofen bei Absaugung über die Absaughaube (AL GO)
- Abgasvolumenstrom aus dem Gießofen (AG GO)
- Kühlluftvolumenstrom zum Reku-Schutz (KL).

Der prinzipielle Verlauf der Meßwerte ist typisch und wiederholt sich bei allen untersuchten Chargen ähnlich. Die kontinuierlich gemessene Staubkonzentration liegt meist bei Werten von 0 - 4 mg/m_N³. Hierbei ergeben sich an den SGA Emissionsmassenströme von 0 - 0,2 kg/h. Konzentrationsanstiege treten bei jeder Charge beim Chlorieren und beim Abkrätzen am Gießofen auf. Ein weiterer kleiner Anstieg der Staubemission tritt beim Einschalten des Abluftventilators auf.

Bei den Messungen wurden einige Betriebszustände mit erhöhter Staubemission festgestellt, die in besonderen Situationen auftreten können:

- Chargieren bzw. Einschalten des Abluftventilators
- Reinigen des Ofengefäßes bei Schmelz- bzw. Gießofen
- Legieren
- Metallbrand.

Bei manchen Chargen wurden Konzentrationsanstiege (Peaks) beim Chargieren sowie beim Einschalten des Abluftventilators festgestellt. Bei laufendem Abluftventilator wurden beim Chargieren teilweise grobe Partikel auf den Staubfiltern der parallel durchgeführten diskontinuierlichen Staubmessung am Kamin gefunden. Diese Partikel wurden trotz geschlossener Ofendruckregelklappe bis zum Kamin angesaugt. Ursache hierfür war die Gestaltung der Ablufteinführung in den Kamin in Form eines Injektors. Durch Abschalten der Haubenabsaugung beim Chargieren kann der Chargier-Peak der Staubkonzentration verhindert oder deutlich verringert werden.

Das Reinigen des Ofengefäßes bei Schmelz- und Gießofen führt ebenfalls zu Staubemissionen. Die Staubkonzentration liegt jedoch meist deutlich unter 10 mg/m_N³.

Ergänzend zu den dargestellten Versuchsreihen an SGA 2 und 5 wurden auch an SGA 9 und 10 über einen Zeitraum von 3 Monaten die am Kamin mit kontinuierlichen Meßgeräten ermittelten Staubkonzentrationen klassiert und als Häufigkeitsverteilungen für Staub-Konzentration und Staub-Massenstrom gespeichert.

Bild 20 zeigt den bei unterschiedlicher Anlagenkonfiguration/Betriebsweise durch Staubmessungen ermittelten mittleren Staubmassenstrom in kg/h am Kamin der SGA 5 als Balkendiagramm. Die Angaben basieren auf den ermittelten Halbstundenmittelwerten. Die einzelnen Ergebnisse werden im Folgenden erläutert. Jedem Balken liegen 25 bis 30 gemessene Halbstundenmittelwerte zugrunde. Als blauer Balken zusätzlich eingetragen, ist die Schwankungsbreite der Meßwerte.

Schmelzofen + Gießofen (Juli 1996):

Bereits mit dem noch angeschlossenen Gießofen liegt der mittlere Staubmassenstrom mit 0,277 kg/h sehr niedrig und deutlich unter der in der TA-Luft genannten Bagatellschwelle von 0,5 kg/h. Lediglich 5 Halbstundenmittelwerte aus dieser Messkampagne liegen über 0,5 kg/h bis zu 1,0 kg/h.

Schmelzofen + Kaminkühlluft (November 1999):

Im Verlauf des Jahres 1999 wurde der Gießofen 5 von dem bisher gemeinsam mit dem Schmelzofen genutzten Kamin abgekoppelt und an die Abgasreinigung AGR 2 ange-

schlossen. Zur Absicherung gegen eine mögliche Überhitzung des nun thermisch wesentlich stärker belasteten Kamins wurde am Kaminfuß ein Kühlluftvolumenstrom von ca. 60.000 m³_N/h eingeblasen. Bei den Versuchen zeigte sich, daß diese Vorichtsmaßnahme nicht erforderlich war, so daß die Kaminkühlluft zum Jahreswechsel 1999/2000 abgeschaltet wurde.

Durch die Abkopplung des Gießofens ergibt sich eine wesentliche Reduzierung der mittleren Staubemission wie auch der maximalen Staubemission auf nur noch 0,132 kg/h.

Schmelzofen (Januar 2000):

Nach Abkopplung der Kaminkühlluft, wird über den Schmelzofenkamin mit nur noch 0,068 kg/h weniger als 1/4 des ursprünglich mittleren Staubmassenstroms emittiert.

Bei der Messung des reinen Schmelzofenabgases wurde zusätzlich eine normalerweise unzulässige Betriebsweise untersucht. Hierbei wurde eine palettiert angelieferte Charge mit der Holzpalette in den Ofen eingebracht. Dies führte für eine kurze Zeit von 1 Stunde zu einer signifikant höheren Staubemission mit 0,577 kg/h.

Schmelzofen (Januar 2000)

Bei dem Balken ganz rechts wurden die Halbstundenmittelwerte zu Stundenmittelwerten verdichtet. Der Mittelwert stimmt mit dem Mittelwert der Halbstundenmittelwerte des Balkens links überein. Die Schwankungsbreite sinkt nochmals ab. Eine für den Betrieb repräsentative Ermittlung der Staubemission muß sich jedoch an der Zeitdauer einer Charge orientieren.

Insgesamt zeigt diese Darstellung am Beispiel des Schmelzofens 5 welche gravierende Verminderung der Staubemission durch den Umbau der Schmelz-/Gießanlagen 1 - 6 erreicht werden konnte. Von im Mittel 0,277 kg/h im Ausgangszustand 1996 bis zum Abschluß der Umbaumaßnahme in 2000 mit nur noch im Mittel 0,068 kg/h Staubemission an dieser Anlage konnte die Staubemission um 75% verringert werden. Wesentlicher Staubemittent war der Gießofen 5 der nunmehr an die AGR 2 angeschlossen ist. Mit nur noch 68 g/h macht es keinen Sinn das Abgas des verbleibenden Schmelzofens noch aufwendig weiter zu entstauben.

Bild 21 zeigt den Staubmassenstrom im Vergleich von altem und neuem Zustand für die Gesamtanlage aus allen SGA. Die ursprünglichen Staubmassenströme im Ausgangszustand 1996 beruhen auf Ergebnissen der behördlichen Emissionsmessungen an den Einzelanlagen von 1982 bis 1995. Zusätzlich sind die Auslegungswerte der Abgasreinigungen mit 5 mg/m³_N Staub als Garantiewert des Herstellers mit angegeben. Die Betriebsergebnisse für 2001 basieren auf den behördlich zugelassenen Kontimessungen mit optischen Staubmeßgeräten im Reingas an AGR 2 und AGR 3. Die Schmelzöfen 1 bis 6 werden mit einem festen Staubmassenstrom von 0,068 kg/h als mittlerer Staubemission berücksichtigt.

Man erkennt, daß die Staubfracht aus den großen Öfen 11 bis 13 deutlich höher ist als die Staubfracht aus den kleineren Öfen. Somit können an den großen Öfen deutlich höhere Staubmengen abgeschieden werden. Der Abscheidegrad für diese Öfen liegt bei 96%. Für die Gesamtanlage über alle SGA ergibt sich eine Minderung um 88%. Hierbei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Filtergewebe an AGR 2 noch relativ neu waren, so daß sich mit zunehmender Alterung der Abscheidegrad verringern wird.

5.3 Emissionsminderung für Chlor und Chloride

Die wesentlichen umwelttechnisch relevanten Emissionen der Schmelz-/Gießanlagen sind Cl_2 und HCl aus dem Chlorierungsvorgang in den Gießöfen [6, 7]. Der Chloriervorgang dauert je Charge 30 bis 50 min, abhängig von der Legierung und der Qualitätsanforderung. Das beim Chlorieren entstehende Abgas wird aus dem Gießofen abgesaugt und über Natronlauge-Wäscher gereinigt, Bild 6.

5.3.1 Verbesserung der Natronlauge-Wäscher

Als Wäscher wurden bis 1997 ausschließlich eigenentwickelte Siebbodenwäscher mit 3 Siebböden eingesetzt. Beim Waschprozeß entstehen Natronlaugeaerosole die im gesättigten Reingasstrom nach dem Wäscher als kleinste Salzkristalle emittiert werden oder sich in den nachgeschalteten Abgasleitungen niederschlagen. Mit dem Reingasstrom emittierte Salzkristalle werden als Staubemission detektiert.

Der Unterdruck, um die chlorhaltigen Abgase aus dem Gießofen abzusaugen und durch die Siebböden des Wäschers zu fördern, wurde mit einer Treibstahldüse im Reingasstrom des Wäschers erzeugt, Bild 6. Aufgrund des damit nur erreichbaren geringen Unterdrucks sind die Wäscher sehr verschmutzungsanfällig. Mit zunehmender Verschmutzung sinkt der abgesaugte und gereinigte Abgasvolumenstrom. Somit kann es vorkommen, daß beim Chlorieren schadgasbelastetes Abgas direkt aus dem Gießofen ausschwallt und ungereinigt über die Hallenlüftung als diffuse Emission entweicht. Alle anderen direkten Absaugmöglichkeiten z.B. mit säurefesten Ventilatoren sind mehrfach gescheitert.

Trotz dieser technischen Schwierigkeiten mit dem hoch korrosiven und heißen Abgas aus dem Chloriervorgang im Gießofen, haben Natronlauge-Wäscher zwei große betriebliche Vorteile:

- Der Abscheidegrad der Wäscher liegt bei ca. 95%.
- Bauvolumen und Platzbedarf für die Wäscher sind relativ gering.

Aufgrund dieser Vorteile sollte an einer Naßwäsche als Abgasreinigung festgehalten werden. Dennoch sollte zur Verringerung der Chloremissionen an den Schmelz-/Gießanlagen eine weitergehende HCl - und Cl_2 -Abscheidung erreicht werden. Ziel war dabei nicht nur eine bessere Abscheidung anzustreben, sondern vor allem auch effektivere Erfassungseinrichtungen aufzubauen.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

1. Verbesserte Abgaserfassung an den Gießöfen durch effektive und robuste Drallhauben sowie durch gezielt einstellbare Absaugmengen. Bild 8 zeigt eine der neuen Drallhauben über der Gießofentür am Gießofen 9. Erhöhung der Ofendichtigkeit durch Deckel an den Chlorierlanzenöffnungen und konische Zuführung der Lanzenöffnung.
2. Umbau von Siebbodenwäscher auf Laugenstrahlwäscher mit höherem Unterdruck und höherem Absaugvolumenstrom; als erste Stufe der Abgasreinigung.

3. Anschluß der Gießöfen an die AGR mit Gewebefilter und Kalkhydrateinblasung. Für die Abgase aus dem Wäscher damit eine zweite Stufe der Abgasreinigung.

Bild 22 zeigt ein Foto mit 3 neuen Laugenstrahlwäschern während der Montage beim Hersteller. Rechts neben dem Sprühturm ist die Strahldüse senkrecht auf dem Laugen-tank angeordnet, gut zu erkennen. **Bild 23** zeigt ergänzend ein Schemabild sowohl für die bisherigen Siebbodenwäscher als auch für die leistungstärkeren Laugenstrahl-wäscher.

Beim bisherigen wie beim neuen Wäscher wird kein – korrosionsanfälliges – Gebläse für die Förderung der Abgase benötigt. Beim Siebbodenwäscher wird das Abgas aus dem Gießofen mit einer Temperatur von ca. 500 °C in den Laugenvorratsbehälter des Wäschers geführt. Das Abgas durchströmt den dreistufigen Siebbodenwäscher von unten nach oben. Im Gegenstrom wird als Waschlauge 5%-ige Natronlauge zugegeben. Zur Verbesserung der Abscheidung von molekularem Chlor ist zusätzlich Wasserstoff-peroxid beigelegt. Durch den Kontakt von Abgas und Waschlauge ergeben sich fol-gende Umsetzungen:

- Molekulares Chlor wird durch Wasserstoffperoxid zu Chlorwasserstoff umgesetzt und in der Waschlauge gelöst.
- Chlorwasserstoff wird in der Lauge absorbiert und setzt sich mit der Natronlauge zu Kochsalz NaCl um.
- Kohlendioxid wird in der Waschlauge absorbiert und setzt sich mit Natronlauge zu Natriumcarbonat um.
- Aluminiumchlorid sublimiert bei der Abkühlung ($T_{\text{Subl}} = 208 \text{ °C}$) und löst sich zum großen Teil in der Waschlauge. Andere Chlorsalze aus der Schmelze wie z. B. Magnesiumchlorid verhalten sich ähnlich.

Das Abgas verläßt den Wäscher feuchtegesättigt. Zudem werden nichtgelöste Fest-stoffe ausgetragen, die sich im weiteren auf den Rohrwandungen abscheiden können und die Rohrleitungen blockieren. Daher ist ein erheblicher Instandhaltungsaufwand zur Reinigung der Rohrleitungen bzw. der Treibluftdüse erforderlich.

Das gereinigte Abgas gelangt schließlich in die Treibluftdüse. Hierbei wird das gerei-nigte Abgas durch den hohen Impuls von kalter Treibluft beschleunigt. Das Abgas / Luftgemisch wird zur AGR geführt.

Im unteren Teilbild ist der Laugenstrahlwäscher dargestellt. Das heiße Abgas wird zu-nächst von einer Laugenstrahlpumpe angesaugt. Dies ermöglicht einen Druckgewinn und bewirkt trotz Verzicht auf ein Gebläse eine Erhöhung des Abluftvolumenstroms. Die Laugenstrahlpumpe ist als selbstansaugender Jet-Wäscher ausgebildet. Anschließend gelangt das Abgas in einen einbaulosen Sprühturm. Als letzte Stufe ist eine Tropfenab-scheidung nachgeschaltet. Nach dem Ende einer Chlorierung wird der Tropfenabschei-der mit Frischwasser gespült, um Ablagerungen auszuschwemmen.

Zum Schluß gelangt das gereinigte Abgas wieder in eine Treibluftdüse, in der das Ab-gas nochmals beschleunigt wird. Als Treibluft wird Heißluft aus dem Schmelzofen nach Rekuperator verwendet, um Ablagerungen in den Rohrleitungen sowie der Treibstrahl-düse zu vermeiden. Die Mischluft wird wiederum zur AGR geführt. Durch den Betrieb

mit warmer Abluftleitung können die Ablagerungen in der Rohrleitung stark reduziert werden, so daß die regelmäßige Reinigung nach der Treibluftdüse nicht mehr so häufig erforderlich wird.

Bild 24 zeigt ein Foto eines Siebbodenwäschers im betrieblichen Einsatz. Rechts im Foto zu sehen die Abgaszuführung zum Laugentank. **Bild 25** zeigt ein Foto eines Laugenstrahlwäschers am Gießofen 10. Gut zu sehen die Abgaszuführung vom Gießofen rechts zur Laugenstrahlpumpe. Durch die nunmehr für alle umgebauten SGA 1 bis 10 verwendeten Laugenstrahlwäscher kann eine um über 60 % erhöhte Absaugmenge realisiert werden. Weiterhin wurde festgestellt, daß das System mit den Laugenstrahlwäschern wesentlich langsamer verschmutzt und daher der Abluftvolumenstrom wesentlich langsamer aufgrund von Verschmutzung abnimmt. Dies wiederum führt zu einer deutlichen Verringerung der diffusen Emissionen.

Bild 26 zeigt das Profil des statischen Drucks in den Abgasrohrleitungen vom Gießofen bis zur Mischluftpumpe nach der Treibluftdüse. In das Bild eingetragen sind die Verläufe für einen Siebbodenwäscher an SGA 10 sowie Laugenstrahlwäscher an SGA 2 und 8. Im Eintrittsbereich des Wäschers ergeben sich beim Siebbodenwäscher kaum nennenswerte Druckverluste. Die wesentlichen Druckverluste treten im Wäscherturm vor allem über die Siebböden auf. Durch die nachfolgende Treibluftdüse ergibt sich ein Anstieg des Unterdrucks auf ca. -10 mbar.

Beim Laugenstrahlwäscher an SGA 8 ergeben sich wesentlich höhere Druckverluste im Eingangsbereich des Wäschers. Dies weist darauf hin, daß die Laugenstrahlpumpe der Engpaß des Systems ist. Die Laugenstrahlpumpe wurde daher vergrößert. In der nachfolgenden Treibluftdüse ergibt sich ein wesentlich höherer Druckhub als beim Siebbodenwäscher. Dies wird jedoch erkauft mit einem höheren Treibluftvolumenstrom.

Beim Laugenstrahlwäscher SGA 2 (Variante 2) ist der Druckverlust im Wäschereingangsbereich (Laugenstrahlpumpe) deutlich geringer als an SGA 8 (Variante 1). Der Druckhub in der Treibstrahldüse liegt in der gleichen Höhe wie bei Variante 1. Allerdings liegt der Druck im Bereich der Mischluftpumpe erheblich über der bei der Messung von Variante 1. Die Ursache hierfür liegt in der Wäschersammelleitung. Das Abgas aus allen Wäschern 1 bis 10 wird in die Wäschersammelleitung der AGR 2 geführt. Während bei den Messungen an den stromab an der Sammelleitung liegenden Wäschern an den Gießöfen 8 und 10 noch ein Druckgewinn aufgrund des Unterdrucks in der Sammelleitung zur Abgasreinigung festgestellt werden konnte, ergab sich bei dem weiter stromauf an der Sammelleitung gelegenen Wäscher 2 in der Sammelleitung ein Überdruck. Hierdurch muß ein höherer Treibluftstrom eingespeist werden, um einen bestimmten Abgasvolumenstrom fördern zu können. Zur Minimierung der in die Wäschersammelleitung eingespeisten Volumenströme wurde eine Optimierung der Klappensteuerung durchgeführt. Neben dem Abgas während des Chlorierens muß zur Warmhaltung der Leitung (Taupunkt) eine geringe Menge Abgas eingeblasen werden.

5.3.2 Abscheidung im Gewebefilter

Im Rahmen einer speziellen Meßreihe wurde die Abscheidung bzgl. der überwiegend auftretenden Komponente HCl quantifiziert. **Bild 27** zeigt eine schematische Darstellung der Meßanordnung bei den Emissionsmessungen an der Abgasreinigung. Zum

Zeitpunkt der Messung waren die Schmelzöfen 7 bis 10 und die Gießöfen 5 bis 10 an die Abgasreinigung angeschlossen. Die Natronlaugewäscher sind über eine separate Sammelleitung ebenfalls an die Gießofensammelleitung angeschlossen.

In der nachfolgenden Zusammenstellung ist die nähere Beschreibung der Meßstellen aufgeführt. Neben der betrieblich vorhandenen kontinuierlichen Emissionsmessung am Kamin (Meßstelle 2) wurde eine weitere kontinuierliche Messung in der Gießofensammelleitung eingesetzt (Meßstelle 1). Diese Meßstelle 1 wurde von einem separat beauftragten externen Meßinstitut gestellt und betreut. Neben der HCl-Konzentration wurden die Temperatur und die Strömungsgeschwindigkeit an dieser Stelle erfaßt. Der Meßort lag in der Mitte der Rohrbrücke zwischen Schmelzhalle und AGR 2-Gebäude. Die Ein- und Auslauflängen reichten aus, um eine Vergleichmäßigung der Strömung zu erreichen. Aufgrund der Lage des Meßortes konnte allerdings nur eine Sonde mit einer Länge von 1 m in die Rohrleitung (Durchmesser 2 m) eingebracht werden. Daher konnte das Geschwindigkeitsprofil nur in einer Hälfte der Rohrleitung erfaßt werden. Gleichzeitig mußte festgestellt werden, daß durch die Strömung nicht der gesamte Querschnitt erfaßt wurde. Hierbei spielen vermutlich Auftriebseffekte eine Rolle. Bei den Messungen zeigte sich, daß die Strömungsgeschwindigkeit in dem erfaßten Ausschnitt nicht repräsentativ ist. Daher wurde im weiteren der Volumenstrom über den Betriebszustand der angeschlossenen Gießöfen ermittelt. Hierbei werden im Betriebszustand „Chlorieren“ laut Auslegung ca. 1.500 m_N³/h je Gießofen durchgesetzt, während in allen anderen Betriebszuständen ca. 17.500 m_N³/h je Gießofen durchgesetzt werden.

Beschreibung der Meßstellen:

Nr.	Bezeichnung	Meßgröße	Meßgeräte
1	Gießofen - Sammelleitung	• Strömungsgeschwindigkeit in m/s • Temperatur in °C • HCl-Konzentration in mg/m³	Anubar-Sonde + Feindruckmeßgerät PT-100-Fühler Perkin-Elmer Mecos
2	Emission Meßstelle am Kamin	• Volumenstrom in m³/h • Temperatur in °C • HCl-Konzentration in mg/m³	Prandtl-Sonde + Feindruckmeßgerät Ni-Cr/Ni-Thermoelement Perkin Elmer Spectran 687
3	Vor Filter	Nur Rechengrößen basierend auf Messungen ermittelt	---

Direkt vor Filter nach der Vermischung von Schmelzofen- und Gießofenabgas gibt es aufgrund der räumlichen Verhältnisse keinen repräsentativen Meßort, so daß die Ergebnisse vor Filter (Meßstelle 3) aus den anderen Meßergebnissen berechnet werden mußten.

Durch die Schmelzöfen werden keine HCl-Emissionen hervorgerufen, da keine chlorhaltigen Einsatzstoffe vorkommen. Daher konnte auf eine Erfassung von Meßwerten in der Schmelzofensammelleitung verzichtet werden.

Bild 28 zeigt beispielhaft die Meßwerte für den 08.12.1999 als Minutenmittelwerte sowie hierauf aufbauende Rechenwerte abhängig von der Zeit. Das Bild besteht aus 4 Teilbildern. Im oberen Teilbild ist jeweils die HCl-Konzentration dargestellt. Die Werte „Emission“ und „Gießofensammelleitung“ wurden unmittelbar gemessen. Die Werte „Vor Filter“ wurden aus den Volumenströmen sowie der Konzentration in der Gießofen-

sammelleitung berechnet. Die HCl-Emission kann dabei ausschließlich durch den Gießofen hervorgerufen werden.

Aufgrund des eingeblasenen Kalks findet eine HCl-Abscheidung im Gewebefilter statt. Hierdurch sinkt die HCl-Konzentration über den Filter ab. **Tabelle 7** zeigt die durchgesetzten Kalkmengen sowie die hieraus errechnete mittlere Konzentration des Kalks im Abgasstrom.

Man erkennt in dem Bild kurzzeitige Spitzenwerte der HCl-Konzentration. Diese Spitzenwerte treten jeweils nach dem Öffnen einzelner Öfen bzw. dem Anfahren der Brenner im Anschluss an das Chlorieren auf. Anschließend wird die auf der Schmelze im Gießofen aufgeschwommene Krätze mit einem Rührschild – betrieblich „Abkrätzen“ genannt – entfernt. Dies führt ebenfalls zu einer erhöhten HCl-Konzentration in der abgesaugten Abluft. Zur Verdeutlichung dieses Sachverhaltes sind im oberen Teilbild zusätzlich zu den Konzentrationswerten die Chlorierzeiten für die einzelnen Öfen als horizontale Striche eingetragen. Insbesondere nach Ende des Chlorierens der Öfen 9 und 10 ist kurzzeitig eine starke Erhöhung der HCl-Konzentration zu erkennen.

Im 2. Teilbild von oben sind der HCl-Massenstrom in der Gießofensammelleitung sowie der Emissionsmassenstrom dargestellt. Als weitere Parameter sind im 3. Teilbild von oben der Abgasvolumenstrom in der Gießofensammelleitung sowie der Emissionsvolumenstrom dargestellt.

Das untere Teilbild zeigt die HCl-Abscheidung abhängig von der Zeit. Die HCl-Abscheidung weist starke Schwankungen auf. Der Tagesmittelwert liegt knapp unter 60 %. Als Mittelwert der gesamten Meßzeit von 2 Wochen kann ein Wert von 66 % errechnet werden.

Kurzzeitig können sehr hohe Werte der HCl-Konzentration insbesondere in der Gießofensammelleitung erreicht werden. Durch die Mischung mit dem Schmelzofenabgas verringern sich diese Werte allerdings. Weiterhin ergibt sich bei der nach TA-Luft vorgeschriebenen Mittelung über eine 1/2 Stunde eine Glättung des Zeitverlaufs.

Im weiteren werden die wesentliche Einflussgrößen auf die HCl-Abscheidung diskutiert:

HCl-Konzentration im Rohgas:

Die HCl-Konzentration im Rohgas hat aufgrund der vorliegenden Daten keinen wesentlichen Einfluss auf die HCl-Abscheidung.

O₂-Konzentration im Abgas:

Es konnte keine Korrelation zwischen der HCl-Abscheidung und der O₂-Konzentration hergestellt werden. Dies bedeutet aufgrund der Abgasentstehung durch reine Erdgasverbrennung, daß die Feuchte des Abgases keinen wesentlichen Einfluss auf die Abscheidung hat.

Abgastemperatur:

Bild 29 zeigt den HCl-Abscheidegrad im Filter abhängig von der Abgastemperatur an der Emissionsmeßstelle. Diese Temperatur entspricht der Temperatur im Staubfilter. Es zeigt sich erwartungsgemäß, daß die HCl-Abscheidung mit zunehmender Temperatur abnimmt. Um den HCl-Abscheidegrad zu erhöhen, wäre also eine möglichst geringe Filtertemperatur anzustreben. Hierbei muß allerdings eine Unterschreitung des Säuretaupunktes sicher vermieden werden.

Kalkeinblasung:

Kalk wird im Mittel stark überstöchiometrisch eingeblasen. Die Stöchiometrie bezogen auf die mittlere HCl-Emission liegt bei ca. 10. Sogar bei kurzzeitigen Spitzenwerten der HCl-Konzentration liegt der Stöchiometriefaktor i. a. über 1.

Bild 30 zeigt den HCl-Abscheidegrad abhängig von der eingeblasenen Kalkmenge. Eingetragen sind jeweils die Tagesmittelwerte. Innerhalb der untersuchten betrieblichen Schwankungsbreite lassen sich nur geringe Einflüsse der Kalkeinblasung auf die HCl-Abscheidung feststellen. Aufgrund der vorliegenden Meßdaten könnte die Kalkeinblasung etwas verringert werden, wenn hierdurch keine Probleme mit Anbackungen auftreten. Außerhalb dieser Messung wurde jedoch festgestellt, daß ein Ausfall der Kalkeinblasung zu einer wesentlich erhöhten HCl-Emission führt. Weiterhin wurde festgestellt, daß die zusätzliche Einblasung von Filterstaub (Rezirkulation) zu einer Verbesserung der Abscheidung führt. Durch die Rezirkulation wird auch der Kalkverbrauch und damit der Anfall von Filterstaub als Abfall erheblich gesenkt.

5.3.3 Analyse des Mengenflusses von Chlor

Aufgrund der zusätzlichen Abscheidestufe – Gewebefilter – sowie der effizienteren Abscheidung verändert sich der Chlormengenfluß im System erheblich. Daher wird im folgenden der Chlormengenfluß analysiert.

Der größte Teil des eingesetzten Chlors setzt sich in der Schmelze um und wird an die Krätze gebunden. In der Schmelze gelöster Wasserstoff setzt sich mit dem eingeblasenen Chlor zu Chlorwasserstoff (HCl) um und entweicht gasförmig aus dem Ofenraum. In der Krätze ist Chlor ein erwünschter Bestandteil, da durch einen hohen Chloranteil der Schmelzsalzeinsatz beim Erschmelzen der Krätze verringert werden kann. Das entstehende Abgas wird als 1. Stufe im Wäscher gereinigt. Durch den Betrieb der Abgasreinigung ergibt sich eine 2. Abscheidestufe. Hierdurch wird eine zusätzliche Verringerung der HCl-Emission erreicht.

Basierend auf den vorliegenden Meßergebnissen zeigt **Bild 31** quantitativ den Chlormengenfluß für die Jahre 1996 – oberes Teilbild – sowie 2001 – unteres Teilbild. Angegeben sind jeweils die spezifische Chlormenge – bezogen auf 1 t produzierte Walzbarren. Hierdurch können die Daten auch bei steigender Produktionsmenge verglichen werden. Ergänzend dazu sind in **Tabelle 8** die Daten zusammengestellt und als prozentuale Verteilung angegeben.

Im Jahre 1996 wurden 189 g/t Chlor eingesetzt. Der größte Teil verbleibt mit 109 g/t in der Krätze. Ein kleiner Teil entweicht aus dem Gießofen und gelangt als diffuse Emission in die Umgebung. Ein weiterer Teil wird über die Ablufterfassung abgesaugt und gelangt über den Kamin in die Umgebung. Im Jahre 1996 war die Abgasreinigung noch nicht in Betrieb. Insgesamt ergeben sich Emissionen von 54 g Chlor/Chloride je t Walzbarren. Filterstaub fiel 1996 nicht an. 26 g/t wurden mit der Waschlauge abgeschieden.

Im Jahre 2001 mußte mit 234 g/t eine um 20 % höhere spezifische Chlormenge eingeblasen werden, da die Reinheitsanforderungen an die Legierungen gestiegen sind. Hierdurch ergibt sich auch ein größerer Anteil des Chlors, der in die Krätze eingebunden wird. Ebenso verbleibt mit 32 g/t eine höhere Chlormenge in der Waschlauge. Hier macht sich bemerkbar, daß ein höherer Volumenstrom durch die neuen Laugenstrahl-

wäscher abgesaugt wird. Durch die Abdichtung der Gießöfen und die erhöhten Wäschervolumenströme ergibt sich mit 10 g/t eine erheblich verringerte diffuse Emission. Hierbei handelt es sich, um eine bestmögliche Abschätzung. Aufgrund der Gewebefilter mit Kalkeinblasung werden die abgesaugten Abluftvolumenströme an den Türen und Hauben der Gießöfen zusätzlich gereinigt. Dadurch sinkt die Emission über den Kamin auf 15 g/t ab. Mit dem Filterstaub werden 26 g/t zusätzlich abgeschieden.

Während 1996 noch 54 g/t in die Umgebung abgeleitet wurden dies entspricht 28,5 %, sind dies 2001 nur noch 25 g/t entsprechend 10,7 % des Chlorinputs. Die gesamte HCl-Emission wurde damit gegenüber dem Zustand vor dem Demonstrationsvorhaben mehr als halbiert. Die HCl-Emissionsminderung errechnet sich zu 61 %.

5.4 Kontinuierliche Emissionsmessung für Staub, HCl und NOx

Mit dem Anschluß der Gießöfen 1 bis 6 an die AGR 2 waren die Umbauarbeiten an den Schmelz-/Gießanlagen Ende 2000 abgeschlossen. Damit verbunden war auch der Ausbau der kontinuierlichen Emissionsmessungen an AGR 2 und AGR 3. **Bild 32** zeigt eine schematische Übersichtsdarstellung zur Emissionsmessung.

Kontinuierlich gemessen werden:

- Volumenstrom
- O₂-Konzentration
- Staub-Konzentration
- HCl-Konzentration
- NOx-Konzentration.

Die Meßwerte aus AGR 2 und AGR 3 werden in einem gemeinsamen Emissionsrechner (TALAS) zusammengeführt und zu einer Gesamtbilanzmessung verrechnet. Die Ergebnisse dieser Messungen werden im Folgenden dargestellt.

In **Bild 33** sind in 2 Teilbildern die Tagesmittelwerte der Staubkonzentration im Reingas für AGR 2 (oben) und AGR 3 (unten) über ein Jahr – hier 2001 – dargestellt. Im überwiegenden Teil des Jahres liegen die Meßwerte an beiden AGR zwischen 1 bis 3 mg/m³_N. An beiden AGR traten dann aber teilweise recht plötzlich Staubkonzentrationen bis fast 10 mg/m³_N auf. Ursache sind Undichtigkeiten der Filtertaschen, die im Extremfall schon nach 2 oder 3 Jahren spröde und porös geworden waren. Als Filtergewebe wurden Taschenfilter aus verschiedenen Materialien nämlich Rayon und Nomex eingesetzt. Es zeigte sich beim betrieblichen Einsatz, daß für den vorliegenden Einsatzfall das Material Nomex die höherer Standzeit aufweist. Insgesamt werden Standzeiten des Filtermaterials von 5 Jahren angestrebt. Um den Gewebefilterverbrauch zu minimieren, werden die Gewebefilter erst ausgetauscht, wenn die Staubkonzentration im Reingas deutlich angestiegen ist. Dann können die defekten Schläuche optisch direkt erkannt werden. Ggf. muß ein fluoreszierendes Pulver eingeblasen werden, das durch intakte Schläuche zurückgehalten wird. Wenn das Pulver auf der Reingasseite erkennbar ist, wird der Schlauch ausgetauscht. Durch Austausch der Filtertücher sinkt die Konzentration wieder ab. Wegen der Verstaubung des Reingasaumes dauert es aber nach dem Austausch mehrere Tage bis sich die ursprüngliche Konzentration wieder einstellt. Weitere kurzzeitige Peaks der Staubkonzentration sind jeweils durch Wartungsarbeiten am Meßsystem bedingt.

Gemäß den eingeführten Methoden der statistischen Prozeßkontrolle wurden obere Eingreifgrenzen – rote Linie – berechnet. Die oberen Eingreifgrenzen wurden aus den Werten des Jahres 2001 bestimmt als Mittelwerte + 3 * Standardabweichung. Bei Vorgabe einer Normalverteilung liegt die Überschreitungswahrscheinlichkeit in diesem Fall bei ca. 0,1 %. Die grüne Linie kennzeichnet den Jahresmittelwert.

In gleicher Weise wie für die Staubkonzentration lassen sich auch die Werte für HCl und NO_x darstellen. **Bild 34** zeigt die Meßwerte der Konzentration als Tagesmittelwerte für Staub, HCl und NO_x in drei Teilbildern. Die Messungen betreffen die AGR 2 für das Jahr 2001. In **Bild 35** sind in gleicher Weise die Werte für die AGR 3 dargestellt, ebenfalls für das Jahr 2001.

Mit Hilfe der roten Linien läßt sich recht gut entscheiden was zum "Rauschen" des Prozesses gehört bzw. wann es sich um eine Störung handelt. Die Kurvenverläufe für die Staubkonzentration zeigen aber auch auf, wie kurzfristig gerissene Filtertaschen zu einem Anstieg bis in die Nähe des Grenzwertes führen. Hierfür ist es dann wichtig auch Zeit zum Handeln zu haben. D.h. ein Grenzwert sollte wenigstens um 100% über dem betrieblich üblichen Niveau des zu überwachenden Betriebswertes liegen.

Bild 36 zeigt in drei Teilbildern ergänzend zu den Konzentrationsdaten in den Bildern 34 und 35 die Tagesmittelwerte des Massenstroms für Staub, HCl und NO_x. Der Massenstrom wird auch als Fracht bezeichnet. Die Daten betreffen ebenfalls das Jahr 2001. Die Berechnung der Fracht aus den gemessenen Volumenstrom- und Konzentrationsdaten erfolgte durch das Meßwertrechnersystem ab Juni 2001. Die Zusammenführung der verschiedenen Meßdaten ist in Bild 32 veranschaulicht worden.

Der Massenstrom für Staub und HCl schwankt je um rund 1 kg/h herum. Die Schwankung für HCl ist dabei wesentlich unruhiger als bei Staub. Ein Grund dafür ist in dem wesentlich stärkeren Chargenbezug der Chlorigvorgänge zu sehen. Für NO_x liegt der Massenstrom im Jahresmittel bei rund 25 kg/h mit einer Schwankungsbreite von etwa ± 5 kg/h.

Im Jahresgang für Staub lassen sich die gerissenen Filtertaschen an einem Anstieg des Staubmassenstroms erkennen. Die Reparaturen mit Erneuerung der gerissenen Filtertaschen führen jeweils zu einem Absinken des Staubmassenstroms. Ab Mitte Oktober des Jahres 2001 liegen die Tagesmittelwerte für Staub sehr konstant bei nur noch 0,7 kg/h.

Um den Erfolg der Emissionsminderung insgesamt an den Schmelz-/Gießanlagen zu verdeutlichen, werden die spezifischen Emissionsmassenströme pro t Walzbarren herangezogen. **Bild 37** zeigt die spez. Staub-, HCl- und NO_x-Emission bezogen auf 1t erzeugter Walzbarren. Dargestellt sind die Werte für die Jahre 1996 bis 2002. In 1996 handelt es sich um den Ausgangszustand vor dem Umbau. In den Jahren 2000, 2001 und 2002 waren die Anlagen bereits vollständig umgebaut.

Sowohl für Staub wie für HCl läßt sich eine deutliche Emissionsminderung belegen. Eine geringere Emissionsminderung ergibt sich für NO_x. Vergleicht man die Jahre 1996 und 2002 so wurden folgende Emissionsminderungen erreicht:

	1996 kg/t	2002 kg/t	Minderung um %
Staub	0,0482	0,0094	80
HCl, Chloride	0,0349	0,0136	61
NOx	0,3556	0,2644	25

Mit diesem Ergebnis ist das Demonstrationsprojekt aus Sicht der Emissionsminderung ein großer Erfolg. Erkauft wird die Emissionsminderung für Staub und HCl allerdings mit einem Mehranfall an Filterstaub und wesentlich höherer CO₂-Emission durch den Einsatz von Strom für die Saugzuggebläse der Abgasreinigung.

5.5 Dioxine

Die Dioxinbildung ist nur möglich unter folgenden Voraussetzungen:

- Chlor oder Chlorverbindungen müssen vorhanden sein
- ausreichende Aufenthaltszeit des Abgases im Temperaturbereich 200 - 500 °C
- organische Bestandteile, aus denen aromatische Ringe gebildet werden können, müssen vorhanden sein
- es müssen metallische Komponenten, die als Katalysator wirken können, vorhanden sein.

Im gesamten Ofenbereich sind die Voraussetzungen für die Dioxinbildung danach kaum gegeben:

- Im **Schmelzofen** wird kein chlorhaltiges Spülgas zur Raffination der Schmelze eingesetzt. Der Einsatz von Abkrätzsatz – in Minimalmenge von 0,3 ‰ des Chargengewichtes – wurde nur testweise untersucht und wird nicht mehr fortgesetzt. Somit werden keine chlorhaltigen Komponenten eingesetzt.
- Im **Gießofen** ist zwar Chlor vorhanden, aber es fehlen die notwendigen organischen Verbindungen.
- Auch eine Vermischung des heißen Abgases aus dem Schmelzofen, das ggf. organische Verbindungen enthalten könnte und des Gießofenabgases, das Chlor enthalten kann, in der **Abgasleitung** wird im kritischen Temperaturbereich (> 200 °C) durch die Abwärmeauskopplung vermieden.

Eine Dioxinbildung ist daher nicht zu erwarten. Diese Einschätzung wird durch die Auswertung des Landesumweltamtes NRW gestützt (Abschlußbericht Dioxinmeßprogramm NRW, 1996) [8]. Zudem sind durch den ausschließlichen Einsatz von walzblankem Schrott und durch den Verzicht auf Abdecksatz im Schmelzofen wirksame Primärmaßnahmen zur Verhinderung der Dioxinentstehung ergriffen worden.

Zur Absicherung der o.g. Überlegungen wurden im Rahmen dieses Vorhabens nochmals Dioxinmessungen bei unterschiedlichen Betriebsweisen durchgeführt. **Bild 38** zeigt als Übersicht die gemessenen Konzentrationsbereiche für die unterschiedlichen Betriebsweisen und Anlagen.

Ausgangspunkt war eine Messung an SGA 10 bei herkömmlichem Betrieb. Zu diesem Zeitpunkt war SGA 10 noch nicht an die Abgasreinigung angeschlossen. Es ergaben sich sehr geringe Dioxinkonzentrationswerte zwischen 0,001 und 0,008 ng/m³ (TE nach NATO/CCMS). Weiterhin wurde die Dioxinemission nach der AGR 3 („Grundzustand“) bestimmt. Hierbei ergab sich eine sehr geringe Dioxinkonzentration im Bereich der Bestimmungsgrenze. Die gleiche Untersuchung an der AGR 2 ergab eine etwas höhere Dioxinkonzentration von rund 0,03 ng/m³, die allerdings immer erheblich unter der vielfach diskutierten Grenze von 0,1 ng/m³ liegt.

Schließlich wurden Betriebsvarianten untersucht, die möglicherweise Auswirkungen auf die Dioxinemission haben könnten. Diese Varianten wurden an AGR 3 untersucht und betreffen:

- die Einbringung des Spülgases in den Gießofen mit einer neuartigen rotierenden Düse RGI (rotary gas injector),
- die Einbringung von geringen Mengen Krätzsatz in den Schmelzofen zur Verbesserung der Metall/Krätzentrennung nach dem Schmelzen.

Diese Maßnahmen wirken sich in einer geringen Erhöhung der Dioxinemission aus. Allerdings liegen die gemessenen Konzentrationswerte mit maximal 0,04 ng/m³ immer noch deutlich unter den Grenzwerten nach 17. BImSchV. bzw. dem Zielwert für NE-Metall-Schmelzanlagen lt. UMK-Beschluß.

Die Belastung des abgeschiedenen Filterstaubs mit Dioxinen ist mit ca. 300 ng/kg relativ gering.

Insgesamt zeigt sich, daß im Aluminium-Schmelzwerk keine wesentlichen Dioxinemissionen entstehen. Da Alunorf nur walzblanke Produktionsschrotte in der Schmelzerei einsetzt – d.h. Schrotte ohne Lackierungen und ohne anhaftende Beschichtungen – ist die Dioxinbildung irrelevant. Hier wirkt sich das bei Alunorf verwirklichte Prinzip der Trennung von Schmelz- und Gießvorgang günstig aus, da die Bedingungen für die Dioxinentstehung in keinem Teilsystem gegeben sind.

5.6 Abfälle

Beim Betrieb der Abgasreinigung ist die Einblasung eines Filterhilfsmittels (hier: Weißfeinkalkhydrat) erforderlich, um die Filtermedien vor Verklebung zu schützen. Die entstehende Staubmenge beträgt ca. 200 t/a. Dies entspricht einer spezifischen Abfallmenge von 0,29 kg Filterstaub/t produziertes Aluminium-Walzbarren. Der Anteil des abgeschiedenen Prozeßstaubes an dem Filterstaub liegt bei nur ca. 10 - 20 %. Der überwiegende Teil des anfallenden Abfalls besteht somit aus dem eingeblasenen Kalk.

Zur Verringerung dieser Staubmenge wurde in AGR 2 die Möglichkeit zum Rezirkulieren von Kalk vorgesehen. Das abgeschiedene Kalk-/Staub-Gemisch erwies sich jedoch als sehr klebrig. Dies führte immer wieder zu Verklebungen im Rückführsystem, so daß ein geregelter Dauerbetrieb der Kalkrückführung in der Projektdauer nicht eingestellt werden konnte. In den Zeiten, in denen die Kalkrückführung arbeitete, zeigte sich jedoch ein Rückgang der Chloridemission. Daher sollen die Arbeiten zur Ertüchtigung der Kalkrückführung fortgesetzt werden. Wesentliche Verbesserungen für einen störungsfreien Betrieb werden durch die konsequente Beheizung der Rohrleitungen für den Kalktransport erwartet.

Im Rahmen einer Überprüfung der Abfallwirtschaft von NE-Metall-Gießereien durch das Umweltministerium NRW im Jahr 1997/1998 wurde auch die Abgasreinigung der Schmelz-/Gießanlagen der Alunorf untersucht. Als Ergebnis der technischen Beurteilung wurde festgehalten [9] Zitat:

„Vor dem Hintergrund, daß

- praktisch keine staubenden Einsatzstoffe (Krätze, Abdecksalze) in den Schmelzanlagen eingesetzt werden, sondern nur Masseln, walzblanke Schrotte (= Walzbänder), Metallrückläufe (i.d.R. abgesägte Stranggußenden) und Flüssigaluminium,
- für den Fall der Chlorung die Verfahrensablufte über separate Naßwäscher (Basis Natronlauge, Wasserstoffperoxid) geführt wird,
- der einzige Bereich, bei dem aufgrund der Einsatzmaterialien mit einem höheren Organikanteil (ggf. PCB und Dioxinen) zu rechnen ist, die Späneschmelzanlage ist, diese jedoch nicht an die hier betrachtete Abluftreinigungsanlage angeschlossen ist, stellt sich die Frage nach dem Zweck der zentralen Abluftbehandlungsanlage.“

Bei künftig zu errichtenden Schmelz-/Gießanlagen wäre demnach zumindest für die Schmelzöfen der Verzicht auf eine Abgasreinigung zu empfehlen, wenn nur walzblanke Schrotte eingesetzt werden.

6. Abwärmeauskopplung an den Schmelzöfen

Für die Produktion im Schmelzwerk mit seinen 13 Schmelz-/Gießanlagen wurden in 2002 etwa 72 Mio. m³ Erdgas eingesetzt. Davon wurden 63 Mio. m³ allein für die Schmelzöfen benötigt. Seit Beginn des Demonstrationsvorhabens ist der Erdgasverbrauch aufgrund wachsender Produktionsmengen an Aluminium-Walzbarren absolut noch gestiegen. Das Potential, bisher nicht nutzbare Abwärme der Schmelzöfen nutzbar zu machen, ist damit im Verlauf des Demonstrationsprojekts gewachsen.

Entsprechend der Aufgabenstellung für dieses Vorhaben galt es, sowohl Anlagen zur Wärmerückgewinnung aus dem korrosiven Abgas – also zur Wärmeauskopplung – zu erproben, als auch sinnvolle Wärmenutzungsmöglichkeiten zu erschließen. Wärmerückgewinnung und Wärmenutzung bilden dann ein Gesamtsystem das dazu führt, daß die ausgekoppelte Abwärme auf der Seite der Wärmenutzung bisher dort eingesetzte Energie verdrängt oder ersetzt.

Im Folgenden wird zunächst auf das Temperaturverhalten und die Wärmeauskopplung an den Schmelz-/Gießanlagen eingegangen. Die Ergebnisse der Wärmenutzung werden anschließend im Kapitel 8 dargestellt.

6.1 Chargenabhängiger Temperaturverlauf am Schmelzofen

Im Zusammenhang mit der Erfassung der verschiedenen Abgasvolumenströme an einer Schmelz-/Gießanlage sind in Bild 7 auch die gemessenen maximalen Temperaturen angegeben. Unmittelbar nach Reku werden dabei am Schmelzofen noch bis zu 700°C gemessen. Die verschiedenen Temperaturwerte in Bild 7 sind allerdings nicht konstant, sondern sie schwanken erheblich abhängig vom Zustand des Chargenprozesses. Die dargestellten Daten zeigen aber auf, daß insbesondere der Abgasvolumenstrom des Schmelzofens noch eine erhebliche Wärmeauskopplung erwarten läßt.

Der grundsätzliche Chargenablauf an einem Schmelzofen ist in Kapitel 3.1.1 beschrieben worden. Welcher Temperaturverlauf sich dadurch für eine Charge ergibt, soll anhand des folgenden Bildes beispielhaft aufgezeigt werden.

Bild 39 enthält drei Teilbilder, jeweils Abläufe abhängig von der Zeit von 0:00 bis 12:00 Uhr. Im unteren Teilbild sind die Öffnungszeitdauern für die Ofentür und den Ofendeckel ersichtlich. Während dieser Zeit steigt die O₂-Konzentration im Ofenraum bis auf 20 % an. Im mittleren Teilbild sind der Erdgas- und Brennlufvolumenstrom aufgetragen. Im oberen Teilbild sind schließlich die verschiedenen Temperaturverläufe dargestellt. Die zugrunde liegenden Messungen betreffen den Schmelzofen 11 am 08.05.2002.

Zu Beginn einer Charge – nach dem Überführen der Vor-Charge – wird zunächst der Ofendeckel geöffnet und Festmetall von oben in den Schmelzofen chargiert. Dies wird ggf. mehrfach wiederholt (Nachchargieren). Nach einiger Zeit werden noch nicht erschmolzene Partien im Ofen verteilt. Hierzu muß die Tür erneut geöffnet werden. Nach dem vollständigen Erschmelzen der Charge wird der oxidierte Anteil von der Oberfläche abgezogen (Abkrätzen). Anschließend wird die Charge durch Rühren homogenisiert und eine Probe genommen. Dies erfordert ebenfalls das mehrfache Öffnen der Ofentür. Weiterhin ist die Öffnung der Ofentür erforderlich, um den Fortschritt des Schmelzprozesses visuell zu verfolgen. Nachdem das Ergebnis der Probe vorliegt, wird ggf.

nachgelegt. Wenn der Gießofen schließlich bereitsteht, die nächste Charge aufzunehmen, beginnt der Überföhrungsvorgang (Chargenende). Abhängig von diesem Prozeßablauf verhalten sich die entsprechenden Meßgrößen.

Der Erdgasvolumenstrom steigt bei Vollast auf bis zu 2.500 m_N³/h. Das Verhältnis von Brennluft- zu Erdgasvolumenstrom wird unter Last auf 10:1 eingestellt. Hierbei liegt die Sauerstoffkonzentration im Abgas bei ca. 2-3 %. Die Deckeltemperatur ist auf max. 1.250°C begrenzt. Bei Erreichen dieses Wertes wird die Brennerleistung abgeregelt. Die Abgastemperatur sinkt beim Durchgang im Fuchs sowie durch den Rekuperator ab. Die Abgastemperatur nach Reku beträgt hier 500 bis 550°C.

Vor Reku werden etwa 700°C erreicht, die Brennlufttemperatur steigt im Maximum auf 480°C. Die im Rekuperator genutzte Temperaturabsenkung des Abgases beträgt 150 bis 200°C. Das ursprünglich nicht weitergehend genutzte Abgas der Schmelzöfen wurde mit rund 600 bis 650°C durch den Kamin abgeleitet. Die Wärmeverluste durch heißes Abgas erreichen somit auch bei Brennluftvorwärmung mit Rekuperatoren an Aluminium-Schmelzöfen noch 40 bis 45 % der zugeführten Brenngasenergie.

6.2 Wärmeauskopplung mittels Thermoöl

Durch die Zusammenführung des noch 600°C heißen Abgases mehrerer Schmelzöfen läßt sich eine weitergehende Wärmenutzung realisieren. An AGR 2 ist dies für die Schmelzöfen 7-10 durch Einbau einer Thermoölanlage umgesetzt worden. Für die Beschreibung der Thermoölanlage wird auf Kapitel 4 verwiesen sowie insbesondere auf **Tabelle 3** und Bild 14. Die Thermoölanlage der AGR 3 ist in der Fachveröffentlichung [10] beschrieben, die auch als [F 18] im **Anhang Dokumentation** beigelegt ist.

Wie bereits beschrieben, sind durch das Demonstrationsvorhaben emissions- und wärmetechnisch drei Ausrüstungsstufen an den 13 Schmelz-/Gießanlagen zu unterscheiden (siehe Kapitel 5). Aus wärmetechnischer Sicht läßt sich dabei folgende Einteilung für die Schmelzöfen vornehmen:

Stufe 1: Schmelzöfen 1-6

- Kühlluft als Rekuschutz
- Wärmeauskopplung zur Brennluftvorwärmung mit Rekuperatoren (Turbo-
manden).

Stufe 2: Schmelzöfen 7-10

- Kühlluft als Rekuschutz
- Wärmeauskopplung zur Brennluftvorwärmung mit Rekuperatoren
- Zusätzlich gemeinsamer Abgaskühler mit Thermoöl in AGR 2.

Stufe 3: a) Schmelzöfen 11-12

- keine Kühlluft statt dessen thermoölgekühlte Schockbündel
- Wärmeauskopplung zur Brennluftvorwärmung mit vorgeschaltetem Thermo-
öl-Luvo vor dem Rekuperator
- Zusätzlich gemeinsamer Abgaskühler mit Thermoöl in AGR 3

b) Schmelzöfen 13

- keine Kühlluft
- Wärmeauskopplung zur Brennluftvorwärmung mit Wabenkörper-Regeneratoren an jedem der 6 Brenner
- Zusätzlich gemeinsamer Abgaskühler mit Thermoöl in AGR 3.

Die erreichten Verbesserungen durch Auskopplung der Abgaswärme sollen übersichtlich anhand der folgenden Sankey-Diagramme aufgezeigt werden. Für die Schmelzöfen 7-10 sind die Betriebsergebnisse in **Bild 40** dargestellt. Das linke Sankey-Diagramm in Bild 40 stellt die Energieausnutzung im Ausgangszustand für das Jahr 1996 dar, also vor der Realisierung des Demonstrationsvorhabens. Ausgehend vom Energieinhalt des eingesetzten Erdgases als Brenngas mit 100 % werden durch die Brennluftvorwärmung 16,5 % der Brenngasenergie zurückgewonnen und mit der Brennluft erneut dem Schmelzprozeß zugeführt. Der Abgasverlust liegt bei 39,5 %. Zusätzliche Verluste sind Wandverluste, Strahlungsverluste bei offener Tür oder offenem Deckel sowie Verluste durch die Ofenrandkühlung und die Türrahmenkühlung. Insgesamt werden 49,5 % der eingesetzten Brenngasenergie als Nutzwärme der Schmelze zugeführt.

Das rechte Sankey-Diagramm zeigt die Energieströme nachdem die Schmelzöfen 7-10 mit einem zusätzlichen gemeinsamen Thermoölsystem ausgerüstet worden waren. Die Nutzung der mit Thermoöl ausgekoppelten Wärme von 29,6 % kann nur prozeßextern erfolgen, da keine zusätzlichen Anlagen zur Brennluftvorwärmung eingebaut werden konnten. Die im Schmelzprozeß nutzbare Wärme bleibt somit mit 49,5 % unverändert. Der Wärmeverlust im Abgas sinkt aber auf 9,9 % ab. Die Wärme im Thermoöl steht mit einer Temperatur von 170 bis 190°C zur Verfügung.

Da an den Schmelzöfen 1-6 keine zusätzlichen wärmetechnischen Einrichtungen geschaffen wurden, beschreibt das linke Sankey-Diagramm in Bild 40 auch den heutigen Zustand.

Bild 41 stellt die Ergebnisse für die Schmelzöfen 11-12 in gleicher Weise dar. Die Schmelzöfen 11-12 waren bis 1996 mit ähnlichen Rekuperatoren zur Brennluftvorwärmung ausgerüstet wie die Schmelzöfen 7-10. Zusätzlich zu einem thermoölgeköhlten Abgaskühler wurden die Schmelzöfen 11-12 mit sogenannten Thermoöl-Schockbündeln und Brennluftvorwärmern ausgerüstet. Das Thermoöl-Schockbündel ist 1 m vor dem Brennluftrekuperator im heißen Abgasstrom eingebaut. Es hat die Aufgabe das bis 1.350°C heiße Abgas auf Rekuetrtrittstemperatur unter 850°C zu kühlen. Damit kann auf die Kühlluftleinblasung komplett verzichtet werden. Der Brennluftvorwärmer ist auf der kalten Brennluftseite vor dem Reku eingebaut. Er wird vom heißen Thermoöl durchflossen und wärmt die Brennluft vor.

Im Ausgangszustand ergibt sich gegenüber den Schmelzöfen 7-10 aufgrund des moderneren Ofendesigns eine etwas erhöhte Brennluftvorwärmung (17 statt 16,5 %). Der Abgasverlust ist mit 45,0 % jedoch höher als bei den Schmelzöfen 7-10. Ursache hierfür ist die Betriebsweise der Schmelzöfen 11-12. Je nach Anforderungen an die Legierung ist eine erhöhte Genauigkeit in der Einstellung der Ziellegierung erforderlich, so daß ggf. mehrfach Metallproben genommen und analysiert werden müssen. Dies führt zu einer längeren Ofenwartezeit und somit höherem Warmhalteaufwand und geringerem Ofenwirkungsgrad.

Mit dem Einbau der Schockbündel und Brennluftvorwärmer verändert sich der Prozeß stark. Insgesamt wird eine Erhöhung der Brennluftvorwärmung erreicht. Zusätzlich wird ein höherer Anteil des Abgaswärmestromes an das Thermoöl ausgekoppelt. Der verbleibende Abgasverlust ist mit 6,2 % gegenüber 9,9 % an den Schmelzöfen 7-10 deutlich geringer. Ursache hierfür ist der deutlich geringere Abgasvolumenstrom an den Schmelzöfen 11-12 durch den Wegfall der Kühlluft.

Durch die dem Reku vorgeschaltete Brennluftvorwärmung über Thermoöl wurde die Brennlufttemperatur auf 490°C bei Volllast der Brenner gesteigert. Die Temperatur des Thermoöls im Schockbündel vor dem Reku erreicht dabei bis zu 230°C. Im Brennluftvorwärmer wird damit die Brennluft vor Eintritt in den Reku auf bis zu 200°C aufgeheizt. Auch wenn die Volllastphase vorbei ist, kann durch die gespeicherte Wärme im Thermoölsystem die Brennluft noch auf bis zu 100°C vorgewärmt werden. Dadurch steigt gerade in der Anfangsphase des Schmelzprozesses – wenn der Schrott im Ofen noch kalt ist – der Wärmeeintrag in den Ofen. Erhöhte Brennlufttemperatur und längere Wärmezufuhr über die durch Thermoöl vorgewärmte Brennluft steigern den Nutzwärmestrom in die Schmelze. Der Nutzwärmestrom steigt von früher 44,0 % auf heute 51,3 % an. Zusätzlich werden 31,5 % der bisher mit dem Abgas ungenutzt emittierten Wärme durch das Thermoölsystem in nutzbare Wärme umgeformt und ausgekoppelt.

Separate Messungen zum Verhalten der Schockbündel bzw. der Brennluftvorwärmer zeigten, daß im Mittel 37 % der Brennluftvorwärmung im Vorwärmer geschieht. Hierzu werden 50 % der im Schockbündel ausgekoppelten Wärme genutzt. Durch den Vorwärmer werden 7,5 % der mit dem Erdgas eingebrachten Energie zurückgewonnen. Hinzu kommen die 11 %, die der Rekuperator erbringt. In Summe werden somit an den Schmelzöfen 11-12 rund 18,5 % der eingebrachten Erdgasenergie vom Abgas in den Schmelzprozeß zurückgeführt.

Die Betriebsergebnisse für den regenerativ beheizten Schmelzofen 13 sind in **Bild 42** dargestellt. Das Abgas wurde ebenfalls zum thermoölbetriebenen Abgaskühler der Öfen 11 und 12 geleitet. Von den Abgasverlusten in Höhe von 24,9 % können heute 18,7 %-Punkte wieder als nutzbare Wärme zurückgewonnen werden. Der Abgasverlust an diesem Ofen sinkt damit ebenfalls auf 6,2 % ab. Im Ausnutzen der Brennstoffenergie für den Schmelzprozeß ist die regenerative Brennluftvorwärmung aber unschlagbar, wie die Wärmenutzung im Ofen mit 64,1 % belegt. Brenngasausnutzung im Schmelzofen mit 64,1 % und durch das heiße Thermoöl mit 18,7 % addieren sich fast zu 83 % Nutzung. Dies ist ein hervorragendes Ergebnis der Brennstoffnutzung.

Die zuvor dargestellten Ergebnisse der Wärmeauskopplung an den verschiedenen Schmelzofengruppen basieren auf einer Vielzahl betrieblicher Messungen und Langzeitauswertungen. Fehlende Daten wurden aufgrund von speziellen Versuchsmessungen ermittelt. Ergänzt wurden die eigenen Meßergebnisse durch Meßergebnisse der beauftragten Institute BFI und IUTA, siehe Tabelle 2.

7. Abwärme zur Prozeßwärme- und Fernwärmeversorgung

Die an den Schmelzöfen 7 bis 13 in Form von Thermoöl auskoppelbare Abwärme erreicht in der Spitze eine Wärmeleistung von bis zu 38 MW. Für die größtmögliche Nutzung dieser Abwärme wurde auch außerhalb des Werkes nach Möglichkeiten gesucht. Seit 1995 kooperiert Alunorf dazu mit den Stadtwerken Neuss (SWN). Dabei ergab sich der günstige Umstand, daß die Stadt Neuss im Süden des Stadtgebiets in Neuss-Allerheiligen ein neues Wohngebiet für bis zu 4.000 Menschen entwickelt, siehe Bild 3. Mitte 1995 fanden Gespräche mit den Stadtwerken Neuss statt, um das neue Wohngebiet nicht klassisch mit Erdgas, sondern durch Fernwärme zu versorgen. Weiterhin sollte ein Gewerbepark an die Fernwärmeversorgung angeschlossen werden [11].

Bild 43 zeigt ein grobes Verfahrensschema der neu geschaffenen Fernwärmeversorgung. Die ungereinigten 550°C heißen Abgase der Schmelz-/Gießanlagen werden in zwei Gruppen vor den Abgasreinigungen AGR 2 und AGR 3 zusammengeführt. Die Abkühlung der Abgasströme auf unter 160°C vor Eintritt in die Gewebefilter geschieht in zwei großen Thermoöl-Wärmetauschern. An jeden Thermoölkreislauf ist ein eigener Heißwasserkreislauf angeschlossen. Über einen gemeinsamen Wärmetauscher (WT4) sind die beiden getrennten Heißwasserkreisläufe thermisch miteinander verbunden. So kann zum einen das externe Fernwärmesystem der Stadtwerke nach Allerheiligen, als auch das interne Heißwassernetz der Alunorf mit unterschiedlichen Druckstufen und Heißwassertemperaturen versorgt werden. An das Werksnetz sind auch 4 Schutzgaserzeuger als weitere Abwärmequellen angeschlossen sowie das betriebliche Kesselhaus mit heute 3 Heißwasserkesseln.

Damit wird es möglich, die industriell anfallende Abwärme der Schmelzöfen und Schutzgaserzeuger zur Prozeßwärmeerzeugung und Gebäudeheizung zu nutzen und gleichzeitig für die Zeit der Produktionsstillstände, Ostern und Weihnachten, die Beschaffung der Fernwärme im Wohngebiet durch die Kessel zu übernehmen. Die maximale Wärmeleistung im Endausbau zur Versorgung des Wohngebiets sowie des Gewerbeparks wurde mit 23 MW festgeschrieben. Bei Vollausbau wird mit einem jährlichen Wärmebedarf von rund 46.000 MWh ($\pm$ 46 Mio. kWh) gerechnet. In gleicher Größenordnung ist für das Werksnetz ein Wärmebedarf von rund 45.000 bis 60.000 MWh ($\pm$ 45 bis 60 Mio. kWh) gegeben. Dies entspricht in Summe einem Energieäquivalent von rund 10 Mio. m³ Erdgas pro Jahr.

Die Versorgung des Fernwärmenetzes der Stadtwerke soll im Jahresmittel zu mehr als 90 % durch Abwärme erfolgen. Das bedeutet, die Versorgung aus dem Kesselhaus soll nur für wenige Produktionsstillstände im Jahr genutzt werden. In dem sehr hohen erreichbaren Abwärmeanteil liegt sicherlich eine Besonderheit dieses Demonstrationsprojektes.

7.1 Bau und Inbetriebnahme der Fernwärmeversorgung

Parallel zum Bau der Abgasreinigung AGR 2 – siehe Kapitel 3.2 und 4 – ist durch die Stadtwerke Neuss mit dem Aufbau der Fernheizzentrale und der Rohrtrasse zwischen AGR 2 und dem bestehenden Kesselhaus begonnen worden. Diese Anlagenteile sind Eigentum der Stadtwerke. **Bild 44** zeigt eine Fotomontage zur Veranschaulichung der Einbindung der Fernwärmeleitung nach Allerheiligen (2 km) und der neuen Rohrtrasse im Werk (750 m) zwischen AGR 2 mit Fernheizzentrale und dem Kesselhaus. Zwischen AGR 2 und AGR 3 sind die Heißwasserleitungen unterirdisch verlegt worden.

Am 23.02.1999 wurde das Fernwärmesystem mit einem Festakt offiziell in Betrieb genommen. Im **Anhang Dokumentation** sind die anlässlich dieser Veranstaltung erfolgten Grußworte und Presseveröffentlichungen separat zusammengestellt. Es sind 20 Beiträge [F1 bis F20] im Anhang beigelegt. Das Grußwort von Simone Probst, Parlamentarische Staatssekretärin im Bundesumweltministerium wurde von Dr. Andreas Gallas, Bundesumweltministerium vorgetragen [F 2]. Das Foto im Anhang zeigt während des Drückens des „roten Knopfes“ weitere Vertreter des Landes NRW, der Stadt Neuss sowie der Aufsichtsgremien und der Geschäftsführung der Alunorf.

Zum Inbetriebnahme-Termin der Fernwärme im Februar 1999 waren 150 Abnehmer angeschlossen. Ende 2002 sind rund 500 Abnehmer angeschlossen. **Bild 45** zeigt das R+I Schema der Heißwassernetze. Von links nach rechts sind dargestellt: Fernwärmeerzeugung aus WT2, Druckhaltung Fernwärmenetz Allerheiligen, erdverlegte Rohrleitung AGR 2 - AGR 3, Fernwärmeerzeugung aus WT3, Rohrbrücke und Versorgungsgebiet Fernwärme Allerheiligen. Das Fernwärmenetz nach Allerheiligen wird derzeit mit einer Vorlauftemperatur von 90°C betrieben, um die Wärmeverluste gering zu halten. Die Auslegungstemperatur beträgt 130°C. Der Wasserinhalt des Netzes beträgt rund 450 m³. Kaltes Rücklaufwasser wird zunächst im WT3 durch die AGR 3 erwärmt. Reicht die Abwärme hier nicht aus, wird die erforderliche Wärme durch den WT4 dem System zugeführt. WT4 selbst wird dabei überwiegend durch Abwärme aus der AGR 2 (WT2) versorgt. Nur selten gelangt Wärme aus dem Kesselhaus über den WT4 in das Fernwärmesystem der Stadtwerke. Das auf 90°C erwärmte Wasser wird dann durch 2 drehzahlgeregelte Heißwasserpumpen nach Allerheiligen gepumpt. Auf dem Weg dorthin ist mit dem Energiezentrum EZ 2 ein Wärmeverbraucher der Alunorf direkt an das Fernwärmesystem angeschlossen.

In der **Tabelle 9** sind die Auslegungsdaten der verschiedenen im Verbund arbeitenden Wärmetauscher zusammengestellt. Auf der heißen Abgasseite zur Auskopplung der Abwärme in Form von Thermoöl beträgt die installierte Wärmetauscherleistung 37,8 MW. Vom Thermoöl wird die Wärme zur Nutzung weitergeleitet an die Brennluftvorwärmung SO 11-12 und die Heißwassersysteme Prozeßwärme und Fernwärme. Die hierfür installierte Wärmetauscherleistung summiert sich zu 27,6 MW. Kann die ausgekoppelte Abwärme nicht genutzt werden, so muß sie durch die Rückkühler der AGR 2 und 3 mit insgesamt 41 MW abgefahren werden. Durch die Abnahme der Wärmetauscherleistung vom Abgas zum Heißwasser wird berücksichtigt, daß die höhere Leistung auf der sehr unzeitig anfallenden Abwärmeseite erforderlich ist. Durch den Chargenbetrieb der Schmelzöfen ist der zeitliche Anfall der Abwärme stark schwankend. Die beiden Thermoölsysteme AGR 2 und AGR 3 wirken dann vergleichmäßigend ebenso wie die Heißwassersysteme. Dennoch ist der Regelaufwand für den Betrieb der verschiedenen Wärmenutzer erheblich.

7.2 Prozeßwärmeversorgung im Werk

Während das Fernwärmenetz durch die Stadtwerke vollkommen neu errichtet wurde, erfolgte die Prozeßwärmeversorgung im Werk durch ein bestehendes Heißwassernetz 160/130°C bei 12 bar Überdruck. Zur Wärmeerzeugung wurden zu Beginn des Projektes 2 Heißwasserkessel mit je 5,8 MW und 4 Schutzgaserzeuger mit je 0,8 MW betrieben. Als Brennstoff wird ausschließlich Erdgas L eingesetzt. Die wesentlichen Anlagen-

komponenten sind meist älter als 30 Jahre. Das Heißwassernetz ist über die Jahre ständig gewachsen. Dabei wurden Teilstränge verknüpft, die ggf. mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen betrieben werden können. Zur Erhöhung der Effektivität der Abwärmennutzung war dieses Netz wesentlich umzubauen. Desweiteren reichte die Leistung der vorhandenen 2 Kessel nicht aus, die Besicherung der Fernwärmeversorgung mit zu übernehmen.

Bild 46 zeigt das R+I-Schema des Heißwasser Werknetzes nach dem Umbau. In der Mitte des Schemas ist die Einbindung der AGR 2 dargestellt. Diese Anschlüsse sind im Bild 45 oben im Schema angeordnet. Das Werknetz dient zur Prozeßwärmeversorgung von 4 Verbrauchgruppen (rechts im Bild 46):

- Beheizen der Emulsionssysteme Warmwalze 1 und 2
- Beheizen der destillativen Walzölrückgewinnung an den Airpure-Anlagen der Kaltwalzen 1 bis 5
- Warmwasserversorgung der 3 Waschkauen und der Kantine für 1.500 Mitarbeiter im Schichtdienst
- Gebäudeheizung und Warmwasserversorgung in Verwaltungsgebäuden, Magazin, Hauptwerkstatt und einem Teil der Kaltwalzhalle.

Die benötigte hohe Vorlauftemperatur von 160°C ist bedingt durch die Mindesttemperatur der Airpure-Anlagen. Als Heizmedium für die Airpure-Anlagen wird Heißwasser mit einer Vorlauftemperatur von rund 155°C benötigt. Sie sind damit wesentliche Verbraucher für Prozeßwärme. Alle anderen Wärmeverbraucher erfordern lediglich eine geringere Vorlauftemperatur. Aufgrund der hohen Vorlauftemperatur lag auch die Rücklauftemperatur im alten Netz mit 130°C recht hoch. Durch Regelung der Durchflußmenge über 3-Wegeventile entsprechend einer geringeren Rücklauftemperatur in den einzelnen Verbraucherkreisen, konnte jetzt die Spreizung im Heißwassernetz erhöht werden. Weiterhin wurden Verbraucher umgeschlossen, so daß sie mit geringerer Vorlauftemperatur auskommen oder es wurden Verbraucher hintereinander geschaltet, um die Rücklauftemperatur abzusenken. Ziel der Maßnahmen war es, die Spreizung zu erhöhen, die Rücklauftemperatur abzusenken und die umzuwälzende Heißwassermenge zu verringern. Der Erfolg dieser Maßnahmen zeigte sich in einer von Jahr zu Jahr gestiegenen Abwärmemenge, die im Kesselhaus Erdgas verdrängt.

7.3 Erneuerung und Inbetriebnahme Kesselhaus

Einen zusätzlichen Beitrag zu einem verringerten Energieverbrauch für die Prozeßwärmeversorgung des Werkes liefern auch die neuen Heißwasserkessel ausgerüstet mit einer modernen Meß- und Regeltechnik. Im Schema Bild 46 sind die 3 neuen Kessel links dargestellt. Sie sind über eine hydraulische Weiche mit dem Heißwasser-Werknetz verbunden.

Bild 47 zeigt ein Foto der neuen Kessel kurz nach dem Aufsetzen auf die Fundamentplatte im Frühjahr 2001. Links der kleine Kessel hat eine Wärmeleistung von rund 4 MW während die 2 großen Kessel je eine Wärmeleistung von 14,5 MW aufweisen. Insgesamt beträgt die Wärmeleistung rund 33 MW. Nach der Fertigstellung 10 Monate später zeigt **Bild 48** einen Blick in das neue Kesselhaus. Im Vordergrund rechts der kleine

Kessel, dahinter die 2 großen Kessel. **Bild 49** zeigt ergänzend einen Blick von der Kesselrückseite des kleinen Kessels. Links am Bildrand der Brenner mit der auf ihn zuführenden Erdgasleitung. Im Vordergrund rechts das Abgasrohr zum Kamin. **Bild 50** zeigt schließlich eine Außenansicht des neuen Kesselhauses im Mai 2002 nach der Fertigstellung. Der Kamin ist dreizügig ausgeführt. Aus Lärmschutzgründen ist jeder Kessel über einen Abgasschalldämpfer an den Kamin angeschlossen.

Am 4. Juli 2002 wurde das neue Kesselhaus offiziell in Betrieb genommen. Gemeinsam mit den Stadtwerken Neuss stellte Alunorf das Projekt auf dem Festakt im Casino der Öffentlichkeit und der Presse vor. Rund 50 Gäste aus Politik, Nachbarschaft und Behörden sowie von den beteiligten Baufirmen waren der Einladung zu dem Festakt gefolgt. Nach kurzen Ansprachen der Geschäftsführer der Stadtwerke Neuss sowie der Alunorf wurde die Funktion der neuen Kessel anhand von Videodarstellungen und Schautafeln erläutert. Anschließend konnten die Besucher bei einem Werksrundgang das neue Kesselhaus in Augenschein nehmen.

Die örtliche Presse in Neuss berichtete ausführlich über die erfolgreiche Inbetriebnahme. Im **Anhang Dokumentation** sind die zu dieser Veranstaltung gehörenden Unterlagen separat zusammengestellt [K1 bis K5] gemeinsam mit Fotos des Pressetermins und des Empfangs.

8. Ergebnisse zur Energieeinsparung und CO₂-Minderung

In den beiden vorangegangenen Kapiteln 6 und 7 ist auf die Wärmeauskopplung an den Schmelzöfen und die neu errichteten Anlagen zur Prozeßwärme- und Fernwärmeversorgung eingegangen worden. Mit den neuen Kesseln ist seit Anfang 2002 die Infrastruktur fertiggestellt, um die von diesem Projekt erwarteten Energieeinsparungen verifizieren zu können.

8.1 Energieeinsparung durch Abwärmenutzung

Grundlage der wärmetechnischen Bilanzierungen bildet die monatliche Ermittlung der in **Tabelle 10** dargestellten Daten. An jedem 1. im Monat wurden für eine Vielzahl von Wärmezählern und Gaszählern die Zählerstände in der Zeit von 11:00 bis 13:00 Uhr durch Handaufschreibung erfaßt. Dabei festgestellte Defekte von Zählern wurden soweit möglich über Bilanzrechnungen korrigiert. Vom IUTA wurden die monatlichen Daten kritisch hinterfragt und anhand eines Bilanzmodells soweit erforderlich nachkorrigiert. Halbjährlich erfolgte eine Berichterstattung, die zu einem Jahresbericht verdichtet wurde, siehe Tabelle 2.

Bild 51 zeigt als Balkendiagramm für 2002 die monatliche Wärmenutzung unterschieden nach der Art Wärmeerzeugung. Folgende Wärmeerzeuger sind zu unterscheiden:

- Schutzgaserzeuger: Sie liefern einen ständigen Abwärmestrom und stellen eine gewisse Grundlast an nutzbarer Abwärme dar.
- WT2: Abwärmequelle der AGR 2 aus den Schmelzöfen 7-10.
- WT3: Abwärmequelle der AGR 3 aus den Schmelzöfen 11-13.
- Heizkessel EZ1: Frischwärmeerzeugung durch die neuen Heißwasserkessel 3-5 ab 2002. Bis November 2001 waren die alten Heißwasserkessel 1-2 in Betrieb.
- Heizkessel EZ2: Frischwärmeerzeugung durch einen 0,8 MW Warmwasserkessel 90/70°C.

Das Balkendiagramm zeigt einen deutlichen Jahresgang der Wärmenutzung. Der Wärmebedarf der verschiedenen Verbraucher variiert übers Jahr von 5.000 MWh/Monat bis zu 9.000 MWh/Monat. Der Abwärmestrom der Schutzgaserzeuger ist dabei recht konstant und weist praktisch keinen Jahresgang auf. Hauptwärmelieferant sind die Abwärmequellen von AGR 2, WT2 und AGR 3, WT3. Der geringste Anteil wird von den Heizkesseln geliefert.

Ausgehend von der Monatsdarstellung können die Wärmemengen zu einer Jahresmenge aufsummiert werden. **Bild 52** zeigt die verschiedenen Jahressummen für 2002 als Sankey-Diagramm. In grün dargestellt die genutzten Abwärmeströme der Thermoöl-Wärmetauscher WT2 und WT3. Aus der Breite der Wärmeströme ist deutlich erkennbar, daß vom Wärmetauscher WT2 der größte Wärmestrom mit 25.900 MWh ausgeht. Dieser Wärmestrom fließt in das Heißwasser-Werksnetz zur Prozeßwärmeversorgung. Der vom Wärmetauscher WT3 ausgehende Wärmestrom ist mit 14.100 MWh wesentlich kleiner. Er fließt vollständig in das Fernwärmenetz. Von dort werden im wesentlichen die Stadtwerke für Neuss-Allerheiligen versorgt. Ein kleiner Anteil wird aus dem Fernwärmenetz für Alunorf zur Beheizung im Energiezentrum EZ2 entnommen. Bei kurzzeitigem Mangel an Abwärme vom WT3 gelangt auch Abwärme vom WT2 in das Fernwärmenetz. Zu längeren Stillstandszeiten fließt über den Wärmetauscher WT4 Frischwärme von den Kesseln in das Fernwärmenetz.

Neben den Wärmeströmen aus der Abwärme durch Thermoöl liefern die Schutzgaserzeuger einen wesentlichen Wärmestrom. Die dann noch fehlende Wärmemenge muß als Frischwärme in den Kesseln erzeugt werden. Das Gesamtsystem zu jedem Zeitpunkt so in Balance zu halten, daß ein Maximum an Abwärme genutzt werden kann, dies ist die Aufgabe für die kommenden Jahre. Darüberhinaus ist davon auszugehen, daß auch die Fernwärme für die Stadtwerke weiter anwächst.

Bild 53 zeigt speziell nur für den Abwärmestrom der Fernwärmeversorgung die monatliche Wärmemenge in 2002. Davon ist der ganz kleine untere in rot dargestellte Balken der Anteil an Stromverbrauch für die Fernwärmepumpen. Durch eine schwarze Punktlinie ist die monatliche Wärmemenge des Vorjahres also 2001 mit eingetragen. Tabelle 10 gibt den Frischwärmeanteil für 2002 mit 5,9 % an. Das bedeutet zu 94,1 % wurde der Stadtteil Allerheiligen mit Abwärme ohne CO₂-Emission beheizt.

Bild 54 zeigt den Jahresgang der Abwärmenutzung und des noch benötigten Erdgas-einsatzes für Prozeßwärme bei Alunorf in 2002. Ausgeblendet ist hier die Abwärme, die von den Schutzgaserzeugern genutzt wurde. Der Vergleich der grünen Balken in Bild 53 und 54 zeigt, daß die Abwärmenutzung bei Alunorf noch deutlich höher ist als im Fernwärmegebiet Allerheiligen.

Auch der Jahresgang ist nicht so ausgeprägt wie bei der Fernwärmeversorgung. Frischwärme durch Verfeuern von Erdgas in den Kesseln ist aber das ganze Jahr über notwendig. Hier macht sich die zeitliche Variation im Abwärmeeinfall bemerkbar. Rechnet man die Wärmemenge von ca. 1.000 MWh pro Monat – die auch in den Sommermonaten notwendig waren – um in einen stündlichen Wärmestrom, so zeigt sich, daß der kleine Kessel mit 4 MW praktisch dauernd mit rund 50 % seiner Leistung in Betrieb ist. Mit diesem Kessel wird damit auch der gesamte Regellastbereich für beide Heißwassernetze – Werksnetz und Fernwärmenetz – abgedeckt.

Bild 55 zeigt zum Vergleich mit Bild 53 die Entwicklung der monatlichen Abwärmemenge zur Fernwärmeversorgung Allerheiligen im Jahr 2001. Die monatlichen Wärmemengen sind als grüne Balken dargestellt. Die durchgezogene Linie stellt die Entwicklung im Vorjahr 2000 dar. Gegenüber den entsprechenden Vorjahresmonaten hat die Wärmenutzung für das Wohngebiet Allerheiligen und im neu erschlossenen Gewerbegebiet erheblich zugenommen.

In 2001 konnte die Abwärmenutzung zur Fernwärmeversorgung gegenüber 2000 von rund 7.889 MWh um ca. 50 % auf 11.803 MWh gesteigert werden. Kurzzeitige Spitzen für die Fernwärmeversorgung erreichten eine Wärmeleistung von bis zu 6,5 MW. Insgesamt mußten 7,4 % der Fernwärme durch Frischwärme, d. h. durch Erdgasverbrennung in den Kesseln erzeugt werden. 92,6 % der Fernwärme wurden aus Abwärme erzeugt.

Bild 56 zeigt den Jahresgang der Abwärmenutzung und des noch benötigten Erdgas-einsatzes für Prozeßwärme und Gebäudeheizung bei Alunorf für 2001. Der Vergleich der Höhe der Balken in Bild 54 und Bild 56 zeigt, daß die Abwärmenutzung bei Alunorf in 2001 noch deutlich geringer war als 2002.

Die noch benötigte monatliche Wärmemenge aus Verbrennung von Erdgas ist in Bild 56 als gelber Balkenteil dargestellt. Insgesamt erreichte die Abwärmenutzung 19.208 MWh in 2001. Dies entspricht 51 % der früher durch die Kessel zu erzeugenden Wärmemenge für Prozeßwärme und Gebäudeheizung.

In **Bild 57** ist die Entwicklung der jährlichen Prozeßwärme für die Jahre 1996 bis 2002 als Balkendiagramm dargestellt. Die verschiedenen Bereiche innerhalb eines Balkens geben den prozentualen Anteil der jeweiligen Art der erreichten Wärmeenergie an. Von 1996 bis 1998 standen nur die Schutzgaserzeuger und die Heizkessel als Wärmeenergieerzeuger zur Verfügung. Pro Jahr wurden rund 50.000 MWh an Wärmemenge erzeugt. Davon wurden 25 bis 29 % durch die Abwärme der Schutzgaserzeuger gedeckt. 71 bis 75 % mußten durch Verfeuern von Erdgas in den Heizkesseln erzeugt werden. Dies entspricht einem jährlichen Erdgasverbrauch von rund 3,8 Mio. m³ Erdgas.

Im Februar 1999 wurde die Abwärmerückgewinnung mit Hilfe der Thermoölsysteme in Betrieb genommen. Im ersten Betriebsjahr konnten bereits 30 % der Prozeßwärme durch Abwärme aus den Schmelzöfen erzeugt werden. In den Jahren 2000, 2001 und 2002 konnte die Abwärmenutzung dann schrittweise ausgeweitet werden. Der Einbruch in 2001 im Vergleich zu 2000 hängt mit erhöhten Temperaturanforderungen durch die Airpure-Anlagen als Wärmeverbraucher zusammen. Die hohe Rücklauftemperatur von bis zu 140°C führte zu einer erhöhten Rücklauftemperatur im gesamten Werksnetz. Hierdurch konnte die AGR 2 weniger Abwärme ins Werksnetz abgeben. Durch einen Umschluß im Heißwassersystem wurden einige Verbraucher in den Rücklauf der Airpure-Anlagen geschaltet. Als Folge davon sank die Rücklauftemperatur im Netz und AGR 2 konnte wieder mehr Abwärme einspeisen.

Bedingt durch steigende Walzproduktion in den Jahren 1998 bis 2002 ist der Prozeßwärmebedarf ständig gestiegen. Damit einhergehend ist auch die Abwärmenutzung ausgeweitet worden. Der Anteil an Abwärmenutzung hat sich darüber hinaus insbesondere durch Anlagenverbesserungen im Heißwassersystem prozentual erhöht. Folgende Optimierungsmaßnahmen waren hierfür wesentlich:

Einbindung Schutzgaserzeuger: Als problematisch erwies sich die Einbindung der Schutzgaserzeuger in das Gesamtsystem. Die höchstzulässige Eintrittstemperatur in die bereits seit 30 Jahren betriebenen Schutzgaserzeuger beträgt 125°C. Bei der vorgesehenen Einbindung parallel zu den Kesseln erhielten die Schutzgaserzeuger jedoch zunächst das vorgewärmte Wasser von AGR 2. Die Eintrittstemperatur in die Schutzgaserzeuger lag aufgrund dieser Vorwärmung oft über dem Grenzwert, so daß dieser Teilstrom unnötigerweise vorgekühlt werden mußte. Bei einem Anlagenstillstand Pfingsten 1999 wurde die Einbindung der Schutzgaserzeuger verändert. Seitdem wird Wasser aus dem Rücklauf der Prozeßwärmekreisläufe direkt in die Schutzgaserzeuger eingespeist. Weiterhin konnte das in den Schutzgaserzeugern erwärmte Wasser wahlweise in den Prozeßwasserrücklauf oder in den Eintritt des alten bis 2001 betriebenen Kessels 1 eingespeist werden.

Temperaturgrenze AGR 2 wegen Systemdruck in alter Kesselanlage: Die alte Kesselanlage war für einen maximalen Druck von 12,5 bar ausgelegt. Damit allerdings die AGR 2 die maximale Vorlauftemperatur sicher erreichen kann, ist die Anlage bis zu einem Druck von 14 bar abzusichern. Erschwerend kam hinzu, daß die vorhandene Druckhalteanlage den Druck nur mit einem Schwankungsbereich von ca. 2 bar halten konnte. Nach mehrmaligem Ansprechen der Drucküberwachung wurde die Temperatur auf maximal 140°C Vorlauftemperatur nach AGR 2 begrenzt. Daher konnte die AGR 2 nach Inbetriebnahme und vor Einbau der neuen Kesselanlage/Druckhalteanlage nicht mit voller Vorlauftemperatur betrieben werden. Aufgrund der relativ hohen Temperatur konnte hierbei noch nicht die volle Abwärmemenge der AGR 2 genutzt werden. Erst durch Einbau der neuen Druckhalteanlage zum Jahreswechsel 2001/2002 konnte der

Wasserdruck im Heißwassersystem konstant gehalten werden. Dies ermöglichte dann eine Erhöhung der maximal zulässigen Vorlauftemperatur nach AGR 2 von 140 auf 150°C.

Regelungsproblem durch schwankendes Wärmeangebot aus AGR 2: Es wurde deutlich, daß der Abwärmeanfall aus AGR 2 zeitlich sehr stark schwankt. Genauere Messungen zeigten, daß diese Abwärmelücken meist nur eine Dauer von 5 bis 30 Minuten aufweisen. Bei einer Mittelungszeit von 5 Stunden – dies entspricht einer typischen Chargendauer – ergibt sich dagegen nur noch eine geringe Schwankung der Wärmeleistung. Um diese schwankende Wärmeabgabe der AGR 2 zu kompensieren und im Heißwassernetz eine möglichst konstante Vorlauftemperatur zu erreichen, wurde das neue Kesselhaus mit einem kleinen 4 MW-Kessel ausgerüstet, der speziell auf diesen Betriebsfall hin ausgelegt ist.

Der Erfolg dieser Optimierungsmaßnahmen läßt sich an der Entwicklung in Bild 57 deutlich erkennen. In 2002 trug die Abwärme aus Thermoöl zu 43 % zur Prozeßwärmeversorgung des Werkes bei. Bezieht man die Abwärme aus Thermoöl nur auf den Anteil der vor 1999 allein durch die Kessel abgedeckt wurde, so beträgt der Anteil sogar 61 %. Dies bedeutet 61 % der vor 1999 im Kesselhaus notwendigen Erdgasmenge werden bereits durch Abwärme aus Thermoöl verdrängt bzw. sind substituiert worden. Der Vergleich der Daten für 2002 mit den Vorjahren zeigt, daß die Abwärmenutzung sukzessive gesteigert werden konnte. Nur noch 27 % der Prozeßwärmeversorgung mußten in 2002 durch Verfeuern von Erdgas in den Heizkesseln gedeckt werden. Mit ein Grund für diesen geringen Erdgaseinsatz war auch die verbesserte Nutzung der Abwärme aus den Schutzgaserzeugern. Auch hier wirkten sich die Optimierungsmaßnahmen, wie zuvor beschrieben, sehr positiv aus.

Um zukünftige Optimierungspotentiale aufspüren zu können, ist auf den bisherigen Ergebnissen aufbauend ein statistisches Modell der Prozeßwärmeverteilung erarbeitet worden. Hiermit können alternative Betriebsweisen vorher studiert und analysiert werden.

Die mit Hilfe der Thermoölsysteme an den Schmelzöfen 7-13 zurückgewonnene Abwärme substituiert Erdgas für folgende Zwecke:

- Zusätzliche Brennluftvorwärmung SO 11-12
- Prozeßwärme und Gebäudeheizung Alunorf
- Fernwärme Allerheiligen der Stadtwerke Neuss.

In **Tabelle 11** sind die für die Jahre 2000, 2001 und 2002 erreichten Energieeinsparungen für die genannten 3 Abwärmenutzungsaspekte zusammengestellt. Ergänzend ist die CO₂-Minderung angegeben, auf die später noch eingegangen wird. Die Energieeinsparung steigt von 31.237 MWh in 2000 auf 42.805 MWh in 2002 an. Stellt man die genutzte Abwärmemenge der an den Schmelzöfen 7-13 eingesetzten Erdgasenergie gegenüber, so ergibt sich folgende Aufstellung:

Jahr	Erdgaseinsatz SO 7-13 MWh (Hu)	Energieeinsparung durch Abwärmenutzung gemäß Tabelle 11 MWh	%
2000	381.970	31.237	8,2
2001	374.000	32.262	8,6
2002	404.225	42.805	10,6

Das Ergebnis zeigt, daß mit Hilfe der Thermoölsysteme bereits innerhalb der ersten drei vollen Betriebsjahre die Energieeinsparung auf mehr als 10 % des Erdgaseinsatzes der angeschlossenen Schmelzöfen gesteigert wurde. Das theoretische Gesamtpotential der Energieeinsparung ohne Berücksichtigung von Wärmeübertragungsverlusten und ohne Berücksichtigung zeitlicher Lücken zwischen Abwärmeangebot und Wärmenutzung liegt gemäß der in Bild 40 bis 42 dargestellten Ergebnisse bei rund 28 %. Mit dem weiteren Ausbau des Fernwärmegebiets und der optimierten Prozeßwärmeversorgung wird für die kommenden Jahre eine Abwärmenutzung erwartet, die bis zu 20 % der an den Schmelzöfen 7-13 eingesetzten Brenngasenergie erreichen könnte.

8.2 CO₂-Emissionsbilanz

Mittels der durch Thermoöl umgeformten Abwärme zu Prozeßwärme und Fernwärme wird bisher eingesetztes Erdgas verdrängt oder ersetzt. Zusätzlich führt das spezielle Thermoölsystem an AGR 3 dazu, daß an den Schmelzöfen 11-12 die Brennluftvorwärmung steigt. Somit ergeben sich drei Punkte der CO₂-Minderung:

- Zusätzliche Brennluftvorwärmung SO 11-12
- Prozeßwärme und Gebäudeheizung Alunorf
- Fernwärme Allerheiligen der Stadtwerke Neuss, minus Strom für Fernwärmepumpen.

Ausgehend von den Energieeinsparungen in Tabelle 11 lassen sich die CO₂-Minderungen berechnen. Als Emissionsfaktoren werden unter Berücksichtigung der Kesselwirkungsgrade und dem Einsatz von Erdgas L bei Alunorf sowie im Wohngebiet Allerheiligen folgende Werte angesetzt:

Erdgas Kessel Alunorf	:	0,270	kg CO ₂ /kWh (Hu)
Erdgas Gastherme Allerheiligen	:	0,244	kg CO ₂ /kWh (Hu)
Strom-Mix Deutschland	:	0,5262	kg CO ₂ /kWh

In Tabelle 11 sind für die Jahre 2000, 2001 und 2002 die errechneten CO₂-Minderungen dargestellt: Die Summe der Einsparungen führt ansteigend zu einer CO₂-Minderung in 2002 von 10.723 t CO₂. Den Hauptanteil bewirkt die Prozeßwärmeversorgung. Bei der CO₂-Entlastung durch die Fernwärme ist zu beachten, daß die bei Alunorf ins Fernwärmenetz eingespeiste Wärme nicht identisch ist, mit der beim Kunden der Stadtwerke abgerechneten verkauften Wärmemenge. Aufgrund des noch im Aufbau befindlichen Neubaugebietes sind die Anfangsverluste durch das derzeit überdimensionierte Verteilnetz erheblich. Daher wurden nur die verkauften Wärmemengen in die CO₂-Minderung mit einbezogen. Die ins Netz eingespeisten Werte sind in Klammern in Tabelle 11 angegeben.

Der CO₂-Minderung durch die Abwärmenutzung steht der Stromverbrauch der Abgasreinigungen gegenüber. Um das Abwärmepotential nutzen zu können, sind Abgas-

systeme erforderlich, die die heißen Abgase zentral zusammenführen und durch die Wärmetauscher saugen. Der dafür aufzubringende Unterdruck beträgt allerdings nur einen Bruchteil des heute hauptsächlich für die Staubabscheidung im Gewebefilter erforderlichen Unterdrucks. Aus Vereinfachungsgründen wird der Stromverbrauch der Abgasreinigungsanlage und die damit zusammenhängende CO₂-Emission, der zuvor diskutierten CO₂-Minderung gegenübergestellt.

In **Tabelle 12** ist die aufgrund des Stromverbrauchs errechnete CO₂-Emission für die Jahre 2000, 2001 und 2002 angegeben. Vergleicht man die CO₂-Emission in Tabelle 12 mit den CO₂-Minderungen in Tabelle 11 so zeigt sich eine vergleichbare Größenordnung. Für 2002 beträgt die CO₂-Emission 7.548 t bedingt durch den Stromverbrauch insbesondere der Saugzugventilatoren in AGR 2 und AGR 3. Die Differenz zur CO₂-Minderung in 2002 mit 10.723 t ist mit 3.175 t CO₂ positiv. Mit wachsendem Fernwärmeanteil wird diese positive Differenz in den kommenden Jahren noch auf jährlich rund 10.000 t anwachsen.

In **Bild 58** sind die durch die Abwärmenutzung jährlich vermiedenen CO₂-Emissionen graphisch dargestellt. Ausgehend von 1999 sollen die CO₂-Minderungen im Endausbau des Fernwärmegebietes bis auf 18.900 t ansteigen. Die Prozeßwärmenutzung hat bereits in 2002 und 2003 eine erhebliche CO₂-Minderung bewirkt. Darauf aufbauend sind durch die verstärkte Prozeßwärmenutzung in den kommenden Jahren zusätzlich noch rund 1.100 t jährlich an CO₂-Emission einzusparen.

Die Ergebnisse zur CO₂-Bilanz zeigen, daß selbst unter den hier dargestellten ungünstigen Randbedingungen bereits in 2002 die volle Kompensation der CO₂-Emission der Abgasreinigungsanlagen erreicht werden konnte. Trotz der derzeit noch geringen Abwärmenutzung im Fernwärmegebiet reicht allein schon die Abwärmenutzung bei Alunorf aus, die negative CO₂-Emission der Abgasreinigungen wett zu machen. Dieser positive Effekt der CO₂-Minderung durch den Einsatz der Thermoölsysteme wird um so bedeutender, wenn bereits eine Abgasreinigung unabhängig von einer Abwärmenutzung vorhanden ist. Betrachtet man nur die CO₂-Minderung durch die Thermoölnutzung und bezieht diese Minderung auf die gesamte CO₂-Emission des Schmelzwerkes, so beträgt die 2002 erreichte CO₂-Minderung rund 5,1 %.

9. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Technologietransfer

Im Folgenden wird dargestellt, welche wirtschaftlichen Ergebnisse sich aus diesem Demonstrationsvorhaben ableiten lassen. Weiterhin wird auf den Technologietransfer und die Know-how-Verbreitung eingegangen.

9.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die hier beschriebenen Arbeiten bzw. Anlagenumbauten und Anlagenneubauten bilden ein komplex miteinander verbundenes System. Die Darstellung der Wirtschaftlichkeit in aller Komplexität würde den Rahmen der vorliegenden Darstellung sprengen und über das eigentliche Demonstrationsvorhaben hinausgehen. Im Folgenden kann daher nur auf die wesentlichen Kosteneinflüsse bei Invest-Kosten und Betriebskosten eingegangen werden.

9.1.1 Investitionskosten

In **Tabelle 13** sind die Kosten des Förderprojektes zusammengestellt. Verdichtet man diese Kosten auf die drei wesentlichen Investitionsblöcke und stellt diese den Kosten aus dem Aufbau der AGR 3 – die nicht Gegenstand der Förderung war – gegenüber, so lassen sich folgende Daten gewinnen:

	Dimension	AGR 2	AGR 3
Rohrleitungen, Stahlbau und Umbau an den SGA 7-10 bzw. SGA 11-13	T €	5.803	3.815
Thermoölanlage AGR einschließlich Elektrik-MSR	T €	1.311	1.980
Abgasreinigung AGR einschließlich Elektrik-MSR	T €	5.804	3.235
Summe Invest	T €	12.918	9.030
Abgasvolumenstrom	m ³ _N /h	300.000	150.000
spez. Invest-Kosten Gesamt	€/m ³ _N /h	43,06	60,20
spez. Invest-Kosten nur AGR	€/m ³ _N /h	19,35	21,67

Spezifische Investitionskosten

Gemäß obiger Auswertung betragen die spezifischen Invest-Kosten allein für die Abgasreinigungsanlagen zwischen 19,35 und 21,67 €/m³_N/h.

Die Wärmeauskopplung auf hohem Temperaturniveau durch die Thermoölanlagen führt dazu, daß die nachfolgenden Abgasreinigungsanlagen wesentlich kleiner ausgeführt werden können. Durch die Thermoölanlagen kann die Temperatur von 550°C auf unter 160°C verringert werden. Alternativ wäre eine Kühlung durch Lufteinblasung möglich, wodurch der Abgasvolumenstrom aber deutlich ansteigen würde. Hinzu kommt an AGR 3 die vermiedene Kühlluft einblasung als Rekuschutz. Insgesamt wäre gemäß Bild 17 eher mit dem doppelten spezifischen Volumenstrom gegenüber dem hier erprobten System zu rechnen. Berücksichtigt man Bestwerte aus 1996 so werden 10.000 m³_N/t Walzbarren für eine Anlage ohne Thermoölkühlung angesetzt. Eine größere Anlage wird aber nicht linear teurer sondern durch zunehmende Größe ergibt sich eine Kostendegression. Aufgrund der Daten für AGR 2 und AGR 3 wird der Exponent der Kostendegression wie folgt bestimmt.

$$\text{Exponent } n = \log \left(\frac{\text{Kosten AGR 2}}{\text{Kosten AGR 3}} \right) / \log \left(\frac{\text{Volumenstrom AGR 2}}{\text{Volumenstrom AGR 3}} \right)$$

$$\text{Exponent } n = 0,8432$$

Weiterhin ergibt sich dann folgende Zusammenstellung:

		AGR 2	AGR 3	Verhältnis AGR2/AGR3
Investkosten nur Abgasreinigung	T€	5.804	3.235	1,74
Abgasvolumenstrom Auslegung	m ³ /h	300.000	150.000	2,0
spez. Abgasmenge ohne Thermoöl	m ³ /t	10.000	10.000	
tatsächlich erreichte spez. Abgasmenge mit Thermoöl	m ³ /t	5.000	4.000	
Verhältnis der spez. Abgasmenge	-	2,0	2,5	n = 0,8432
Mehrkostenfaktor mit Kostendegression	-	1,794	2,165	≙ y ⁿ
Investkosten Abgasreinigung ohne Thermoöl	T€	10.412	7.005	
Investkosten Abgasreinigung mit Thermoöl	T€	- 5.804	- 3.235	
Investkosten Thermoöl-Anlage	T€	- 1.311	- 1.980	
Investitions Mehrkosten für größere Abgasreinigung ohne Thermoöl	T€	3.297	1.790	
Prozentuale Mehrkosten bei Abgasreinigung ohne Kühlung		+ 46 %	+ 34 %	

Die Investkostenbetrachtung zeigt auf, daß die Kühlung der Abgase zu erheblich kostengünstigeren Abgasreinigungsanlagen führt. Selbst eine relativ teure Thermoöl-Anlage führt insgesamt zu 34 bis 46 % geringeren Anlagenkosten, als sie bei Kühlluft einblasung zur Absenkung der Abgastemperatur möglich wären. Wenn vorgegeben wird eine Abgasreinigung zu installieren, so läßt sich eine hohe Reduzierung der Investitionskosten durch Kühlung der Abgase erreichen. Ebenso sollte – wo immer möglich – der Eintritt von unkontrollierter Kühlluft oder Falschluff in das Abgasreinigungssystem verhindert werden.

9.1.2 Betriebskosten Thermoölsysteme

Betrachtet man für die Betriebskosten zunächst nur isoliert die Thermoölanlagen, so lassen sich im Vergleich mit dem Kesselhaus folgende Daten zusammenstellen:

		Kesselhaus	Thermoöl-Anlagen
Invest Kosten	€	2.754.000	1.311.000 AGR2
	€		1.980.000 AGR 3
	€		3.291.000
	€		
Wärmeleistung max.	MW	33	23
spezifische Investkosten	€/kWh	84	143
Betriebskosten			
Abschreibung 10 %/a	€	275.400	329.100
Kapitaldienst 8 %/a	€	220.320	263.280
Instandhaltungskosten 2 %/a	€	55.080	65.820
	€	550.800	658.200
Erdgas 0,02 €/kWh			
bei 40.000 MWh/a Stand 2002	€	800.000	-
spez. Wärmepreis	€/MWh	33,8	16,5
bei 80.000 MWh/a Endausbau	€	1.600.000	-
spez. Wärmepreis	€/MWh	26,9	8,2

In 2002 wurde eine Abwärmemenge von rund 40.000 MWh für die Prozeßwärmeversorgung und die Fernwärmeversorgung (einschließlich Verteilverlusten) mit Hilfe der Thermoölsysteme ausgekoppelt. Der Kostenvorteil gegenüber konventionell im Heizkessel erzeugter Wärme beträgt gemäß obiger Daten bei dieser Jahreswärmemenge 17,3 €/MWh (33,8 €/MWh – 16,5 €/MWh) insgesamt somit 692.000 €/a. Da der Wärmeanteil für die Fernwärmeversorgung an die Stadtwerke kostenfrei abgegeben wird, reduziert sich der Vorteil für Alunorf nur auf den Prozeßwärmeanteil, in 2002 rund 27.000 MWh. Hieraus ergibt sich ein Kostenvorteil von 467.100 €/a. Damit ergäbe sich ein Return on Invest für die Thermoölanlagen von rund 7 Jahren. Die Wirtschaftlichkeit hängt somit stark von der ausgekoppelten Wärmemenge ab. Im Endausbau und unter der Annahme von 45.000 MWh/a allein für die Prozeßwärmeversorgung Alunorf errechnet sich ein Kostenvorteil von jährlich 841.500 €. Damit wäre ein Return on Invest bereits in weniger als 4 Jahren möglich.

Zusätzlich bietet das Thermoölsystem AGR 3 einen weiteren Kostenvorteil durch die erhöhte Brennluftvorwärmung an den Schmelzöfen 11-12. Bewertet man die 8.126 MWh in 2002 mit dem zuvor angegebenen Erdgaspreis von 0,02 €/kWh, so errechnen sich hieraus zusätzlich rund 162.000 €/a an Kostenersparnis. In Summe ergibt sich damit in 2002 eine Kostenersparnis in Höhe von 629.100 €.

9.1.3 Betriebskosten Abgasreinigungen AGR 2 und AGR 3

Betrachtet man in gleicher Weise wie für die Thermoölsysteme angegeben die Betriebskosten isoliert für die Abgasreinigungen, so ergeben sich durch Abschreibung 10 %, Kapitaldienst 8 % und Instandhaltung 2 % jährliche Kosten in Höhe von 3.731.400 €. Hinzu kommen die Stromkosten gemäß Tabelle 12 in 2002 für 14.345 MWh mal 45 €/MWh gleich 645.525 €. In Summe sind dies für 2002 Betriebskosten in Höhe von 4.376.925 €. Bezieht man diese Summe auf die erzeugte Produktionsmenge an Walzbarren in 2002 mit 743.184 t so errechnen sich spezifische Betriebskosten in Höhe von 5,9 €/t Walzbarren. Rund 0,9 €/t sind dabei Stromkosten.

Etwa in Höhe der Stromkosten lassen sich durch die Thermoölanlagen die Betriebskosten pro Tonne Produktion wieder senken. Insgesamt führen die Thermoölsysteme somit dazu, daß die Mehrkosten bedingt durch eine Abgasreinigung wieder gesenkt werden. In welchem Umfang dies gelingen kann, hängt fast ausschließlich von den anzusetzenden Energiekosten für Erdgas und Strom ab.

9.2. Technologietransfer

Die Stadtwerke Neuss und Alunorf haben sich darüber verständigt, die mit den Emissionsminderungen und Energieeinsparungen erzielten Vorteile dieses gemeinsamen Verbundprojektes offensiv nach außen zu vertreten. Hierzu wurden 2 öffentliche Veranstaltungen durchgeführt anlässlich:

- Inbetriebnahme der Fernwärmeversorgung am 23.02.1999 und
- Inbetriebnahme des Kesselhauses am 04.07.2002.

Beim ersten Termin konnten 150 Gäste aus Politik, Behörden und Wirtschaft beim zweiten Termin etwa 50 Gäste bei Alunorf empfangen werden. Das erreichte Echo in der Tagespresse sowie in der Fachpresse ist soweit verfügbar im **Anhang Dokumentation** zusammengetragen worden. Über den Modellcharakter der Fernwärmeversorgung durch industrielle Abwärme aus einem Aluminium-Walzwerk wurde auch im WDR-Regionalfernsehen, WDR 3 berichtet.

Zur weiteren Know-how-Verbreitung wurden von den beteiligten Ingenieuren 3 Fachartikel verfaßt und veröffentlicht [10-12]. Zusätzlich wurden die Ergebnisse auf einer Fachtagung des VDI und speziellen Seminaren zur Rationellen Energienutzung vorgetragen und diskutiert. Über Gespräche und durch Informationsweitergabe an Fachjournalisten wurden weitere Kurzbeiträge in Fachzeitschriften initiiert. Auch auf einer niederländischen Internetplattform wird über das Demonstrationsverhalten berichtet, siehe **Anhang Dokumentation**: Liste der Fachveröffentlichungen und Fachvorträge.

Reges Interesse fand das Demonstrationsvorhaben auch bei Besuchern, siehe hierzu **Anhang Dokumentation**: Liste der Fachbesuchergruppen. Bei den Projektarbeiten waren insbesondere die folgenden zwei Anlagenbauer mit der Realisierung der technologisch fortgeschrittenen Anlagenkomponenten beauftragt:

- BMD Garant, heute DISA-Gruppe für die Abgasreinigung
- Würz GmbH für die Thermoölanlage.

Beide Firmen schätzen das im Rahmen des Projektes erworbenen Know-how hoch ein und haben vielfach potentiellen Kunden und sonstigen Interessierten die realisierten Anlagen bei Werksbesuchen vorgestellt. Besondere Gelegenheiten ergaben sich für Besucher der Messen in Düsseldorf wie Envitec oder Metec / Thermprocess. Anlässlich dieser Messen wurden durch die beteiligten Firmen in- und ausländische Besucher zu Alunorf geführt. Damit wird das Exportgeschäft der Anlagenbaufirmen nachhaltig gefördert.

Im Rahmen der Selbstverpflichtung der deutschen Industrie zur freiwilligen Minderung der CO₂- Emission bis 2005 – Klimaschutzerklärung vom März 1996 – wurde mehrfach auf das Projekt eingegangen. Innerhalb der Monitoring-Berichte durch das RWI, Essen wurde das Projekt erläutert und auf die konkreten CO₂-Minderungen hingewiesen [13, 14].

Im Konzernverbund der Alcan Deutschland GmbH und der Hydro Aluminium Deutschland GmbH fand das Projekt insoweit Nachfolgeanwendungen, als dort ebenfalls Projekte zur Abwärmeauskopplung angedacht werden oder realisiert wurden. Konkret betrifft dies das Alcan-Werk in Plettenberg-Ohle wo ein Erlebnis-Schwimmbad Abwärme aus dem Werk nutzt und das Aluminium-Walzwerk der Hydro in Hamburg wo ebenfalls ein Abwärmenutzungsprojekt gemeinsam mit dem örtlichen Energieversorger in Planung ist.

Eine ähnliche Problemstellung mit korrosivem heißen Abgas scheint auch bei Müllverbrennungsanlagen zu bestehen. So sind durch die Fa. Würz mehrere Betreiber von Müllverbrennungsanlagen aus Holland, Frankreich und Spanien zu Besichtigungen im Werk gewesen. Hier interessierten besonders unsere betrieblich gemachten Erfahrungen mit der Betriebssicherheit und Standzeit der Thermoöl-Abgaskühler.

Die zuvor aufgezeigten Aktivitäten zum Technologietransfer haben eine Reihe von Kontakten mit Personen aus anderen Werken und Industriebereichen erbracht. Auch in Zukunft sollen diese Kontakte aufrecht erhalten und gepflegt werden, um weitere Anwendungen zu unterstützen.

10. Schlußbemerkungen

Die erzielten Ergebnisse sollen abschließend anhand der mehrjährigen betrieblichen Daten belegt werden. In **Tabelle 14** sind die absoluten Produktionszahlen, der Energieeinsatz in Form von Erdgas und Strom sowie die Emissionen CO₂, NO_x, HCl, Staub und Abfall (Filterstaub) für die Jahre 1996 bis 2002 zusammengestellt. Das Jahr 1996 gilt dabei als Basisjahr, bevor mit dem Demonstrationsvorhaben gestartet wurde. Die bis zum Jahr 2002 (Abschluß des Vorhabens) erzielten Ergebnisse werden an den Daten von 1996 gemessen. Zunächst zeigt sich an der Produktionstonnage für Walzbarren, daß die Produktion im Verlauf des Vorhabens deutlich angestiegen ist. Bezogen auf 1996 liegt die Produktionssteigerung bei + 33,4 %. Ab 2000 sind für Energieeinsatz und CO₂-Emission die Minderungen gemäß Tabelle 11 in die Tabelle 14 übernommen worden. Die Emissionen für HCl und Staub sinken bereits seit 1998 merklich ab. Angestiegen ist der Abfall in Form von Filterstaub. Die Filterstaubmenge hat sich von 23 t in 1996 auf 263 t in 2002 erhöht. Die 2002 erzielte Wärmerückgewinnung beträgt bezogen auf den gesamten Energieeinsatz im Schmelzwerk rund 5 %. Ebenso beträgt die erreichte CO₂-Minderung 5,1 % bezogen auf die gesamte CO₂-Emission.

Berücksichtigt man, daß nur die Schmelzöfen 7-13 mit Thermoölanlagen ausgerüstet wurden, die Schmelzöfen 1-6 aber nicht, so entspricht die zurückgewonnene Abwärme rund 10 % des Erdgaseinsatzes der angeschlossenen Schmelz-/Gießanlagen.

Bezieht man die absoluten Zahlen auf die jeweilige jährliche Walzbarren-Produktion so erhält man Zahlen, die die Veränderung innerhalb der Projektlaufzeit noch deutlicher beschreiben. In **Tabelle 15** sind diese Daten dargestellt. In der letzten Zeile der Tabelle ist das Bezugsjahr 1996 angegeben. D. h. die erreichten Veränderungen bis 2002 werden auf das Basisjahr 1996 – das zu 100 % gesetzt wird – bezogen. Betrachtet man beim Energieeinsatz die Spalten für Erdgas und Strom sowie deren Summe so zeigt sich, daß der spezifische Erdgasverbrauch um - 2,8 % gesunken ist. Dagegen ist der Stromverbrauch um 19,5 % angestiegen. Ursache sind die großen Saugzugventilatoren der Abgasreinigungen. Die Summe des spezifischen Energieverbrauchs an den Schmelz-/Gießanlagen 1-13 ist über die Projektlaufzeit praktisch gleichgeblieben. Allerdings konnte ab 2000 durch die Abwärmenutzung eine Minderung des Energieeinsatzes zur Prozeßwärme- und Fernwärmeversorgung erreicht werden. Durch diese Abwärmenutzung sinkt insgesamt der spezifische Energieeinsatz in Summe um - 4,7 %.

Durch den erhöhten Stromeinsatz steigt auch die damit verbundene CO₂-Emission an. Bei der spezifischen CO₂-Emission zeigt sich aber eine geringe Minderung um - 1,4 %. Die Thermoölsysteme sind also in der Lage, die erhöhte CO₂-Emission vollständig zu kompensieren. Damit wird die hervorragende Leistung dieser Anlagen ersichtlich. Auf der einen Seite wird Abwärme mit einer 15jährigen Laufzeit kostenfrei zur Verfügung gestellt. Auf der anderen Seite wurden Anlagen geschaffen, die auch Alunorf gestatten überschüssige Abwärme zu nutzen. In Summe ergibt sich so eine Situation, in der es möglich wird, im Endausbau 18.900 t CO₂-Emission pro Jahr zu vermeiden. Innerhalb der Laufzeit des Vorhabens wurde bereits eine CO₂-Minderung von jährlich 10.723 t CO₂ realisiert.

Das Demonstrationsvorhaben zeigt aber auch, daß weitergehende Emissionsminderungen für Staub, HCl und NO_x bei dem heute erreichten hohen Stand der Abscheidetechnik einen nicht zu unterschätzenden Zusatzaufwand an Energie und Betriebsstoff-

fen bewirken. Dieser Zusatzaufwand kann so groß werden, daß die erzielten positiven Emissionsminderungen an anderer Stelle wieder aufgezehrt werden. Diese ungünstigen Effekte sind belegt durch einen um 19,5 % erhöhten spezifischen Stromverbrauch und durch das Anwachsen der Filterstaubmenge auf 263 t in 2002. Die spezifische Abfallmenge erreicht so mit 354 g/t Walzbarren die gleiche Größenordnung wie die NO_x-Emission. Dagegen konnte positiv die spezifische HCl- und Staubemission um - 61 % bzw. - 80 % verringert werden. Die errichteten Abgasreinigungen erreichen Staubkonzentrationswerte im Reingas, die auch den Grenzwert der nach Abschluß des Demonstrationsvorhabens in Kraft getretenen TA Luft 2002 von 10 mg/m³_N sicher einhalten. Gerade der Zwiespalt zwischen Staubemission und Abfall als Filterstaub zeigt aber auch, daß immer weitergehende Anforderungen an die Luftreinhaltung Emissionsnachteile in anderen Umweltbereichen zur Folge haben können.

Die Nutzung industrieller Abwärme stößt in Deutschland bislang immer noch auf Vorbehalte. So scheuen Unternehmen in der Regel die Bereitstellung ihrer Überschußwärme, da Behinderungen im Produktionsablauf zu befürchten sind. Die potentiellen Abnehmer verbinden vielfach die Fernwärme mit hohen Wärmepreisen und eingeschränkten Möglichkeiten zur flexiblen Wärmenutzung. Das Demonstrationsvorhaben des Industrieunternehmens Alunorf zeigt, daß durch Kooperation mit den Stadtwerken Neuss eine beiderseitige positive Ergänzung möglich ist. Das als „Public-Privat-Partnership“ durchgeführte Projekt weist im Ergebnis damit sowohl wärmetechnische Vorteile wie auch emissionstechnische Vorteile aus, die sich gegenseitig günstig ergänzen.

Aufbauend auf der bereits bis 2002 erreichten Abwärmenutzung wird mit dem weiteren Ausbau des Fernwärmegebiets und der optimierten Prozeßwärmeversorgung bei Alunorf in den kommenden Jahren eine Abwärmenutzung erwartet, die bis zu 20 % der an den Schmelzöfen 7-13 eingesetzten Erdgasenergie entspricht.

Literaturangaben

- [1] Umwelterklärung 2001. Aluminium Norf GmbH, Neuss. Mit den Umweltbilanzzahlen der Jahre 1996-2000
- [2] Nussbaum, A. I.: Alunorf's New Slab Casting Station. Light Metal AGE (1997) Dec., S. 12-18
- [3] Kuhn, P.; Liesen, W.; Bender, W. und Wicker, M.: Betriebliche Erprobung einer weiterentwickelten Zentralregeneratoranlage zur Energieeinsparung an Hochtemperatur-Prozeßanlagen. Schlußbericht zur Forschung BMFT, Förderkennzeichen 032 9089 A/B, April 1997
- [4] Bender, W.; Wicker, M.; Kuhn, P.; Liesen, W.; Villinger, G.: Verbesserte Wärmerückgewinnung an Hochtemperatur-Prozeßanlagen durch Einsatz einer neuartigen Vario-Regeneratoranlage – VAREGA - . VDI-Bericht Nr. 1321 (1997), S. 419-431
- [5] Bender, W.; Wicker, M.; Kuhn, P.; Liesen, W.; Villinger, G.: VEREGA – ein neues Verfahren zur regenerativen Wärmerückgewinnung und Brennluftvorwärmung. Gaswärme international 46 (1997) Nr. 6, S. 294-299
- [6] Davids, P; Lange, M.: Die TA Luft 186, Technischer Kommentar. VDI-Verlag Düsseldorf 1986, S. 500-503
- [7] Krone, K.: Aluminium-Recycling – Vom Vorstoff zur fertigen Legierung. Hrsg: Vereinigung deutscher Schmelzhütten e. V., VDS, Düsseldorf, 2000, S. 411-434
- [8] Bröker et. al.: Abschlußbericht der Projektgruppe Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen. Landesumweltamt NRW, Wallneyer Str. 6, 45133 Essen 1996
- [9] NN.: Technische Stellungnahme zur Aluminium-Schmelzanlage der Aluminium Norf GmbH – Vermeidung und Verwertung von Abfällen im Rahmen der Untersuchung von 50 NE-Metallschmelzanlagen und -gießanlagen hinsichtlich der Umsetzung des Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebotes nach §5.1.3 BImSchG. Erstellt durch ECOTEAM GmbH, Trier im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, Juni 1998, 34 Seiten
- [10] Kuhn, P.; Beier, U.; Döhl, K.W.; Thielen, S.: Auskopplung und Nutzung industrieller Abwärme mittels Thermoölsystemen an stark chargenabhängigen Aluminium-Schmelzöfen. VDI-Bericht Nr. 1594 (2001), S. 281-290
- [11] Kuhn, P.; Hunke, D.; Bergedieck, R.: Abwärmennutzung aus einem Aluminium-Walzwerk. Umwelt 29 (1999) Nr. 7, S. 45-47
- [12] Kuhn, P.; Thielen, S.: Energieeinsparung und CO₂-Minderung in einem integrierten Aluminium-Walzwerk. Gaswärme international 52 (2003) Nr. 8, S. 508-514
- [13] Buttermann, H. G.; Hillebrand, B.; Lehr, U.: CO₂-Emissionen und wirtschaftliche Entwicklung; Monitoring-Bericht 1998. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen, Heft 28, (1999) S. 84-91
- [14] Buttermann, H. G.; Hillebrand, B.: Die Klimaschutzzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz; Monitoring-Bericht 2000. Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Essen, Heft 40, (2002) S. 122-130

Tabellenanhang

Tabelle 1: Meßberichte zur Bewertung der Emissionen

Ersteller	Autor	Titel	Datum	Aufgabe
BFI	Montel, Metz	Beurteilung verschiedener Konzepte zur Einbindung eines Chlorwäschers in die Abgasreinigung eines Gießofens	Dez 1998	Messung und Gutachten zum Wäscherbetrieb
BFI	Gitzinger, Metz	Untersuchung und Beurteilung des Chlorwäschers SGA 8 im Vergleich mit alternativen Konzepten zur Abluftreinigung eines Gießofens	Jul 1999	Messung zur Bewertung des Betriebsverhaltens an Wäscher 8; Verifizierung der Vorteile des neuen Wäscherkonzeptes
BFI	Gitzinger, Metz	Untersuchung und Bewertung des Chlorwäschers zur Abgasreinigung des Gießofens der SGA 2	Jul 2000	Nachweis der Schwachstellen im Wäscherbetrieb an Gießofen 2
ANECO	Boermans-Schwarz	Bericht über die Durchführung von Funktionsprüfungen und Kalibrierungen kontinuierlich arbeitender Meßeinrichtungen Schmelzofen 5	29.11.1999	Staubkontimmessung nicht kalibrierbar; Ermittlung Staubemission am Einzel-Schmelzofen ohne Abgasreinigung mit Kühlluftzufuhr
ANECO	Boermans-Schwarz	Bericht über die Durchführung von Funktionsprüfungen und Kalibrierungen kontinuierlich arbeitender Meßeinrichtungen Schmelzofen 5	17.02.2000	Staubkontimmessung nicht kalibrierbar; Ermittlung Staubemission am Einzel-Schmelzofen ohne Abgasreinigung
TÜV Süd	Osada	Durchführung von Vergleichsmessungen in der Abluft der Abgasreinigungsanlage 2 hinter den Gießanlagen 1 - 10 sowie den Schmelzöfen 7 - 10	15.10.2001	Verifizierung der Staubemission an AGR 2
BFI	Dropsch, Harp	Dioxin-Messungen im Abgas von Aluminium-Schmelzanlagen	Mai 1998	Ermittlung Dioxin-Emission unter verschiedenen Betriebsbedingungen
ANECO	Leßmann	Orientierende Emissionsmessungen an der AGR 2	22.09.2000	Dioxinmessungen an AGR 2; Ermittlung der Emissionen
ADU cologne	Heidelberg	Geräuschemissionen und -immissionen aus dem Betrieb eines Kesselhauses auf dem Werksgelände der Alunorf GmbH	13.06.2002	Lärmemission und -immission des Kesselhauses

Tabelle 2: Meßberichte zur Energie- und CO₂ Bilanzierung

Ersteller	Autor	Titel	Datum	Aufgabe
BFI	Meyn, Metz	Energiebilanzierung für die Abwärmesysteme des Aluminium- Schmelzwerkes	Okt 2000	Bilanzmodell für die Schmelz-/Gießanlagen und Thermoölsysteme
IUTA	Kohl	Emissionsminderung und Energieverbrauchssenkung 1999	25.05.2000	Darstellung und Bewertung der wasserseitigen Wärmeumsätze
IUTA	Kohl	Bilanzierung des Kalenderjahres 2000	09.03.2001	Darstellung und Bewertung der wasserseitigen Wärmeumsätze
IUTA	Kohl	Bilanzierung des Kalenderjahres 2001	22.04.2002	Darstellung und Bewertung der wasserseitigen Wärmeumsätze
IUTA	Kohl	Bilanzierung des 1. Halbjahres 2002 und Darstellung des Zeitraumes Feb. 1999 bis Juni 2002	15.07.2002	Darstellung und Bewertung der wasserseitigen Wärmeumsätze

Tabelle 3: Kenndaten der Abgasreinigungsanlagen AGR 2 und AGR 3

	Dimension	AGR 2	AGR 3
Filteranlage			
Lieferant / Hersteller	-	BMD / DISA	BMD / DISA
Betriebszeit	h/a	8.760	8.760
Abgasvolumenstrom Auslegung	m _N ³ /h	300.000	150.000
Abgastemperatur max. zulässig	°C	160	160
Filterlinien	Anzahl	4	2
Filterfläche	m ²	7.560	3.780
Filterflächenbelastung	m ³ /m ² min	≈ 1	≈ 1
Filtermaterial	-	Nomex	Nomex
Kalksilo	t	20	15
Kalkverbrauch (Weißkalkhydrat)	kg/h	≈ 5	≈ 8
Kalkzirkulationsmenge	kg/h	≈ 5	-
Installierte elektr. Leistung	kW	1.360	680
Stromverbrauch 2001	MWh	11.231	3.007
Thermoölanlage			
Lieferant / Hersteller	-	Würz	Würz
Thermoölkreisläufe	Anzahl	1	5
Thermoöl-Volumenstrom	m ³ /h	250	120-300
Thermoöl-Inhalt im System	m ³	30	37
Thermoöl-Temperatur im System	°C	190	175
Thermoöl-Temperatur max. zulässig	°C	280	280
Thermoölsystem im Betrieb	Jahr	seit 1998	seit 1997
Abgaskühler-Wärmeleistung	MW	19,1	13,4
Schockbündel SO 11-12	MW	-	5,3
Rückkühler-Wärmeleistung	MW	19,8	21,2

Tabelle 4: Kennwerte zur Bilanzierung der emittierten Staubmassen einzelner Chargen an SGA 2

SGA 2	GESAMT				CHLORIEREN				ABKRÄTZEN GO				METALLBRAND				%Anteile Staubmasse		Grund- last	mittl. Kamin- vol.strom	Grundlast Staub- konz
Charge SO	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Chl.	Kr. GO			
	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[%]	[%]	[g/h]	[Tm3/h]	[mg/m3]
32206	5,87	0,73	38	223	0,43	2,52	138	60	0,30	5,46	319	96					26,8	42,9	13	52,1	0,3
32207	5,27	0,66	35	184	0,27	3,72	190	51	0,17	9,87	570	95					27,5	51,6	8	53,0	0,2
	Zus. Chlorieren + Krätzen				0,50	1,54	90	45	0,30	5,53	317	95									
32455	4,97	2,10	107	532	0,63	9,48	544	344	0,10	7,75	426	43					64,8	8,0	34	51,0	0,7
32454	7,77	4,87	210	1.632	0,33	8,68	477	159	0,47	14,70	604	282	0,47	25,6	1497	699	9,7	17,3	76	43,1	1,8
32453	6,53	2,06	106	692	0,67	10,85	548	366	0,27	5,43	329	88					52,8	12,7	43	51,5	0,8
32680	6,10	2,08	119	726	1,20	5,18	319	383	0,33	5,27	316	105					52,7	14,5	52	57,2	0,9
32679	7,50	4,14	201	1.508	1,00	7,9	458	458	1,13	8,23	438	496	0,2	24,7	984	197	30,4	32,9	69	48,6	1,4
32456	6,97	1,81	91	634	0,73	12,79	689	505	0,33	5,86	304	101					79,6	16,0	5	50,3	0,1
32636	5,07	2,83	144	730	0,77	12,29	634	486	0,53	8,85	444	237					66,6	32,4	2	50,9	0,0
32667	8,37	0,89	45	377	0,60	7,29	379	227	0,23	5,88	369	86					60,4	22,8	8	50,6	0,2
32668	4,20	0,99	46	193	0,30	1,72	97	29	0,37	3,99	221	81					15,1	42,0	23	46,5	0,5
32638	5,77	0,92	53	306	0,47	6,75	398	186	0,23	5,68	336	78					60,8	25,6	8	57,6	0,1
32639	5,63	1,04	50	282	0,50	4,08	215	108	0,23	5,63	301	70					38,2	24,9	21	48,1	0,4
32671	9,17	0,52	29	266	0,33	6,15	344	115	0,13	8,60	486	65					43,1	24,3	10	55,8	0,2
32672	29,60	0,54	27	799	1,00	3,78	191	191	0,27	7,65	386	103					23,9	12,9	18	50,0	0,4
32673	7,17	0,41	22	158	0,40	1,98	107	43	0,37	0,77	43	16					27,1	10,0	15	53,7	0,3
32674	9,67	0,34	14	135	0,40	1,37	76	30	0,17	4,56	247	41					22,5	30,5	7	41,2	0,2
32732	5,07	1,84	85	431	0,43	4,2	234	101	0,17	5,78	298	50	0,1	11,72	635	64	23,5	11,5	28	46,2	0,6
													0,1	14,75	793	79					
													0,07	8,89	305	20					
32733	5,10	2,54	103	525	0,50	3,34	174	87	0,13	6,96	372	49	0,1	15,47	765	77	16,6	9,4	25	40,6	0,6
													0,1	16,5	775	78					
													0,17	25	784	131					
32840	4,40	2,64	95	418	0,37	5,27	259	95	0,17	8,07	400	67					22,7	16,0	66	36,0	1,8
32841	9,60	1,18	51	490	0,73	4,93	250	183	0,60	6,16	311	187					37,4	38,1	14	43,2	0,3
32844	4,60	2,42	114	524	0,63	10,2	512	324	0,37	6,49	317	116					61,8	22,2	23	47,1	0,5
32838	5,73	2,28	95	544	0,83	3,47	179	149	0,33	5,24	256	85	0,3	12,69	565	170	27,4	15,7	33	41,7	0,8
32839	5,43	2,88	104	565	0,43	3,63	173	75	0,23	4,42	224	52	0,3	26,9	931	279	13,3	9,2	35	36,1	1,0
32935	7,90	6,32	221	1.746	0,67	7,12	372	248				0	0,8	31,9	1094	875	14,2		97	35,0	2,8
													0,5	28,3	900	450					
32938	4,70	1,25	47	221	0,47	2,1	107	50	0,23	7,26	374	87					22,6	39,4	21	37,6	0,6
32937	3,90	1,41	69	269	0,30	3,26	153	46	0,17	10,94	577	96					17,1	35,8	37	48,9	0,8
Min	3,90	0,34	14	135	0,27	1,37	76	29	0,10	0,77	43	0	0,07	8,89	305	20	9,7	8,0	2	35,0	0,0
Mittel	7,11	1,91	86	560	0,57	5,56	297	184	0,31	6,70	355	106	0,27	20,20	836	260	35,5	23,8	29	47,2	0,7
Max.	29,60	6,32	221	1.746	1,20	12,79	689	505	1,13	14,70	604	496	0,80	31,90	1.497	875	79,6	51,6	97	57,6	2,8
Stdabw	4,79	1,42	57	431	0,24	3,32	178	149	0,20	2,58	119	97	0,22	7,64	294	275	19,8	12,4	24	6,5	0,6

Tabelle 5: Kennwerte zur Bilanzierung der emittierten Staubmassen einzelner Chargen an SGA 5

SGA 5	GESAMT				CHLORIEREN				ABKRÄTZEN GO				METALLBRAND				% -Anteile Staubmasse		Grund- last	mittl. Kamin- vol.strom	Grundlast Staub- konz
Charge SO	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Zeit	Konz.	Massen- strom	Masse	Chl.	Kr. GO			
	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[h]	[mg/m3]	[g/h]	[g]	[%]	[%]	[g/h]	[Tm3/h]	[mg/m3]
31958	3,77	3,61	171	645	0,40	5,75	369	148	0,27	7,21	446	119,08					22,9	18,5	122	47,4	2,6
31959	7,07	3,94	152	1.074	0,30	5,39	346	104	0,47	7,70	383	178,86					9,7	16,7	126	38,6	3,3
31960	4,70	3,54	151	710	0,53	6,25	397	212	0,20	8,26	518	103,6					29,8	14,6	99	42,7	2,3
31894	4,47	3,39	159	711	0,33	5,29	350	117	0,23	8,47	560	130,48					16,4	18,4	119	46,9	2,5
31892	7,97	3,87	173	1.379	0,33	7,5	464	155	0,23	11,24	708	164,96					11,2	12,0	106	44,7	2,4
(2x Cl+Kr)					0,30	8,16	529	159	0,23	12,83	743	173,12					11,5	12,6			
31893	3,87	5,14	242	937	0,30	7,9	529	159	0,37	10,74	621	227,91					16,9	24,3	172	47,1	3,6
31895	5,77	4,97	209	1.206	0,40	10,4	677	271	0,23	8,31	552	128,62					22,5	10,7	157	42,1	3,7
31900	5,30	4,33	177	938	0,57	7,44	493	280	0,23	7,79	529	123,26					29,8	13,1	119	40,9	2,9
31901	3,83	3,88	197	755	0,40	6,31	421	168	0,23	9,91	657	153,08					22,3	20,3	135	50,8	2,7
31896	4,33	4,33	179	775	0,37	8,39	549	201	0,30	10,23	664	199,2					26,0	25,7	102	41,3	2,5
31897	3,67	7,49	326	1.196	0,43	12,57	804	348	0,37	21,97	1063	390,12					29,1	32,6	160	43,5	3,7
31898	4,83	4,87	201	971	0,47	12,17	789	368	0,27	13,10	783	209,06					38,0	21,5	96	41,3	2,3
31899	4,75	5,16	246	1.169	0,53	8,47	562	300	0,23	14,72	971	226,24					25,6	19,4	161	47,7	3,4
31807	4,97	4,49	194	964	0,33	9,92	596	198	0,33	6,83	449	149,52					20,6	15,5	143	43,2	3,3
31808	5,27	4,45	217	1.144	0,50	8,38	594	297	0,40	12,99	825	330					26,0	28,9	118	48,8	2,4
31809	5,10	8,93	542	2.764	0,93	15,45	1098	1024	0,47	32,80	2179	872					37,1	31,5	235	60,7	3,9
31814	3,75	5,90	301	1.129	0,50	14,9	1012	506	0,28	14,30	939	265,74					44,8	23,5	120	51,0	2,4
31811	5,67	6,70	331	1.876	0,57	17,6	1272	721	0,25	11,97	850	212,5					38,4	11,3	194	49,4	3,9
31812	5,86	5,10	252	1.477	0,73	15,12	977	716	0,33	9,14	432	143,86					48,5	9,7	129	49,4	2,6
32291	6,47	5,94	333	2.155	0,83	11,4	793	661	0,22	11,30	757	164,27					30,7	7,6	245	56,1	4,4
32227	5,20	5,26	301	1.565	0,85	13,58	912	775	0,32	9,93	671	212,71					49,5	13,6	143	57,2	2,5
32043	11,07	3,43	163	1.804	0,67	11,8	807	538	0,26	15,99	1130	293,8					29,8	16,3	96	47,5	2,0
32292	3,87	3,29	157	608	0,47	4,95	325	152	0,26	10,30	654	170,04					25,0	28,0	91	47,7	1,9
32293	5,08	4,71	286	1.453	0,33	6,2	379	126	0,46	12,30	789	362,94					8,7	25,0	225	60,7	3,7
32294	5,58	4,80	263	1.468	0,58	5,98	372	217	0,25	5,56	382	95,5					14,8	6,5	243	54,8	4,4
32297	7,47	3,20	114	852	0,58	4,5	166	97	0,46	8,60	408	187,68					11,4	22,0	88	35,6	2,5
32295	5,40	3,04	153	826	0,50	3,2	205	103	0,33	6,00	367	122,21					12,4	14,8	132	50,3	2,6
32354	6,70	4,20	161	1.079	0,86	7,9	242	208	0,25	24,80	1384	346					19,3	32,1	94	38,3	2,4
32298	5,30	5,20	175	928	0,83	5,55	181	150	0,33	8,50	278	91,74					16,2	9,9	166	33,7	4,9
32296	4,07	4,10	113	460	0,30	9,01	243	73	0,13	11,70	379	50,407					15,9	11,0	93	27,6	3,4
32128	8,00	4,10	92	736	0,50	12,32	212	106	0,33	5,80	109	36,297					14,4	4,9	83	22,4	3,7
32384	6,53	5,68	154	1.006	0,83	10,73	232	193	0,40	11,27	318	127,2					19,2	12,6	129	27,1	4,8
32385	6,27	3,50	115	721	0,63	6,14	224	142	0,13	8,70	315	41,895					19,7	5,8	98	32,9	3,0
32129	Stromausfall																				
32130	Stromausfall																				
32131	5,43	4,30	131	711	0,70	9,55	337	236	0,20	8,20	353	70,6					33,2	9,9	89	30,5	2,9
32132	4,83	4,60	171	826	0,43	7,14	308	133	0,37	11,97	448	164,42					16,1	19,9	131	37,2	3,5
32133	4,63	4,30	205	949	0,53	7,6	426	227	0,33	8,60	548	182,48					23,9	19,2	143	47,7	3,0
32134	4,00	3,99	250	1.000	0,33	6,4	370	123	0,20	10,20	952	190,4					12,3	19,0	198	62,7	3,2
32123	4,27	3,50	160	683	0,27	4,9	314	84	0,33	10,00	629	209,46					12,3	30,7	106	45,7	2,3
32124	5,08	6,90	303	1.539	0,46	7,17	243	112	0,30	8,80	382	114,6	0,3	31,26	1452	436	7,3	7,4	126	43,9	2,9
													0,33	26,68	1244	414					
Min	3,67	3,04	92	460	0,27	3,20	166	73	0,13	5,56	109	36	0,30	26,68	1.244	414	7,3	4,9	83	22,4	1,9
Mittel	5,39	4,67	211	1.107	0,52	8,73	503	273	0,30	11,23	653	193	0,32	28,97	1.348	425	23,0	17,4	137	44,5	3,1
Max.	11,07	8,93	542	2.764	0,93	17,60	1.272	1.024	0,47	32,80	2.179	872	0,33	31,26	1.452	436	49,5	32,6	245	62,7	4,9
Stdabw	1,48	1,25	85	466	0,19	3,44	278	224	0,09	5,19	361	138	0,02	3,24	147	15	10,9	7,8	45	9,3	0,8

Tabelle 6: Staubentstehung und Staubeigenschaften der Schmelz-/Gießanlagen

	Schmelzofen	Gießofen
Staub-Entstehung	• Beim Chargieren aufgewirbelt • Beim Anheizen der Hochgeschwindigkeitsbrenner mitgerissen • Beim Zusammensacken der Schüttung aufgewirbelt • Ruß aus unvollständiger Verbrennung beim Brennerstart bzw. bei verblockten Brennern • Oxidpartikel bei autothermer Al-Oxidation • Oxidierte Partikel beim pneumatischen Einblasen von Legierungselementen in die Schmelze • Spritzer beim Legieren • Aufgewirbelt beim Abkrätzen	• Sublimation von Metall-Chloriden im Zuge der Abkühlung im Abgasweg • Beim Abkrätzen aufgewirbelt bei geringer Absauggeschwindigkeit
Hauptkomponenten	• Metall • Metall-Oxid • Ruß	Metall-Chloride
Staubeigenschaften	Metall: • Elektrischer Leiter • Spiegelnd • Geringer opt. Emissionsfaktor Metall-Oxid: • Elektrischer Isolator • Rauhe Oberfläche • Mittlerer opt. Emissionsfaktor Ruß: • Elektrischer Isolator • Schwarz • Hoher opt. Emissionsfaktor	Elektrischer Isolator Eigenschaften abhängig von der Restfeuchte
Hinweise zur Korngröße	Aufgrund hoher Strömungsgeschwindigkeiten können auch grobe Partikeln mitgerissen werden.	Aufgrund der Staub-Entstehung sind i. a. feine Partikeln zu erwarten.
Fazit	Stark inhomogene Staubeigenschaften	Eher homogene Staubeigenschaften

Tabelle 7: Menge des eingeblasenen Kalks

Datum	Stand Wiegebunker:		Verbrauch	Mittlere Kalkkonz.
	00:00:00	24:00:00		
	kg	kg		
07. Dez	3307	2901	406	78
08. Dez	2901	2463	438	89
09. Dez	2463	2038	425	86
10. Dez	2038	1619	419	83
11. Dez	1619	1212	407	80
12. Dez	1212	800	412	90
13. Dez	800	381	419	81
14. Dez	381	171		
Kalksilo nachgefüllt:	7554	7306	458	84
15. Dez	7306	6791	515	93
16. Dez	6791	6303	488	87
17. Dez	6303	5946	357	61

Tabelle 8: Veränderung des Mengenflusses von Chlor

	Ausgangs-Zustand 1996 spez. Chloreinsatz			Nach Umbau 2001 spez. Chloreinsatz	
	g/t	%		g/t	%
Input Gießofen	189	100,0		234	100,0
Output durch					
Krätze	109	57,7		151	64,5
Waschlauge	26	13,8		32	13,7
Filterstaub	-	-		26	11,1
Emission gefaßt Kamin	36	19,0	} 28,5	15	6,4
diffus	18	9,5		10	4,3
	189	100,0		234	100,0

Tabelle 9: Zusammenstellung der Wärmetauscherdaten

Anlage	WT	Leistung	Heiße Seite				Kalte Seite			
			Medium	Massen- strom	T Ein	T Aus	Medium	Massen- strom	T Ein	T-Aus
				kg/s	°C	°C		kg/s	°C	°C
AGR2	Abgaskühler	19,1	Abgas	45	550	160	Thermoöl	61	100	235
	Rückkühler	19,8	Thermoöl	97	200	100	Luft	317	30	98
AGR3	Abgaskühler	13,4	Abgas	31	570	160	Thermoöl	49	100	235
	Rückkühler	21,2	Thermoöl	31	200	100	Luft	144	30	98
	Schock 11/12	5,3	Abgas	11	1.250	870	Thermoöl	29	165	250
	LUVO 11/12	1,6	Thermoöl	7,3	250	165	Brennluft	10	15	160
Heiß-	WT2	10,0	Thermoöl	58	200	127	Wasser	62	120	160
wasser-	WT3	16,0	Thermoöl	66	200	100	Wasser	51	60	135
system	WT4	21,0	Wasser	70	160	90	Wasser	71	60	130

Tabelle 10: Monatsbilanzen Prozeßwärme und Fernwärme 2002

	Neu			Q2		Q3		Q4									
	EZ1_K3	EZ1_K4	EZ1_K5	EZ 1 SUMMIE	AGR 2 WMR	WT4_WMR2	Nutzen Alunorf	AGR3_WMR	AGR3_NETZ *)	Schutzgas	Frischwärme	EZ 2	mob. Heizstation	Strom FWP	EZ2_K *)	Anteil Frischw.	
MWh	Kessel 3	Kessel 4	Kessel 5	EZ1 Ausgang	WT2	WT4	WT2-(WT4-FW)	WT3	FW-Netz			WT8			Kessel EZ2	Alle Verbr.	ges. Abwärme
Januar	633,0	533,0	568,0	6.400,0	3.002,0	451,2	2.611,0	1.950,0	2.363,0	2.115,2	60,2	322,0		24,1	139,5	2,9%	6.861,5
Februar	541,0	409,0	314,0	5.000,0	2.428,0	250,3	2.202,4	1.428,0	1.670,0	1.558,3	24,7	246,0		23,3	27,9	1,7%	5.273,9
März	1.111,0	71,0	639,0	5.152,0	2.168,0	286,7	2.005,3	1.420,0	1.684,0	1.449,7	124,0	180,0		22,0	83,7	8,2%	5.415,7
April	470,0	178,0	509,0	5.020,4	2.272,0	72,7	2.219,3	1.228,0	1.291,0	1.664,1	20,0	100,0		20,0	14,0	1,7%	5.134,4
Mai	746,0	83,0	236,0	4.340,0	1.828,0	75,4	1.793,0	901,0	945,0	1.522,4	40,4	181,0		17,2	14,0	5,3%	4.535,0
Juni	1.006,0	339,0	20,0	4.182,0	1.292,0	18,6	1.296,7	691,0	654,0	1.543,6	23,3	110,0		15,5	0,0	4,3%	4.292,0
Juli	838,0	15,0	0,0	4.347,0	1.990,0	3,3	1.986,7	719,0	663,0	1.507,3	0,0	109,0		15,9	0,0	0,0%	4.456,0
August	824,0	7,0	3,0	4.130,0	1.861,0	3,7	1.857,3	673,0	616,0	1.438,7	0,0	99,0		15,7	0,0	0,0%	4.229,0
September	719,0	4,0	8,0	4.337,0	2.110,0	8,2	2.101,8	822,0	791,0	1.504,2	0,0	112,0		15,5	14,0	0,0%	4.463,0
Oktober	934,0	291,0	53,0	5.242,0	2.309,0	52,8	2.268,9	1.315,0	1.346,0	1.707,8	12,7	195,0		19,0	48,8	1,1%	5.485,8
November	906,0	122,0	393,0	5.177,0	2.259,0	180,3	2.186,5	1.428,0	1.578,0	1.677,3	107,8	272,0		21,8	20,9	8,3%	5.469,9
Dezember	1.195,0	860,0	790,0	6.041,0	2.418,0	517,1	2.298,4	1.489,0	2.177,0	1.295,1	397,5	182,0		32,6	139,5	19,9%	6.362,5
Summe	9.923,0	2.912,0	3.533,0	59.368,4	25.937,0	1.920,3	24.827,3	14.064,0	15.778,0	18.983,7	810,6	2.108,0	0,0	242,6	502,2	5,9%	61.978,6
	60,6%	17,8%	21,6%	100,0%	43,7%		41,8%			32,0%	5,9% *)				3,1%		74,1%

*) bezogen auf FW-Netz

*) aus Gasverbrauch geschätzt, eta = 0,75

*) von diesem Zähler ist der Wert EZ 2 abzuziehen !

Tabelle 11: Energieeinsparung und CO₂-Minderung 2000 bis 2002

	2000		2001		2002	
	Energie- einsparung MWh	CO ₂ - Minderung t	Energie- einsparung MWh	CO ₂ - Minderung t	Energie- einsparung MWh	CO ₂ - Minderung t
Schmelzöfen 11 und 12 zusätzliche Brennluftvorwärmung durch Thermoöl	7.387	1.497	7.722	1.565	8.126	1.622
Alunorf Prozeßwärme und Gebäudeheizung aus Thermoöl EZ 1 und EZ 2	20.948	5.661	19.208	5.191	26.935	7.279
Allerheiligen Fernwärme mit Frischwärme Stadtwerke Neuss Verkauf	(7.889) 3.185	(1.926) 778	(11.803) 6.647	(2.882) 1.623	(13.670) 7.986	(3.338) 1.950
Strom Fernwärmepumpen	- 283	- 149	- 315	- 166	- 243	- 128
Summe Abwärmenutzung	31.237	7.787	32.262	8.213	42.805	10.723

Tabelle 12: Stromverbrauch und CO₂-Emission der Abgasreinigungen AGR 2 und AGR 3

	2000		2001		2002	
	Strom- verbrauch MWh	CO ₂ - Emission t	Strom- verbrauch MWh	CO ₂ - Emission t	Strom- verbrauch MWh	CO ₂ - Emission t
AGR 2 ohne Fernwärmepumpen	8.937	4.702	10.916	5.744	11.124	5.853
AGR 3	3.559	1.873	3.007	1.583	3.221	1.695
Summe AGR 2 und AGR 3	12.496	6.575	13.923	7.327	14.345	7.548

Tabelle 13: Kosten des Förderprojektes

	DM	€
Umbau der Abgassysteme SGA 7-10 zum Anschluß an die Thermoölanlage und AGR 2	4.213.700	2.154.430
Elektrotechnik zur Steuerung der Abgase und Druckverteilung an SGA 7-10	3.148.807	1.609.959
Rohrleitungen u. Stahlbau zur Abgasführung als heißgehende Leitung bis 600°C zum Abgaskühler Thermoölanlage AGR 2	3.987.688	2.038.872
Thermoölanlage AGR 2	2.162.914	1.105.880
Abgasreinigungsanlage AGR 2 Filter, Saugzuggebläse, Kalkversorgung	9.574.030	4.895.124
Stromversorgung, Trafo, Elektro- und MSR-Technik für AGR 2 und Thermoölanlage	2.180.469	1.114.856 *)
Zwischensumme	25.267.608	12.919.121
Kesselanlage	5.385.728	2.753.679
Fremdleistungen-Messungen	517.413	264.549
Personalkosten-Projektabwicklung	1.192.483	609.707
Gesamtsumme	32.63.232	16.547.057

*) zugehörig zu Thermoölanlage und AGR 2

Tabelle 14: Produktion, Energieeinsatz und Emission der Schmelz-/Gießanlagen 1-13

Jahr	Produktion Walzbarren t	Energieeinsatz			Emission				Abfall Filter- staub t
		Erdgas MWh	Strom MWh	Σ MWh	CO ₂ t	NO _x t	HCl t	Staub t	
1996	557.295	578.662	86.784	665.445	151.561	198,2	19,44	26,85	23
1997	630.400	668.838	105.549	774.387	177.937	251,8	21,44	24,80	56
1998	629.370	650.146	106.632	756.778	175.086	198,2	15,44	17,19	103
1999	626.300	655.992	113.171	769.163	179.597	236,6	16,44	11,74	143
2000	670.837	695.633	123.593	819.226	192.335	178,0	9,54	6,39	198
Minderung				-31.237	-7.787				
2001	684.658	713.639	128.100	841.739	198.002	200,0	10,83	6,19	200
Minderung				-32.262	-8.213				
2002	743.184	749.944	138.355	888.299	210.042	196,5	10,14	6,96	263
Minderung				-42.805	-10.723				

Tabelle 15: Spezifische Daten pro 1 t Walzbarren

Jahr		Energieeinsatz			Emission				Abfall Filter- staub g/t
		Erdgas kWh/t	Strom kWh/t	Σ kWh/t	CO ₂ kg/t	NO _x g/t	HCl g/t	Staub g/t	
1996	Produktion gemäß Tabelle 14	1.038	156	1.194	272	356	34,9	48,2	41
1997		1.061	167	1.228	282	399	34,0	39,3	89
1998		1.033	169	1.202	278	315	24,5	27,3	164
1999		1.047	181	1.228	287	377	26,2	18,8	228
2000		1.037	184	1.221 - 47	275	265	14,2	9,5	295
2001		1.024	187	1.229 - 47	277	292	15,8	9,0	292
2002		1.009	186	1.195 - 58	268	264	13,6	9,4	354
Prozentuale Verände- rung 2002 bezogen auf 1996 = 100 %		- 2,8 %	+19,5 %	- 4,7 %	- 1,4 %	- 25 %	- 61 %	- 80 %	+760 %

Bildanhang