



# **Rückgewinnung von Abwärme aus den Schlammverbrennungsöfen der ProRhenio AG, Basel**

**Willi Roth**





# **Rückgewinnung von Abwärme aus den Schlammverbrennungsöfen der ProRhenon AG, Basel**

**Willi Roth, Binningen**



**Projektgrundlagen/Verfasser :**  
**Willi Roth, Dipl. Ing ETH, Binningen**



**Mitarbeit von**  
**Heinz Frömelt, ProRhenno AG, Basel**  
**Joachim Ködel, GRUNEKO AG, Basel**

**© Pro Rhenno AG, Basel**  
**Grenzstrasse 15**  
**Postfach**  
**4019 Basel**

**Alle Rechte vorbehalten, Basel 2005**

*Titelbild: Schlammverbrennungsofen der ProRhenno AG*

# 2

---



## **Rückgewinnung von Abwärme aus den Schlammverbrennungsöfen der ProRhenio AG in Basel**

Durch die konsequente Nutzung von bisheriger Verlustwärme bei ihren Verbrennungsöfen konnte die ProRhenio AG im Jahr 2004 31'000 MWh an das Fernwärmenetz der IWB abgeben. Dies entspricht dem Wärmebedarf von ca. 4'000 Wohneinheiten (aus dem Jahresbericht der ProRhenio AG). Die Modifikation der Anlagen ist im Folgenden beschrieben.

Die ProRhenio AG ist die gemischtwirtschaftliche Firma, welche die zwei Kläranlagen – jene der rechtsrheinischen Chemiewerke in Basel (ARA Chemie) sowie jene der Stadt Basel und angrenzender Vororte (ARA Basel) – betreibt. Dazu gehören auch die gemeinsamen Schlammverbrennungsanlagen.

Als wesentlicher Teil des Systems der Kläranlagen im Raum Basel sind in den Jahren 1977 bis 1982 zwei Öfen zur Schlammverbrennung gleichzeitig mit dem Bau der beiden Abwasserreinigungsanlagen errichtet worden. 1989 musste mit einem dritten Ofen die Verbrennungskapazität erhöht werden.

### **Beseitigung von Klärschlämmen**

Schlammverbrennungsanlagen dienen zur Beseitigung von Klärschlämmen, die in Anlagen zur Reinigung industrieller und gewerblicher Abwässer sowie von Misch-Abwässern mit kommunalen Anteilen anfallen. Derartige Schlämme lassen sich meist nur durch diese Technik umweltgerecht entsorgen. In den meisten Regionen mit grösseren Produktionen der chemischen Industrie sind solche Verbrennungsanlagen in Betrieb. Die grundlegende Technologie der Anlagen ist prinzipiell immer dieselbe. Sie ist durch die Natur der zu verarbeitenden Schlämme gegeben: Nach einer Eindickung der Dünnschlämme erfolgt in nachgeschalteten Aufbereitungsstrassen eine weitestgehende Entwässerung, um den Energieverbrauch bei der Verbrennung so klein wie möglich zu halten.

---

# 3





## Restschlämme aus Faulgasanlagen

Die Restschlämme aus Faulgasanlagen müssen heute ebenfalls verbrannt werden: Neben den industriellen Schlämmen sind zunehmend auch solche aus kommunalen Klärwerken auf diese Weise zu verarbeiten. Mit den nun wirksam werdenden Einschränkungen beim Austrag auf landwirtschaftlich genutzte Felder sind neben Rohschlämmen kommunaler Herkunft auch die Reste aus Faulgasanlagen betroffen. Sie werden daher immer direkt oder indirekt einer Verbrennung zu unterwerfen sein. Entscheidend beim Vergleich der unterschiedlichen Entsorgungsverfahren etwa via Trocknung, Faulung oder Direktverbrennung ist einesteils die Qualität des «Endproduktes» anorganische Asche. Sie hat spezifische Kriterien zu erfüllen, damit sie in der Deponie zulässig abgelagert oder in Zement oder Betonware eingebunden werden kann. Wesentlich bei der Beurteilung solcher Verfahren ist andernteils die gesamte Energiebilanz, die alle verfahrenstechnischen Teilschritte vom Ursprung der Schlämme bis zur deponiefähigen Asche einbeziehen muss. Dabei ist die Energieeffizienz aller Einzelschritte ein bedeutender Faktor. Die verfahrenstechnische Disposition solcher Anlagen, einschliesslich deren Möglichkeiten der Abwärmenutzung, ist für die langfristige ökologische und ökonomische Akzeptanz entscheidend. Die verbesserte Nutzung der Wärme aus den Abhitzebereichen der ProRhen-Öfen, über die anschliessend berichtet wird, dient diesem Ziel.

In den ProRhen-Anlagen werden die Schlämme der ARA Chemie sowie jene der ARA Basel «direkt» verbrannt. Seit einiger Zeit werden zudem zur besseren Auslastung externe Schlämme aus Klärwerken der Region und nun auch Restschlämme von Faulgasbetrieben verarbeitet.

Die Kapazität der drei Verbrennungsöfen kann damit zurzeit hinreichend ausgelastet werden. Die älteren zwei der drei Öfen (Bezeichnung 66 und 67) sind identische Ausführungen mit einer Leistung von nominal je 18 to TS / d (TS = Trockensubstanz). Der neue Ofen (Bezeichnung 86) weist eine um ca. 20 % höhere Leistung auf und verarbeitet 22 to TS / d. Die gesamte Leistung kommt damit auf ca. 60 to TS / d zu liegen, was einer mittleren Wasserverdampfung von 180 to / d entspricht.

# 4





*Bildlegende*

**5**



## Etagen-Wirbelschicht-Ofen

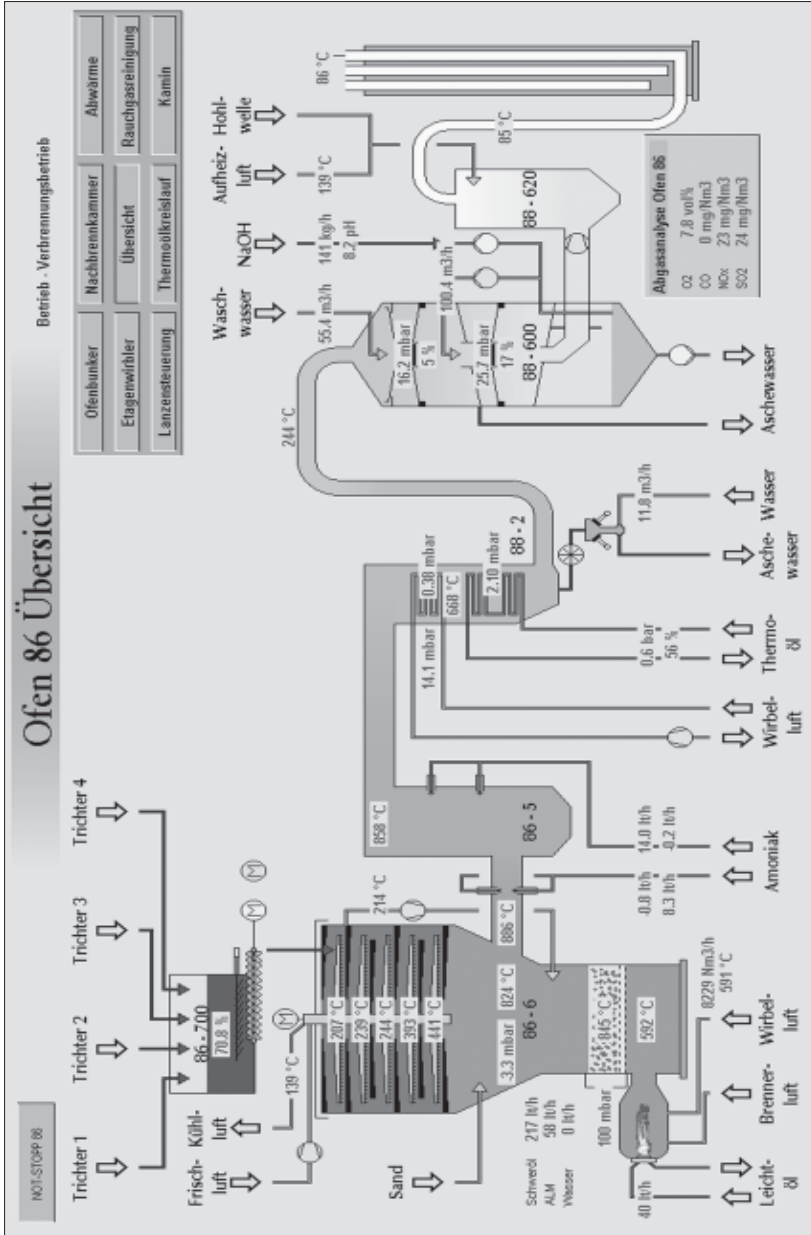
Als Anlagentyp wurde seinerzeit ein Etagen-Wirbelschicht-Ofen gewählt, dessen Technik sich bis heute bewährt hat. Es werden darin auf mehreren Etagen die wässrigen Schlämme mit Rauchgasen getrocknet und anschliessend in einem Wirbelbett verbrannt. Diese Wirbelmasse besteht aus Basalt oder Quarzsand. Dem Brennraum ist eine Nachbrennkammer angefügt, die den Ausbrand der Abgase und der Asche gewährleistet und in der sich die schwereren Ascheteile austragen lassen. Im nachfolgenden «Abhitzekeessel» erfolgt die Rückgewinnung der in den Rauchgasen aus der Verbrennung mitgeführten Wärme. Über ein Rauchgaswaschsystem werden die Abgase durch das Kamin in die Atmosphäre geleitet. Für den Ofen 86 ist die technische Anordnung in Bild 1 dargestellt.

Zusätzliche Anlageteile und verfahrenstechnische Massnahmen zur Einhaltung der strengen Grenzwerte zur Luftreinhaltung (z.B. Feinstaub, Schwefeldioxyd, Stickoxyde und Kohlenmonoxyd) sind in den letzten Jahren ebenfalls realisiert worden.

Die hier zu verbrennenden Schlämme stammen, wie erwähnt, aus der ARA Chemie, die das Abwasser aus den Produktions- und Forschungsanlagen der rechtsrheinischen Chemiebetriebe – vorwiegend von Ciba Spezialitätenchemie AG, Novartis Pharma AG und F. Hoffmann-La Roche AG – behandelt; zudem sind es jene aus der ARA Basel, die das häusliche Abwasser von Gross- und Kleinbasel sowie von angrenzenden Gemeinden reinigt. Diese Schlämme besitzen, im Gegensatz zu den Abfällen, die in üblichen Kehrichtverbrennungsanlagen behandelt werden, primär einen negativen Heizwert. Es sind pastöse Suspensionen, die durchschnittlich noch ca. 75 % Wasser enthalten. Zu ihrer Verbrennung ist je nach dem erreichten Entwässerungsgrad mehr oder weniger Zusatzenergie erforderlich. Die Verbrennung erfolgt daher mit Hilfe einer Stützfeuerung, die mit Schwer- oder Leichtöl und überschüssigen Lösungsmitteln aus den Chemiewerken der Region betrieben wird. Der Energie- bzw. der Ölverbrauch richtet sich daher direkt nach dem Wassergehalt und dem effektiven Heizwert der in den Schlämmen enthaltenen Trockensubstanzen. Der gesamte Heizölverbrauch lag in den vergangenen Jahren bei ca. 2'000 – 3'500 to / Jahr und damit, je nach dem erreichten Entwässerungsgrad, bei einem spezifischen Verbrauch von ca. 140 – 180 kg / to TS bzw. ca. 40 – 60 kg Heizöl / to verdampftes Wasser.

# 6





*Etagenwirdlerofen mit Nachbrennkammer, Abtitzekessel und Rauchgasreinigung*

7



## Ölverbrauch der Schlammverbrennung

Im Bild 2 sind die quantitativen Zusammenhänge für die Schlammverbrennung der ProRhenio dargestellt. Der spezifische direkte Verbrauch an Heizöl ist bezogen auf die verbrannte Trockensubstanz TS, wobei, wie erwähnt, auch überschüssige Lösungsmittel eingesetzt werden. Diese Abfall-Lösungsmittel – ca. 1000 to im Jahr 2004 – dienen der Substitution des Heizöls. Sie können auch als flüssiger Abfall mit gutem Heizwert betrachtet werden, der ohnehin beseitigt werden muss.

Bemerkenswert (siehe Bild 2) ist der steile Anstieg des spezifischen Verbrauchs mit abnehmendem Trockengehalt der Schlämme. Der Heizwert der Trockensubstanz der Mischung aus Chemie- und Kommunal-schlamm ist relativ bescheiden. Die anteilige Zusammensetzung wird nachfolgend erläutert. Die eingetragenen Messwerte sind Jahresmittel. Vor allem verbesserte Entwässerungsverfahren und Apparate führten über die Jahre zu erheblich geringerem Verbrauch. Eine autotherme Verbrennung, (ohne Einsatz von Heizöl) ist theoretisch bei den heute auftretenden gemischten Heizwerten im Bereich von 30 – 35 % TS zu erwarten. In der Praxis ist dieser Zustand aber nicht fahrbar, da die Steuerung der Verbrennung bei so variablen Heizwerten nicht gewährleistet werden kann. Der eingetragene Wert für das Jahr 2004 ist – bezogen auf den direkten spezifischen Heizmitteleinsatz – der bis dahin beste.

In Bild 2 ist zudem ein Bereich markiert, der Äquivalenzbereich, der die gesamte heutige Wärmebilanz unter Einbezug der Abwärmenutzung über die drei Öfen aufzeigt.

## Nullverbrauch beim Heizöläquivalent

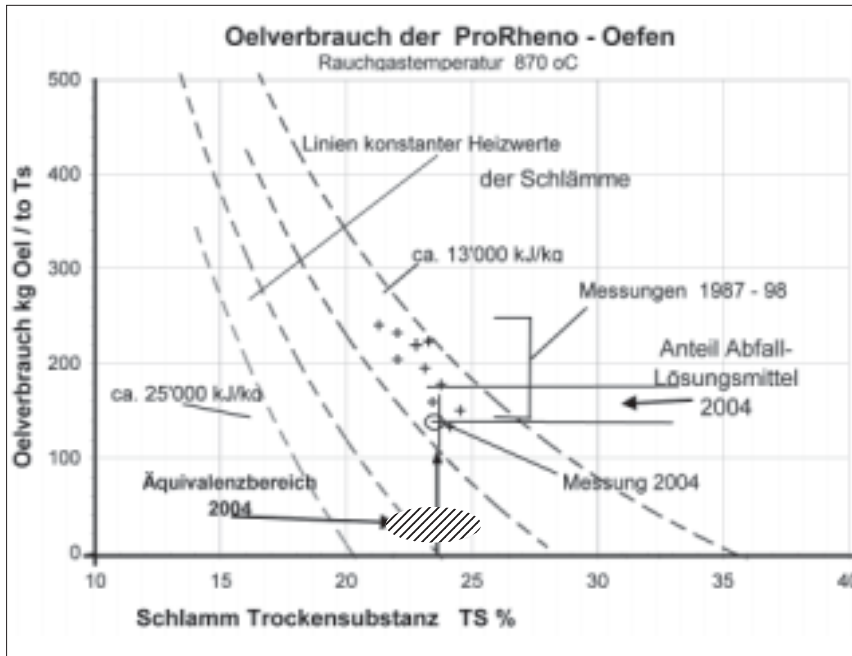
Die konsequente Nutzung der Abwärme durch die ausgeführte Modifikation der Anlagen führte im Jahr 2004 beim Heizöläquivalent nahezu zum rechnerischen Nullverbrauch. Weitere Änderungen können zu einer Netto- Energie-Abgabe aus den Anlagen führen.

# 8





Die Konstruktion der Öfen hat sich sehr gut bewährt. Zu Beginn der Planung war aber noch recht unsicher, wie sich die zu verarbeitenden wasserhaltigen Schlämme bei der Verbrennung im Ofen verhalten würden. Im Besonderen waren früher – vor allem in der Planungsphase – die in den verschiedenen Stufen der Chemiekörananlage abzutrennenden Suspensionen als für eine Verbrennung problematisch angesehen worden.



*Spezifischer Ölverbrauch in Funktion des Gehaltes an Trockensubstanz im Klärschlamm*

Mit den hinreichend bekannten Bioschlämmen aus kommunalen Anlagen war hingegen erfahrungsgemäss mit keinen Schwierigkeiten zu rechnen.

## Schlamm aus Chemie-Körananlage

Die teilweise ungewohnte Zusammensetzung der Chemieschlämme ist das Ergebnis des mehrstufigen Reinigungsverfahrens für die sauren Wäs-





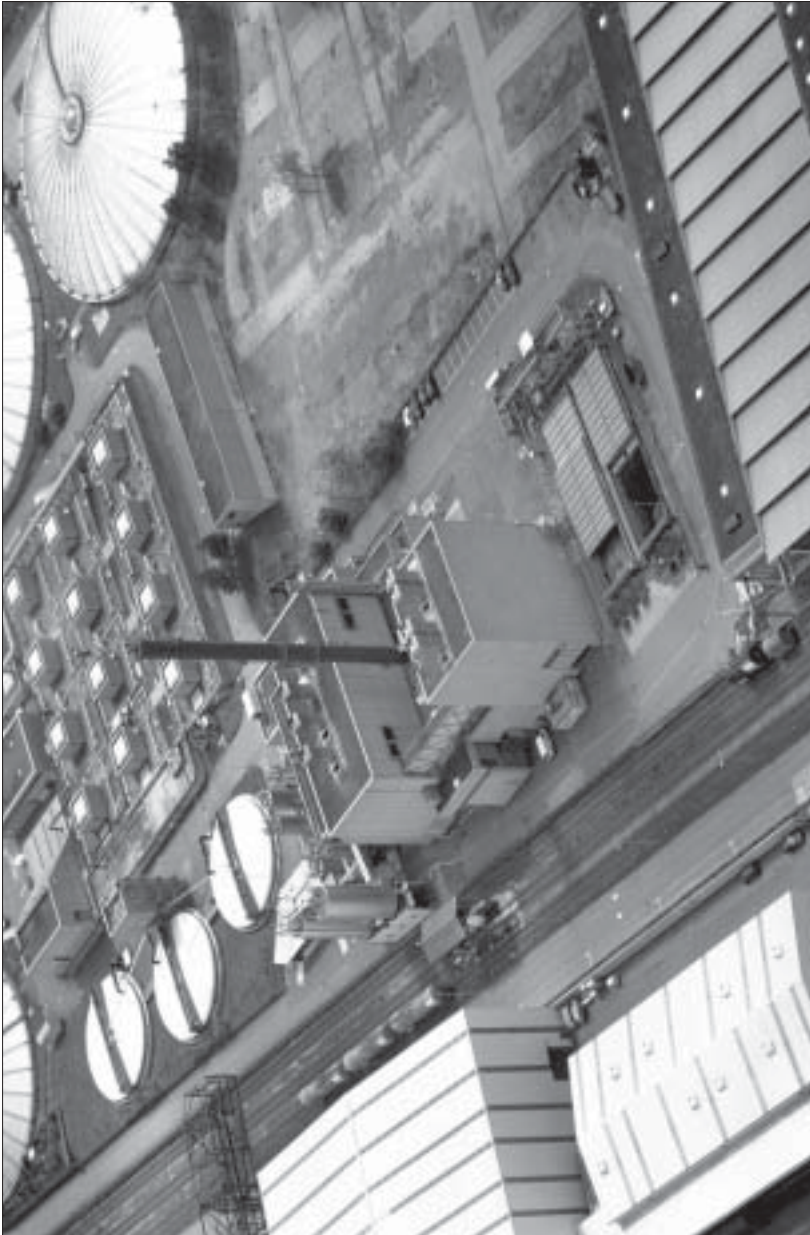
ser der Chemie, das aus vier einzelnen Verfahrensschritten besteht. Aus zwei Vorbehandlungsstufen, die funktional klar von einander getrennt sind, werden Schlämme recht unterschiedlicher Konsistenz und Zusammensetzung abgeschieden. Es sind dies Neutralisations-Schlämme mit sehr feinkörnigen Gips- und Carbonatniederschlägen. Derartige, vorwiegend anorganische Schlämme, besitzen keinen Trockenheizwert. Sie können zudem bei der Verbrennung zusammen mit anderen Salzen Probleme durch Verklumpen – etwa in der Wirbelmasse – führen.

Sodann wird der Abwassermix einer Entfärbung unterworfen. Hier werden organische Farbstoffe gefällt und via Flotation abgetrennt. Die Flotationsschlämme besitzen, bezogen auf die Trockensubstanz, klar positive Heizwerte. Sie weisen aber rheologisch schwierige Fließ- und Lösungseigenschaften auf und müssen in separate Lagertanks gepumpt werden.

Erheblich grössere Schlammengen entstehen in der anschliessenden Belebungsanlage. Der bakteriologische Abbau der organischen Abwasserlasten erzeugt als Überschussbelebtschlamm die anteilmässig grösste Schlammmenge mit nennenswertem Heizwert. Sie besteht vorwiegend aus bioorganischem Material, das hier jedoch auch erhebliche Anteile an Kalk aus der Neutralisation und Spuren von Schwermetallen enthält. Anteilmässig am gesamten Schlammaufkommen der ARA Chemie fallen hier laufend ca. 80 % der Trockenmasse an.

In einem letzten Schritt sind im Ablauf aus den Nachklärbecken noch suspendierte Feststoffe abzutrennen. Funktional wird die Trennung vom Abwasserstrom mittels einer zweiten Flotation vorgenommen. Das Flotat hat Heizwerte wie etwa jene der Biomasse der Belebungsstufe.

In den zwei Flotationsstufen, denen je eine Flockung der Feinpartikel vorausgeht, werden erhebliche Mengen an Aluminiumsalzen als Flockungshilfsmittel eingesetzt. Diese stellen additiv zu den diversen Aluminiumverbindungen, die aus den Chemiebetrieben im Abwasser mitgeliefert werden, zusammen mit Calcium die Hauptanteile der anorganischen Komponenten in den Schlämmen. Sie belasten mit beachtlichen 25 – 40 % Gewichtsanteil den Heizwert negativ. Zudem bilden sie noch heute eine un-



*Bildlegende*



bestimmte Variable bei den Verbrennungsvorgängen im Wirbelbett, da deren Konzentration starken Schwankungen unterworfen sein kann. Verklumpungen oder gar Schmelzvorgänge können hier nicht ausgeschlossen werden.

Die Vorklär- und die Überschussbelebtschlämme werden zur weiteren Aufkonzentration in statisch sedimentativ betriebene Eindickerbecken gepumpt, von wo sie der anschliessenden mechanischen Entwässerung in Hochleistungszentrifugen zugeführt werden. Hier werden Trockengehalte (TS) von 23 – 28 % erreicht.

Die Belastung der ARA Chemie ist in den vergangenen Jahren erheblich gesunken, von ca. 14'000 m<sup>3</sup> / d Abwasser im Jahre 1989 auf ca. 5'300 m<sup>3</sup> / d im Jahr 2004 – dies als Folge von Produktionsverlagerungen und der fortgeschrittenen Verfahrensbearbeitung in den Fabrikationsanlagen der Chemie. Die organische Belastung ist mit ca. 1'000 mg TOC / l (total organic carbon) aber etwa gleich geblieben. Dementsprechend ist die Schlammmenge aus der ARA Chemie ebenfalls zurückgegangen, von ca. 25 to / d auf ca. 11 to / d im Jahr 2004.

## **Schlamm aus Basel**

Die in der ARA Basel produzierten Schlämme sind an sich im Zusammenhang mit der Verbrennung unproblematisch. In dieser Anlage werden die Dünnschlämme aus der Vorklärung mit den Schlämmen der Belebtschlammstufe zusammen in separate Eindicker gepumpt. Die anorganische Fracht (to / d) aus der ARA Basel ist dabei nahezu doppelt so hoch wie jene der ARA Chemie. Die Biologie, die im Übrigen mit Reinsauerstoff betrieben wird, ist mit einer Phosphatfällung ausgestattet.

## **Freie Verbrennungskapazitäten**

Der durchschnittliche Abwassereinlauf in die ARA Basel ist in den letzten Jahren ebenfalls gesunken von ca. 120'000 m<sup>3</sup> / d im 1987 auf ca. 98'000 m<sup>3</sup> / d im Jahr 2004. Entsprechend der Abwassermenge ist denn

# 12





*Bildlegende*

**13**



auch hier das Schlammaufkommen leicht geringer ausgefallen. Es betrug im 2004 noch ca. 38 to TS / d. Die Schlämme der ARA Basel werden ebenfalls via Eindicker vorkonzentriert.

Aus drei Eindickern werden die schnelllaufenden Zentrifugen anteilmässig gespiesen. Wesentlich ist, dass die Entwässerung ohne Unterbruch und die anschliessende Verbrennung in den Öfen ausgeglichen verläuft. Störungen konnten trotz hohem Anteil an schwierig zu behandelnden anorganischen Teilen weitgehend vermieden werden.

### **Freie Verbrennungskapazitäten**

In den vergangenen Jahren wurden im Mittel ca. 49 to TS / d an Schlämmen verbrannt. Durch den Rückgang der ARA-eigenen Schlamm-mengen und durch betriebliche Verbesserungen entstanden freie Verbrennungskapazitäten, sodass neben den eigenen Zufuhren in den letzten Jahren auch flüssige Organika enthaltende Fremdanlieferungen entgegengenommen werden konnten. Weitere Zulieferungen von Klär- und Faulschlamm aus umliegenden Kläranlagen halfen, die Kapazitäten hinreichend auszulasten.

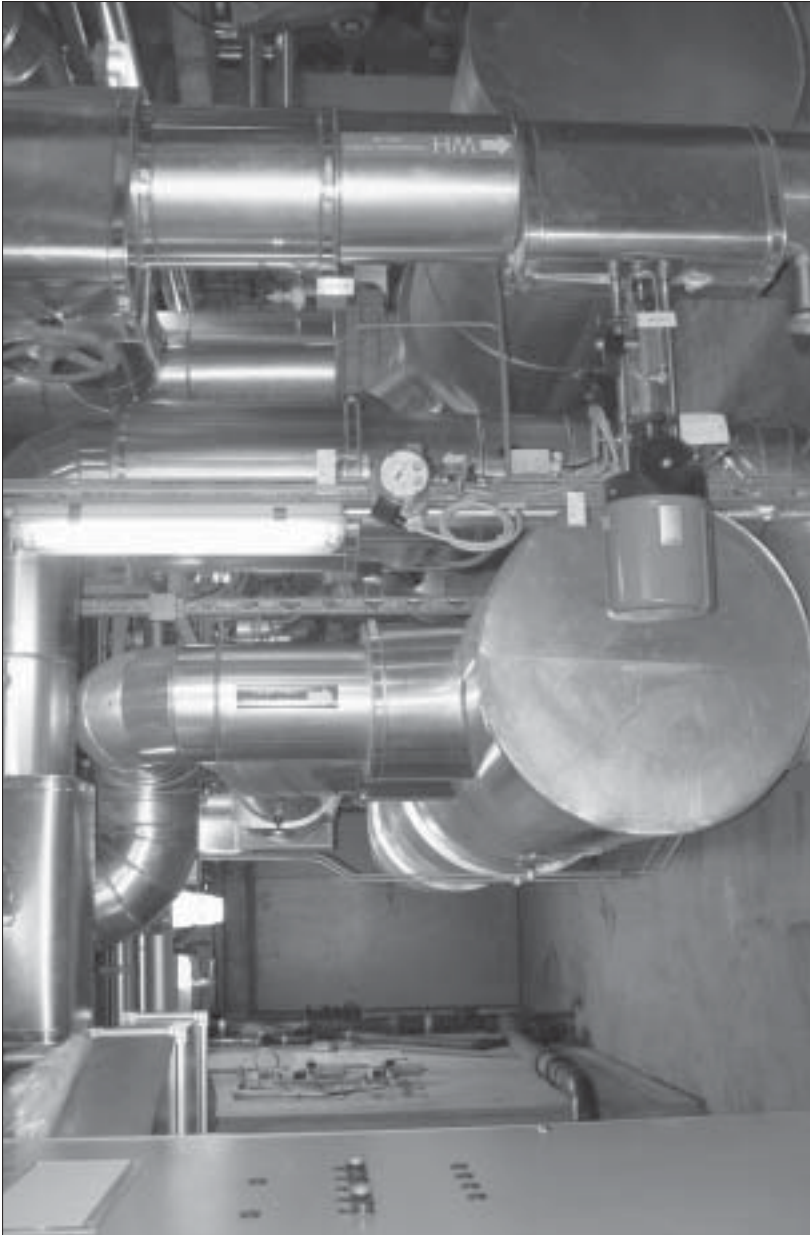
Diese Fremdlieferungen dürften heute auch längerfristig anhalten, da, wie oben erwähnt, der Austrag von Dünnschlamm und jener aus Faulgasanlagen auf landwirtschaftliche Nutzflächen nicht mehr zulässig sind. Eine hinreichend gross dimensionierte Schlammannahmestelle ist hier denn auch realisiert worden.

### **Verschiedene Wege zur Energienutzung**

Dem Problem des Energiehaushaltes wurde schon zu Beginn der Planungsarbeiten der Verbrennungsanlagen in den Jahren 1975–1985 grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Die Verwertung der anfallenden Wärme sollte vorerst intern erfolgen, so z.B. bei der Schlammzubereitung. Durch das Aufheizen der den Zentrifugen zugeführten Dünnschlämme kann der







*Bildlegende*



spezifische Ölverbrauch erheblich gesenkt werden. Dieser Weg wurde dann auch realisiert.

Daneben wurde, um das Verbrennen organischer Massen zu vermeiden, für die Überschussschlämme der ARA Basel eine landwirtschaftliche Verwertung – etwa als mit Stickstoff weiter angereicherter Trockendünger – ins Auge gefasst, was auch experimentell geprüft wurde. Zur Trocknung der Biomasse wäre ein guter Teil der Abwärme einzusetzen gewesen. Im Hinblick auf die sich abzeichnenden ökologischen Probleme in der Landwirtschaft mit Dünger aus Kläranlagen wurde aber davon abgesehen.

Sodann waren auch Versuche zur Biogaserzeugung im Kleinmassstab für die Schlämme aus den Belebtschlammbecken unternommen worden. Nur jene der ARA Basel zeigten, wie zu erwarten war, normale Geschwindigkeiten der Gaserzeugung. Jene der ARA Chemie waren dagegen nicht geeignet. Die Technologie zur internen Verwertung der Biogase, etwa zur Stromerzeugung, schien aber um 1983 noch nicht hinreichend gesichert. Zudem ist der Heizwert der erzeugten Gase jeweils beim ausgefalteten Restschlamm in Abzug zu bringen, denn dieser ist hier dann doch noch zu verbrennen. Der Austrag in die Landwirtschaft als Dünger wäre aus geographischen und verkehrstechnischen Gründen schwierig zu realisieren gewesen, da ein Export ins angrenzende Ausland nicht möglich war.

Für die Einspeisung der Biogase in die Erdgasleitung der Region – als weitere Variante – hätten sehr aufwändige Reinigungsverfahren entwickelt werden müssen, für die zu jenem Zeitpunkt kaum Informationen über vergleichbare Anlagen verfügbar waren. Von dieser Aufarbeitungsvariante war daher Abstand zu nehmen. Die Frage der Produktion von Faulgas wurde später, im Jahr 1987, wieder angegangen. Ein Entscheid in dieser Richtung ist jedoch nicht getroffen worden.

Weitere Ansätze zur Energienutzung betrafen die Trocknung der Schlämme mit diversen Apparatetypen. Die Trockenmasse kann dabei als Brennstoff eingesetzt werden – eine Technik, die andernorts genutzt wird. Dieser Weg ist aber auf Grund von diversen negativen Erfahrungen mit

## 16

---





Trocknungsapparaten in andern Klärwerken und auch in Produktionsbetrieben der Chemie nicht mehr weiter verfolgt worden.

Die Alternative Abgabe von Überschussenergie – etwa in Form von Heisswasser oder Dampf – an die angrenzenden Chemiebetriebe oder an andere Abnehmer in der Nähe war nicht realisierbar, da dort zu jenem Zeitpunkt genügend eigene Kapazitäten vorhanden waren.

Bei allen diesen Vorprojekten hatte die störungsfreie Entsorgung der Schlämme Priorität. Ein Entsorgungseingpass an dieser Stelle hätte unabsehbare Folgen vor allem für die Produktion in den Chemiebetrieben gehabt. So wurde der internen Verwertung und damit der direkten Verbrennung aller Schlämme der Vorzug gegeben – ein Entscheid, der sich bis heute bewährt hat.

Für die interne Bewirtschaftung der entstehenden Abwärme mussten daher geeignete Lösungen realisiert werden. Als primäre Nutzung von Abwärme bei Verbrennungsanlagen ist das Aufheizen der Frischluft, die der Verbrennung zugeführt wird, Stand der Technik. In je einem LUVVO (Luftvorwärmer) wird auch hier ein Teil der Wärme direkt in den Kreislauf zurückgeführt. Bilanzmässig ist dies z.B. beim Ofen 86 etwa 60 % der später anderweitig nutzbar gewordenen Energie (siehe Bild 3).

## Suchen nach wirtschaftlichen Lösungen

Als eine wirtschaftliche Lösung erwies sich seinerzeit, wie erwähnt, das Aufheizen der Dünnschlämme vor den Zentrifugen. Erfahrungen in anderen Betrieben sowie eigene Versuche sprachen für diese Anwendung. Die während einigen Jahren betrieblich gesammelten Daten hatten ergeben, dass mit diesen Anlagen etwas höhere Trockensubstanzgehalte der Schlämme nach den Zentrifugen erreichbar waren. Damit liess sich der spezifische Ölverbrauch etwas verringern. Im Mittel wurde eine Zunahme bei der TS von etwa 1,5 % und damit eine Verkleinerung des Ölverbrauchs um beachtenswerte 25 – 30 kg Öl / to TS erreicht (siehe auch Bild 2). Das führte zu einer Verringerung des Heizölverbrauchs um ca. 400 – 500 to /Jahr. Es

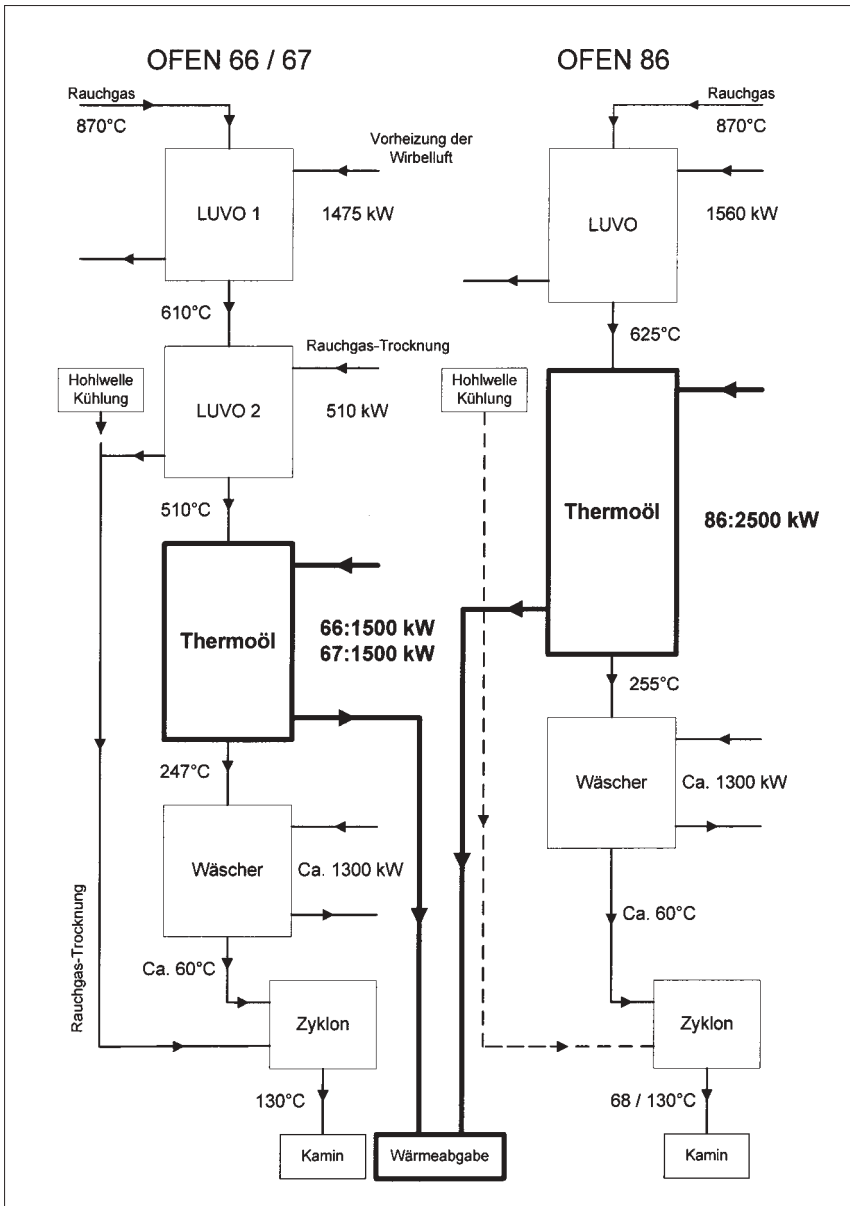




sind dies ca. 17 % des gesamten Jahresverbrauchs. So vorteilhaft die Wärmebilanz auch war, so störanfällig erwiesen sich die in diesem Bereich verfügbaren Apparaturen, sodass sich schon nach wenigen Betriebsjahren eine anderweitige Nutzung der Wärme aufdrängte.

Bei allen drei Öfen werden die Rauchgase via Kamin aus den Anlagen ausgeblasen. Die damalige öffentliche Meinung über rauchende oder dampfende Kamine war nicht sehr positiv. So wurde denn vorgesehen, die Abgase nach der Rauchgaswäsche mit Abwärme zu trocknen, sodass bei normalen atmosphärischen Bedingungen keine «Dampffahne» mehr sichtbar ist. Damit liessen sich auch korrosive Angriffe in den Kaminen vermeiden. Am Ofen 86 wurden mit 16'000 Nm<sup>3</sup>/h Frischluft, aufgeheizt auf ca. 220°C, die Rauchgastemperatur am Kaminende auf ca. 130°C eingestellt, was eine Dampffahne vollständig vermeiden liess. Die Wärme dazu konnte dem Thermoöl entnommen werden. Ein Teil der verfügbaren Überschusswärme (ca. 800 kW), wurde dadurch aus dem Kreislauf abgeführt. Bei den Öfen 66 und 67 werden auch heute noch in einem LUVO 2 je ca. 4'500 Nm<sup>3</sup>/h Luft mit einem Aufwand von ca. 500 kW aufgeheizt und dem Rauchgas beigemischt, sodass dieses mit einer Temperatur von ebenfalls ca. 130°C aus den Kaminen austritt.





Sequenz der Wärmetauscher in den Abhitzekesteln





## Verhinderung von Wärmeverlusten

Zur internen Warmwasserversorgung sowie zur Heizung der sehr ausgedehnten Betriebsräume der ARA in der Winterperiode war weitere Abwärme verfügbar. Ganzjährig war daneben auch die Begleitheizung für die Schwerölaufuhr zu den Öfen zu betreiben.

Jedem Verbrennungssystem sind aber auch die unvermeidlichen, recht hohen Wärmeverluste eigen, die z.B. durch eine Abgaswäsche und den natürlichen Ausstoss von Rauchgasen über die Kamine entstehen.

Die technische Disposition zur Entnahme von Abwärme aus den Rauchgasen der Verbrennungsöfen für die beschriebenen möglichen Anwendungen ist konventionell. Die Sequenz der Wärmetauscher zur Abfuhr aus dem Abhitzeessel ist in Bild 3 sowohl für die älteren Öfen 66 / 67 wie auch für den Ofen 86 dargestellt. Die eingetragenen, berechneten Leistungswerte der einzelnen Stufen beziehen sich auf einen guten Auslastungsgrad der Verbrennungsräume bei einer Verbrennungstemperatur von ca. 890°C und einer Rauchgastemperatur von 870°C im Vorlauf zum Abhitzeessel.

Die Energieabnahme nach aussen erfolgt über ein Zirkulationssystem mit Thermoöl. Über diesen Kreislauf wurden bislang die Schlammvorwärmung und die Systeme der Raumheizung gespeisen, beim Ofen 86 zudem die erwähnten Wärmetauscher der Rauchgastrocknung. Im Abhitzebereich der Öfen 66 und 67 werden zurzeit noch die Luftmengen zur Rauchgastrocknung der zugehörigen Kamine im zweiten Wärmetauscher (LUVO 2) aufgeheizt.

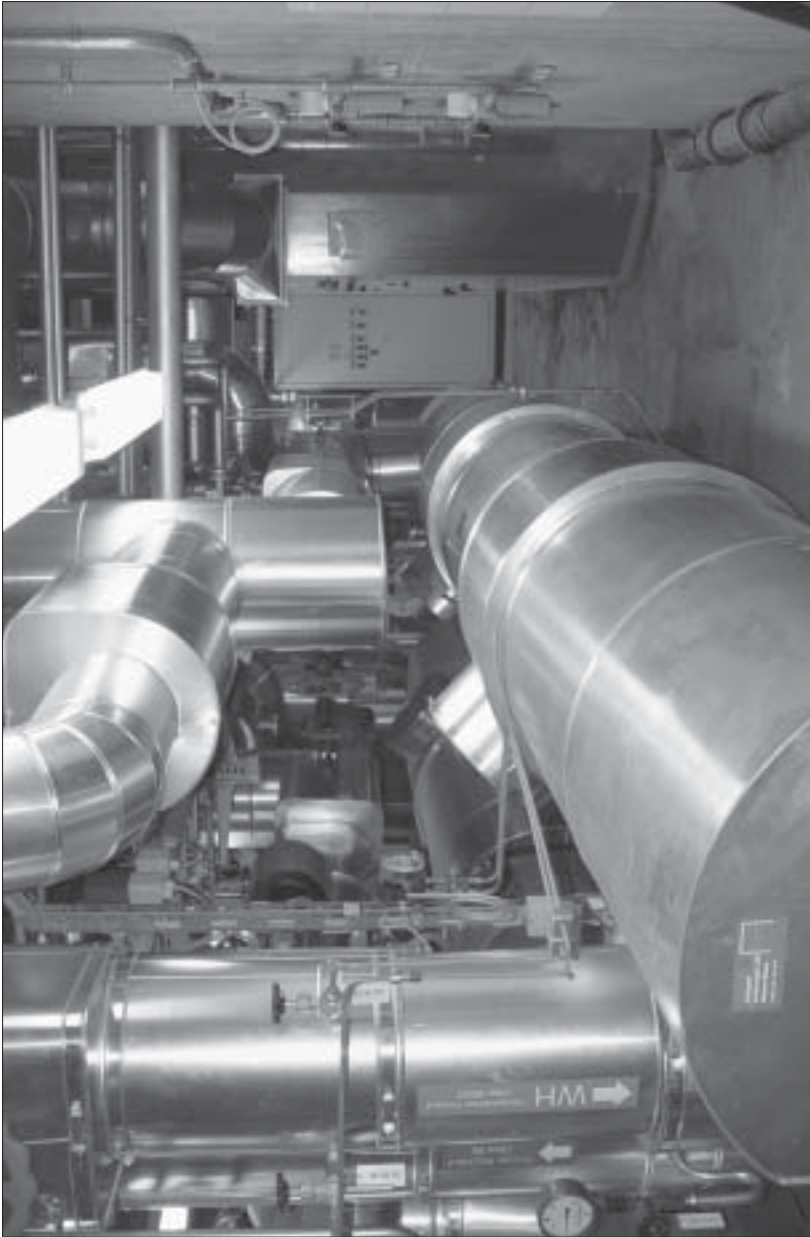
Die im Bild 3 eingetragenen Leistungswerte der einzelnen Stufen entsprechen den Daten, die dem realisierten Projekt für die erweiterte Wärmenutzung zu Grunde gelegt wurden.

## Direkte Nutzung als Heizwärme

Das erhebliche Potenzial lag demnach darin, die störanfällige Dünnschlammheizung und auch die Rauchgastrocknung beim Ofen 86 nicht

# 20





*Bildlegende*

**21**





mehr weiterzuführen und eine direkte Nutzung als externe Heizwärme anzustreben. Bei der «Abschaffung» der Rauchgastrocknung war zu beachten, dass Korrosion im Kamin vermieden werden muss. Die auch bisher betriebene Einleitung des kleinen Heissluftstromes aus dem System der Kühlung der Hohlwellen im Ofen war rechnerisch hinreichend, die Temperatur im Kamin in einem Bereich zu halten, in dem Korrosion kaum auftreten konnte – dies auch bei einer Reduktion der Temperatur am Kaminaustritt von 130°C auf 68°C. Eine Dampffahne ist dann aber am Kamin des Ofens 86 bei fast allen Wetterlagen sichtbar.

Die einschlägigen Berechnungen ergaben, dass bei normaler Belastung der Verbrennungsräume bei den Öfen 66 und 67 je ca. 1'500 kW und aus dem Ofen 86 zusätzlich ca. 2'500 kW verfügbar waren, zusammen 5'500 kW.

Die Menge an verbranntem Schlamm beträgt bei diesen Leistungsmerkmalen etwa 60 to / TS / d bei 180 to / d Wasserverdampfung. Dies entspricht der Belastung bei erhöhtem Normalbetrieb.

### **Für die IWB interessant**

Auf dieser Basis interessierten sich die Industriellen Werke Basel (IWB) für die permanente Abnahme der gesamten Überschusswärme der ProRhenos in ihr Fernwärmenetz, wobei die Niveaus der Temperaturen mit ca. 170°C beim Thermoöl sowie im Fernheiznetz nahezu ideal zueinander lagen. Eine langfristige Versorgung durch die Verbrennungsöfen sollte ebenfalls möglich sein.

Die IWB betreiben in der Winterzeit ihr Fernheiznetz mit einer Vorlauftemperatur von 170°C, was die direkte Abgabe aus dem Thermoölsystem erlaubt. Im Sommer wird im Falle eines geringen Leistungsbedarfs die Temperatur auf ca. 160°C abgesenkt. Die Rücklauftemperaturen liegen bei ca. 55 bis 60°C. Das gesamte Fernwärmenetz der IWB ist mit einer jährlichen übertragenen Energie von ca. 920 GWh eines der grössten der Schweiz.







In Zusammenarbeit mit den IWB wurde durch die ProRhenO AG und die für einschlägige Projekte erfahrenen Firma GRUNeko AG der Anschluss an das Fernleitungsnetz von Kleinhüningen realisiert. Auf Seite der IWB mussten zum Teil neue Leitungen verlegt werden. Ein älterer Leitungsast war nach Prüfung der notwendigen Festigkeit in den Verbund mit einbeziehbar. Im Areal der ProRhenO konnten die neuen Verbindungen und Anschlüsse in bestehenden Räumen und auch in einem bereits vorhandenen Leitungstunnel untergebracht werden.

Die gesamte Disposition des Wärmeverbundes mit den IWB ist in Bild 4 dargestellt. Die Zahlenwerte sind jene einer Momentansituation in diesem Betrieb. Die Einspeisung der Wärme aus dem Thermoöl der Öfen in das Fernwärmenetz der IWB erfolgt über getrennte Wärmetauscher für die Öfen 66 / 67 und den Ofen 86.

Die Auslegungswerte der Öfen 66 /67:

Leistung 3000 kW

Temperaturen primär 240/180°C, sekundär 175/70°C

Volumenstrom primär 115 m<sup>3</sup>/h und sekundär 25 m<sup>3</sup>/h

Für den Ofen 86 :

Leistung 2'800 kW,

Temperaturen primär 240/180°C, sekundär 175/70°C

Volumenstrom primär 100 m<sup>3</sup>/h, sekundär 22 m<sup>3</sup>/h

Die IWB übernehmen jeweils die gesamte produzierte Wärme. Die nominale Leistung der Auskopplung beträgt ca. 5,5 MW. Der interne Verbrauch der ProRhenO wird dann rechnerisch wieder von den IWB bezogen. Es ist dies jener für die Heizung der ausgedehnten Anlagen, für den Warmwasserverbrauch sowie für die Warmhaltung der Schwerölaufuhr mit einem im Winter gefrier-sicheren Glykol-Wassersystem. Diese Wärme wird aus dem Heisswasserkreislauf über je einen Wärmetauscher ausgekoppelt. Die Differenz ist dann die effektiv aus dem Verbundsystem abgegebene und verrechnete Leistung.

Bei einem unwahrscheinlichen aber möglichen Ausfall beim Bezug durch das Fernwärmesystem erfolgt eine Entlastung der Thermoölkreisläufe



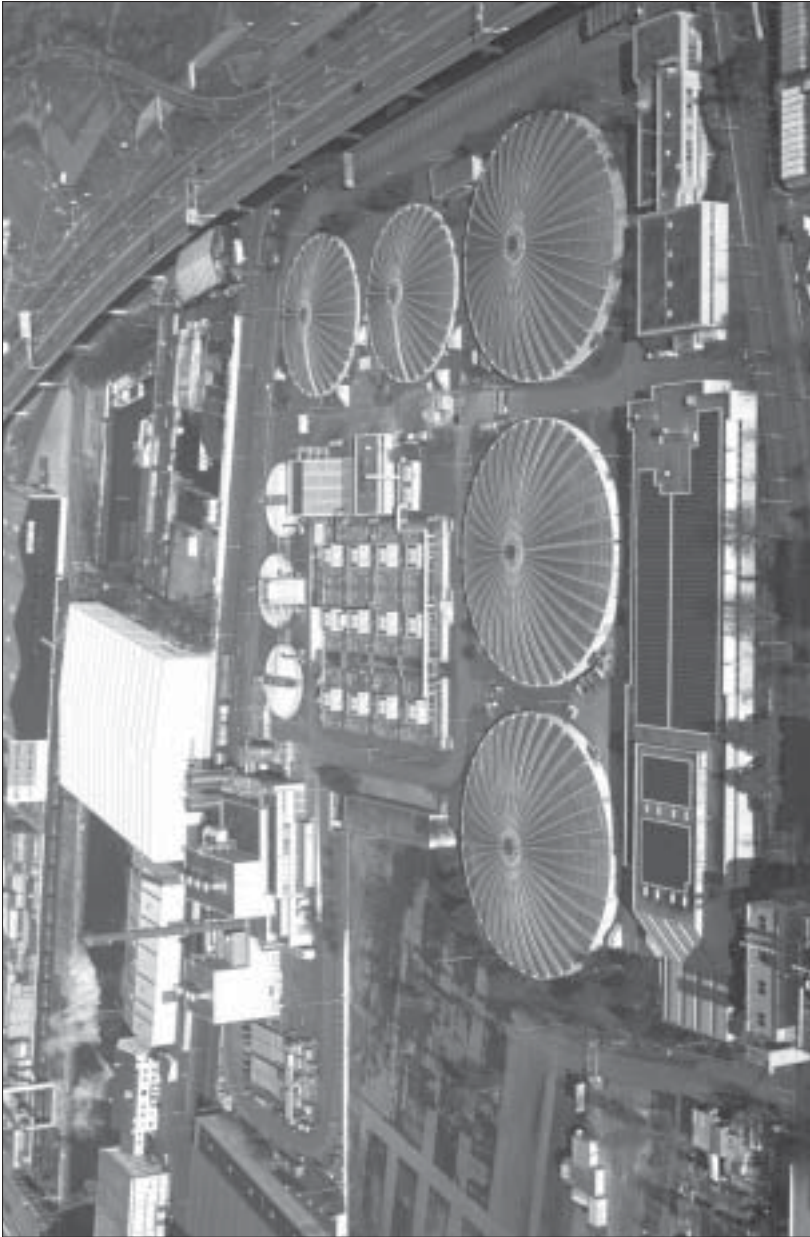
über die beiden bestehenden Notkühler. Die ununterbrochene Verbrennung der anfallenden und angelieferten Schlämme muss soweit gewährleistet sein, dass der Betrieb der beiden ARA sichergestellt bleibt. Die Notkühler geben in diesem Fall die Überschusswärme an die angeschlossenen Rauchgaswäscher ab.

Besondere sicherheits- und regeltechnische Massnahmen mussten getroffen werden, da am Einspeisepunkt der Netzdruck der IWB bei durchschnittlich 14 bar und jener im Thermoöl bei ca. 4 bar zu liegen kam. Ein Eindringen von Wasser in den hochtemperierten Ölkreislauf musste auf alle Fälle verhindert werden. Die Anforderungen an den Netzanschluss sind zudem dadurch gekennzeichnet, dass die Übernahme der gesamten Ofenleistung gewährleistet ist – und dies bei variablem Netzdruck, schwankender Produktion und variablem Verbrauch bei der Wärmeabnahme.

### **Belastungsreserven**

Zur Einspeisung der Schlämme, die von anderen Kläranlagen angeliefert werden, ist eine hinreichend gross dimensionierte Schlamm-Annahmestelle geschaffen worden, die vor einiger Zeit in Betrieb gegangen ist. Bei genügender Versorgung der Verbrennungsöfen mit Schlämmen aus den eigenen Kläranlagen sowie jenen der Umgebung kann die Belastung der Verbrennungsräume selbst noch etwa um 15 % angehoben werden. Damit verbunden ist ein entsprechend grösserer Betrag an verfügbarer Wärme. Einer erhöhten Belastung der Verbrennungsräume sind aber klare Grenzen gesetzt. Sie sind durch das in den Anlagen limitiert verfügbare Volumen an Verbrennungsluft gegeben. Von einer zulässigen Mehrbelastung der Öfen um ca. 10 – 15 % kann aber dennoch ausgegangen werden. Es ergeben sich damit Leistungswerte für die Verbrennung von ca. 70 to TS / d bzw. für die Wasserverdampfung von ca. 210 to / d und eine dementsprechend grössere verfügbare Wärmemenge für die IWB.





*Bildlegende*

**25**



## Nutzung der Luftvorwärmer

Bisher nicht einbezogen in die Nutzung sind die beiden Luftvorwärmer der Öfen 66 und 67, die LUVO 2, die zurzeit noch zur Abgasaufheizung der beiden Kamine dienen. Die Einbindung müsste durch konstruktive Änderungen – z.B. durch zusätzliche Wärmetauscher für das Thermoöl – erfolgen. Ein Mehrertrag von nutzbarer Abwärme wäre damit auch ohne zusätzliche Belastung der Verbrennungsräume erreichbar. Die LUVO übernehmen in der jetzigen Funktion je ca. 500 kW, zusammen damit 1'000 kW aus dem Rauchgas (siehe Bild 3). Ob die beiden Abhitzeessel, die aus den 80er Jahren stammen, neue Einbauten in diesem Bereich ertragen könnten, müsste abgeklärt werden. Zudem wäre die Kapazität des technischen Systems der Wärmeauskopplung entsprechend anzupassen.

Die Erfahrungen des vergangenen Jahres 2004 mit dem Wärmeverbund sind sehr positiv. Die erreichten Daten entsprechen vollauf den Werten, die dem Projekt zugrunde gelegt wurden. Die gesamte aus den drei Öfen abgeführte Wärmemenge bewegte sich nach Angabe der IWB auf beachtlich hohem Niveau.

## Eine Leistung von 3'540 kW

Die Jahresproduktion im 2004 betrug gesamthaft 33'000 MWh. Von diesem Betrag waren für den Eigenverbrauch der ProRhenon für Heizzwecke ca. 2'000 MWh in Abzug zubringen. Damit konnten 31'000 MWh in das Fernwärmenetz übernommen werden. Im Mittel war damit eine Leistung von 3'540 kW erreicht. In diesen Werten sind Stillstandzeiten für Reparatur und Unterhalt der Ofensysteme eingeschlossen. Der nominale und geplante Leistungswert von 5'500 kW wurde dennoch zeitweise um einige Prozent übertroffen.

Nach Angabe der IWB entspricht der Betrag an abgegebener Wärme gesamthaft dem jährlichen Bedarf von ca. 4'000 Wohnungseinheiten<sup>1</sup>.





Die Abgabe von Nutzenergie «nach aussen» kann in Vergleich gesetzt werden zu der für die Verbrennung direkt eingesetzten Menge an Heizöl. Diese war in den Jahren 2003 und 2004 mit einem gemittelten Wert von 3'300 to / Jahr verbucht. Die 31'000 MWh / Jahr an abgegebener Wärme entsprechen rechnerisch einem Heizöleinsatz von ca. 2'700 to / Jahr. Damit konnte im 2004 der rechnerische Verbrauch auf ca. 600 to gesenkt werden, was, bei einer Leistung von 24'500 to TS, dem thermisch bilanzmässigen Verbrauch von 25 kg Heizöl / to TS entspricht.

Im Bild 2 ist dieser Wert mit «Äquivalenzbereich» bezeichnet.

### **Netto-Energieabgabe aus der gesamten Anlage möglich**

Für die Netto-Energieabgabe müssten primär die beiden LUVO 2 der Öfen 66 / 67 mit den dort verfügbaren ca. 1'000 kW einbezogen werden. Sodann wäre die Auslastung der Verbrennungsräume und der gesamten Anlage durch Zufuhr hinreichender Mengen von Fremdschlamm zu gewährleisten.

Der direkte ökologische Aspekt dieser Wärmeverwertung zeigt sich zudem in einer umfassenden CO<sub>2</sub>-Bilanz. Durch diese Wärmeauskopplung und die damit verbundene Nutzung wird eine beachtliche Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses erreicht. Sie betrug mit den realisierten Abgabewerten ca. 6'000 to CO<sub>2</sub> / Jahr.

Die «marktgerechte» Vergütung der Abwärme durch die IWB schlägt auch wirtschaftlich zu Buch. Sowohl die Entgegennahme von Fremdschlamm wie auch die Abgabe von Heizwärme an die IWB ergeben positive Bilanzposten.

Mit den nun realisierten Anlagen ist bei der Schlammverbrennung der ProRhenno AG eine sehr gute Lösung für das jahrelang anstehende Problem einer sinnvollen Nutzung der Abwärme gefunden worden.





