

Zwischenbericht März 2004

ARA Buholz, 6000 Luzern

Betriebsoptimierung BHKW; Fernwärmeleitung RUAG
Aerospace

ausgearbeitet durch
Roland Christen
KWP Energieplan AG
Turbistrasse 14, 6281 Hochdorf

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

1. Zusammenfassung

Für die Kläranlage und Schlammverbrennungsanlage (SVA) Buholz in Luzern wurde eine umfassende Energiestudie ausgearbeitet. Das Ziel dieser Studie bestand darin, ein Konzept auszuarbeiten, wie das auf der grössten Kläranlage der Zentralschweiz produzierte Klärgas möglichst sinnvoll und vollständig verwertet werden kann, und der Energieverbrauch der Anlage optimiert werden kann. Die Studie hat aufgezeigt, dass bei der SVA ein grosses Einsparpotential von Klärgas besteht und gleichzeitig sehr viel Abwärme auf hohem Temperaturniveau anfällt. Auf der Kläranlage wurde festgestellt, dass das bestehende Blockheizkraftwerk (BHKW) nicht optimal betrieben werden konnte. Eine beträchtliche Gasmenge musste abgepackelt werden oder wurde im Heizkessel zur Produktion von Wärmeenergie verbraucht.

Der vorliegende Bericht zeigt die Betriebserfahrungen nach der Realisation des ersten Massnahmenpakets. Im Rahmen des ersten Massnahmenpakets wurde als Sofortmassnahme der Betrieb der SVA auf 3-Schichtbetrieb umgestellt. Durch diese Massnahme konnte Klärgas für den täglichen Aufheizbetrieb eingespart werden. Das eingesparte Gas steht nun zusätzlich für die Produktion von elektrischer Energie im BHKW zur Verfügung.

Zur Optimierung des BHKW-Betriebs wurde ein Wärmespeicher mit 70 m³ Wasserinhalt eingebaut. Dieser Speicher erlaubt es, möglichst viel Strom während der Hochtarifzeit zu produzieren. Zusätzlich kann mit dem Speicher verhindert werden, dass gleichzeitig, oder in kurzen Zeitabständen, die durch das BHKW produzierte Wärmeenergie über ein Notkühlsystem vernichtet werden muss, und ein Teil des Gases im Heizkessel zur Wärmeproduktion verbraucht wird.

Für die Verwertung der sehr grossen Abwärmemengen wurde nach Abnehmern gesucht. Die Firma RUAG Aerospace betreibt in der Nähe der Kläranlage ein Labor mit Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Die bestehende Wärmeerzeugungsanlage, mit einer installierten Leistung von 800 kW, musste auf Grund einer Verfügung des Amtes für Umweltschutz saniert werden. Das Bauprojekt für eine Fernwärmeleitung hat für die ARA als Energielieferanten wie auch für den zukünftigen Bezüger von Fernwärme dank dem Unterstützungsbeitrag des Bundesamtes für Energie ein positives Kosten- Nutzenverhältnis ergeben. Die Fernleitung wurde im Spätherbst 2000 realisiert und versorgt seither die RUAG Aerospace zu 100 % mit Wärme.

In der zweiten Etappe werden Energieeinsparungen bei der Rauchgasreinigung der SVA realisiert. Die SVA ist mit einer Rauchgasreinigung mit katalytischer Entstickung ausgerüstet. Zur Entstickung müssen die Rauchgase mit einem Klärgasbrenner aufgeheizt werden. Im Frühjahr/Sommer 2004 wird in die Rauchgasleitung ein Dampf-Rauchgaswärmetauscher eingebaut. Die Energie für diesen Rauchgaserhitzer wird ab dem Dampfnetz der SVA bezogen. Diese Dampfenergie musste bis jetzt mittels eines Luftkondensators vernichtet werden. Das eingesparte Klärgas (1'550 MWh/Jahr) kann anderweitig genutzt werden.

Für die Nutzung des Klärgases wurden verschiedene Konzepte ausgearbeitet. Aus ökologischen und ökonomischen Überlegungen wurde entschieden eine Klärgasaufbereitungsanlage zu installieren, welche es erlaubt, das Klärgas so aufzubereiten, dass es möglich ist, dieses ins öffentliche Erdgasnetz einzuspeisen. Auch diese Anlage wird im Sommer 2004 installiert damit das in der SVA eingesparte Klärgas verwertet werden kann.

Zur Nutzung des Überschussdampfes aus der SVA wurde in der Studie ein Dampfmotor mit Generator vorgesehen. Weil diese Massnahme ein sehr ungünstiges Kosten- Nutzenverhältnis aufweist, wurde die Realisierung zurückgestellt. Die dampfbezogenen Massnahmen werden nach Realisierung der Biogasaufbereitung noch einmal detailliert untersucht.

Die Erfolgskontrolle für den Zeitraum 2001 bis Ende 2003 hat gezeigt, dass durch die bis jetzt realisierten Massnahmen die jährliche Stromproduktion um 680 MWh erhöht werden konnte. An die RUAG Aerospace konnte jährlich 710 MWh Wärmeenergie geliefert werden. Dies entspricht einer Oeileinsparung von ca. 70'000 Litern pro Jahr. Die in der Studie und im Bauprojekt prognostizierten Einsparungen konnten vollumfänglich erfüllt werden. Als ökologischer Nutzen konnte die Emission von CO₂ um jährlich ca. 600 Tonnen (europäischer Strommix) reduziert werden.

1. Résumé

La station d'épuration et d'incinération des boues (STEPIB) de Buholz à Luzerne a fait l'objet d'une étude énergétique complète. L'objectif de cette étude a consisté à élaborer un concept, qui met en valeur le plus judicieusement et de la façon la plus complète possible, le gaz de digestion produit par la plus grande station d'épuration de Suisse centrale tout en optimisant sa consommation propre d'énergie. L'étude a démontré que la STEPIB disposait d'un grand potentiel d'économie de gaz de digestion lié, entre autres, au fait que le niveau de température utilisé est très élevé. Dans la station d'épuration, on a constaté que le groupe de couplage chaleur force (CCF) ne fonctionnait pas de façon optimale. Une quantité de gaz considérable était brûlée à la torchère ou utilisée dans la chaudière pour produire de l'énergie calorifique.

Le présent rapport décrit les expériences liées à l'exploitation après la réalisation d'un premier ensemble de mesures.

Ce premier ensemble de mesures urgentes de la STEPIB a conduit à exploiter en continu l'unité d'incinération. Le gaz de digestion pour l'allumage quotidien a pu être économisé. Cette mesure a permis d'augmenter la production d'énergie électrique dans le CCF.

Pour optimiser le CCF, un accumulateur thermique de 70 m³ d'eau a été installé. Cet accumulateur permet de produire, autant que faire ce peut, de l'électricité durant les périodes de haut tarif. En plus, grâce à l'accumulation, on empêche que l'énergie calorifique produite en excès ne soit détruite dans un système de refroidissement de secours. Sans cet accumulateur, une partie du gaz devrait être brûlée dans la chaudière.

Pour valoriser les très grandes quantités de chaleur perdue, on a recherché des clients potentiels. L'entreprise RUAG Aérospace possède à proximité de la station d'épuration un laboratoire doté d'un département de développement et de recherche. L'installation de production de chaleur existante dans cette entreprise, d'une puissance installée de 800 kW, devait être assainie sur la base des exigences du service de la protection de l'environnement. C'est ainsi qu'est né le projet de construction d'une conduite de chauffage urbain à distance avec la STEPIB comme fournisseur d'énergie thermique. Grâce au soutien de l'Office fédéral de l'énergie, les coûts du futur chauffage urbain devinrent attractifs. La conduite de chauffage à distance a été réalisée à la fin de l'automne 2000 et fournit désormais 100% des besoins en chauffage à l'entreprise RUAG Aérospace.

Lors de la deuxième étape, des économies d'énergie ont été réalisées au niveau de l'épuration des gaz de combustion des boues. La STEPIB est équipée d'un épurateur de gaz avec catalyseur afin de réduire les émissions de NO_x. Pour optimiser cette réduction, les gaz de combustions doivent être réchauffés à l'aide du gaz de digestion. Au début de l'été 2004, un échangeur de chaleur à vapeur a été installé dans la conduite de gaz de combustion. L'énergie nécessaire au réchauffement de l'échangeur est prélevée sur le réseau de vapeur de la STEPIB. L'énergie contenue dans cette vapeur était jusqu'ici détruite dans un aérocondenseur. Le gaz de digestion ainsi économisé (1'550 MWh/an) peut être dès lors mieux valorisé. A cet effet, différents concepts ont été élaborés. Des réflexions écologiques et économiques ont abouti à l'installation d'une unité de traitement de gaz de digestion qui permette de l'épurer afin de l'injecter dans le réseau public de gaz naturel. Cette unité a également été installée en été 2004 afin de pouvoir valoriser le gaz de digestion économisé par la STEPIB.

Pour utiliser la vapeur excédentaire de la STEPIB, un moteur à vapeur entraînant un générateur a été prévu dans l'étude. Cette mesure comportant moins d'avantages financiers, sa réalisation a été reportée. Elle sera encore examinée en détail après la réalisation de l'unité de traitement du gaz de digestion.

L'évaluation des performances pour la période 2001 à fin 2003 a montré que, par les mesures réalisées jusqu'à présent, l'augmentation de la production d'électricité annuelle était de 680 MWh. De plus, ce sont 710 MWh d'énergie thermique qui sont livrés chaque année à l'entreprise RUAG Aérospace. Cela correspond à une économie d'environ 70'000 litres par année d'équivalent mazout. Les économies définies dans l'étude et dans le projet de construction ont été parfaitement atteintes. D'un point de vue écologique, les émissions de CO₂ (selon le mix de courant européen) sont ainsi réduites d'environ 600 tonnes par année.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
2. Anlagebeschrieb	4
2.1 Ursprünglicher Zustand	4
2.2 Beschrieb Energieoptimierungen	4
2.2.1 Massnahmen Paket 1	4
2.2.2 Massnahmen Paket 2	5
2.2.3 Massnahmen Paket 3	5
2.2.4 Leistungen	5
3. Ausgangslage / Aufgabenstellung Erfolgskontrolle	6
4. Erfolgskontrolle Massnahmenpaket 1	6
4.1 Kurzbeschrieb der Massnahmen	6
4.1.1 Betriebsoptimierung BHKW	6
4.1.2 Fernwärme RUAG Aerospace Forschung	6
4.2 Erfolgskontrolle	6
4.2.1 Messkonzept	6
4.2.2 Betriebsoptimierung BHKW	7
4.2.3 Fernwärmelieferung an RUAG Aerospace	7
4.2.4 Vergleich Energiebilanzen, Fehlerbetrachtung	8
4.2.5 Ökologische Wirkung	8
5. Realisierung Paket 2 und 3	9
5.1 Paket 2 Einbau neuer Oelheizkessel und zusätzliches BHKW	9
5.1.1 Einbau neuer Oelheizkessel	9
5.1.2 Zusätzliches BHKW	9
5.2 Paket 3 Umbau Denox SVA und Einbau Dampfmotor	9
5.2.1 Umbau Denox SVA	9
5.2.2 Dampfmotor	9
6. Schlussfolgerungen	10
7. Anhang	10

2. Anlagebeschrieb

2.1 Ursprünglicher Zustand

In Kläranlagen wird im Faulturm aus dem Klärschlamm Klärgas gewonnen. Dieses Klärgas weist einen hohen Energieinhalt auf und soll möglichst sinnvoll genutzt werden. Auf der Kläranlage Buholz, Luzern wird dieses Klärgas einerseits in der Schlammverbrennungsanlage (SVA) und in der Kläranlage (ARA) eingesetzt.

Das Klärgas wird, um Produktionsschwankungen auszugleichen, in einem Gasspeicher zwischengespeichert. Von hier wird das Klärgas über ein Leitungssystem zu den verschiedenen Verbrauchern gefördert.

In der SVA wird das Klärgas für das Anfahren des Schlammverbrennungsprozesses eingesetzt. Hat die Verbrennungsanlage die normale Verbrennungstemperatur erreicht, ist das weitere Verfeuern von Klärgas für den Unterhalt des Verbrennungsprozesses nur noch in Ausnahmefällen notwendig.

Um die Luftreinhaltevorschriften einhalten zu können wurde die SVA mit einer Rauchgasreinigung ausgerüstet. Diese besteht aus einem Elektrostaubfilter, einer zweistufigen Wäscheranlage und, zur Stickoxydreduzierung, einer katalytischen Entstickungsanlage (SCR-Katalysator). Für diesen SCR müssen die Rauchgase auf ca. 300 °C aufgeheizt werden. Dies wird mit einem Klärgasbrenner bewerkstelligt, welcher die Rauchgase direkt aufheizt.

Das nicht auf der SVA verbrauchte Klärgas wird auf der ARA in erster Linie für den Betrieb eines Blockheizkraftwerkes zur Produktion von elektrischer Energie genutzt. Nur wenn die Abwärmeproduktion des BHKW's nicht ausreicht um den Wärmeenergiebedarf decken zu können wird ein Gasheizkessel bedarfsabhängig zugeschaltet. Im Notfall, wenn zu wenig Klärgas produziert wird, kann mit einem Oelheizkessel die für den Betrieb erforderliche Wärmeenergie produziert werden.

2.2 Beschrieb Energieoptimierungen

Die Ergebnisse einer energetischen Feinanalyse der ARA und der SVA haben aufgezeigt, dass in der Schlammverbrennungsanlage ein grosses Sparpotential beim Gasverbrauch und sehr grosse Abwärmemengen auf hohem Temperaturniveau (Prozessdampf) vorhanden sind. Auf der ARA fällt in erster Linie in der Übergangszeit und im Sommer Überschusswärme durch den Betrieb des BHKW an.

2.2.1 Massnahmen Paket 1

Durch die Umstellung des Betriebsregimes der SVA auf Schichtbetrieb konnten die Anfah- und Ausfahrverluste bedeutend reduziert werden. Diese Umstellung ist als Sofortmassnahme bereits realisiert worden.

Die Betriebserfahrungen mit der bestehenden BHKW-Anlage hatten gezeigt, dass ein optimaler Betrieb ohne Pufferspeicher nicht möglich ist. Das BHKW wurde oft auf Notkühlbetrieb umgeschaltet, während fast gleichzeitig Zusatzwärme mit dem Gasheizkessel erzeugt werden musste. Um den Betrieb des BHKW besser in den Griff zu bekommen wurde ein Pufferspeicher mit einem Volumen von 70 m³ eingebaut. Dieser erlaubt ein besseres Wärmemanagement und die Verlagerung der Stromproduktion in erster Linie in die Hochtarifzeit. Das durch die Umstellung der SVA auf Schichtbetrieb eingesparte Gas soll möglichst vollständig im BHKW zur Stromproduktion genutzt werden. Die Eigenproduktion von elektrischer Energie soll gesteigert werden.

Das BHKW wird in Betrieb gesetzt sobald im Gasometer genügend Gas vorhanden ist. Nun wird allfällige Überschusswärme in den Heizungsspeicher abgegeben. Ist der Wärmebedarf der Kläranlage und der Fernleitung zur RUAG grösser als die Wärmeproduktion des BHKW wird die Wärme aus dem Speicher bezogen. Erst wenn der Speicher entladen ist, wird der Gasheizkessel, oder im Extremfall der Oelheizkessel zugeschaltet. Die Kessel sind jedoch nur solange in Betrieb bis der oberste Bereich des Speichers wieder aufgeladen ist. Der grösste Teil des Speichervolumens bleibt immer für die Wärmeproduktion des BHKW reserviert.

Für die Verwertung der sehr grossen Abwärmemengen wurde nach Abnehmern gesucht. Die Firma RUAG Aerospace betreibt in der Nähe der Kläranlage ein Labor mit Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Die bestehende Wärmeerzeugungsanlage, mit einer installierten Leistung von 800 kW, hätte auf Grund einer Verfügung des Amtes für Umweltschutz saniert werden müssen. An Stelle dem Ersatz dieser Wärmeerzeugung wurde eine Fernleitung zum Gelände der RUAG gebaut. Die Wärme wird ab dem Heizungsspeicher bezogen und mit einer drehzahlgeregelten Umwälzpumpe zur RUAG gefördert. In der RUAG wurde eine Wärmeübergabestation mit einem Plattentaucher zur Systemtrennung, einer bedarfsabhängigen Vorregulierung und eine Wärmemessung installiert. Ab dieser Wärmeübergabestation werden alle Wärmeverbraucher der RUAG erschlossen.

2.2.2 Massnahmen Paket 2

Um allfällig erforderliche Zusatzwärme möglichst wirtschaftlich erzeugen zu können wurde der alte Oelheizkessel durch einen modernen Heizkessel mit neuem Brenner ersetzt. Der Oelheizkessel wird nur zugeschaltet wenn für die Wärmeproduktion zu wenig Klärgas zur Verfügung steht.

Das im ersten Massnahmepaket, sowie das durch die geplanten Massnahmen in der SVA eingesparte Klärgas wird einerseits im bestehenden BHKW zur Strom- und Wärmeproduktion genutzt. Im Sommer, bei relativ bescheidenem Wärmebedarf wird ein Teil des Klärgases ins öffentliche Erdgasnetz eingespeist. Zu diesem Zweck wird eine Biogasaufbereitungsanlage installiert. Mit dieser Anlage wird die Qualität des Klärgases so verbessert, dass das Klärgas die gleiche Qualität wie das Erdgas aufweist. Das Klärgas wird über eine neu erstellte Anschlussleitung ins Netz gefördert. Der zeitliche Ablauf ist so geplant, dass die Biogasaufbereitungsanlage in Betrieb ist wenn die Optimierungsmassnahmen bei der SVA realisiert sind.

2.2.3 Massnahmen Paket 3

Die Auswertung der Betriebsdaten der SVA zeigte auf, dass der Betrieb des SCR-Katalysators nur während ca. 70 Betriebsstunden pro Jahr notwendig ist. Die übrige Zeit müssten die Rauchgase zur Trocknung nur auf ca. 145 °C an Stelle von 305 °C aufgeheizt werden. Die Erhitzung der Rauchgase auf 145 °C kann mittels dem im Verbrennungsofen erzeugten Dampf bewerkstelligt werden. Dieser Dampf wird zur Trocknung des Klärschlammes verwendet. Die Dampfproduktion ist jedoch so gross, dass im Jahr ca. 4'900 MWh über einen Luftkondensator vernichtet werden müssen. Neu wird in die Rauchgasleitung nach den Wäschern ein Rauchgaserhitzer eingebaut. Im Normalfall werden nun hier die Rauchgase auf 145 °C erhitzt. Die Rauchgase gelangen nun durch die beiden WRG-Wärmetauscher und die Entstickungsanlage ohne dass NH₃ eingedüst wird und der Denox-Brenner in Betrieb ist. Nur wenn die Stickoxydkonzentration in den Rauchgasen über den Grenzwert ansteigt, wird die Entstickungsanlage und der Denox-Brenner in Betrieb gesetzt. Durch diese Massnahme können ca. 1'550 MWh Klärgas eingespart werden. Das eingesparte Klärgas wird in einer Gasaufbereitungsanlage zur Einspeisung ins öffentliche Erdgasnetz aufbereitet und über eine neue Erschliessungsleitung eingespeist.

Der Dampfkessel der SVA produziert Dampf auf einem Druckniveau von 10 bar. Sämtliche Verbraucher benötigen jedoch Dampf auf einem Druckniveau von 3.0 bar. Mit einem Dampfmotor soll, anstelle des Druckreduzierventils, der Dampf von 10 bar auf 3 bar entspannt werden. Durch die Realisation dieser Massnahme können jährlich ca. 2'570 MWh Strom produziert werden.

2.2.4 Leistungen

Die wichtigsten auf der SVA und der Kläranlage installierten Aggregate verfügen über folgende Leistungen:

Schlammverbrennungsanlage:

Dampfheizkessel SVA	kW	2510
Dampf-Notkondensator	kW	2510
Denox-Brenner	kW	720
Neuer Rauchgaserhitzer mit Dampf	kW	315

Kläranlage:

Brennstoffleistung BHKW	kW	1340
Elektrische Leistung BHKW	kW	475
Nutzwärmeleistung BHKW	kW	735
Not-Heizkessel Klärgas	kW	1100
Not-Heizkessel Oel	kW	935
Wärmeübergabestation RUAG	kW	400

3. Ausgangslage / Aufgabenstellung Erfolgskontrolle

Für das Projekt der energetischen Optimierungen für die Kläranlage (ARA) und Schlammverbrennungsanlage (SVA) Buholz, Luzern, wurde am 5. September 2000 ein Subventionsgesuch an das Bundesamt für Energie eingereicht. Am 15. Mai 2001 wurde mit einer Verfügung mitgeteilt, dass für das Projekt eine Finanzhilfe an die nicht amortisierbaren Mehrkosten ausgerichtet wird. Die Entrichtung der Finanzhilfe ist jedoch an die Bedingung geknüpft, dass eine Erfolgskontrolle durchgeführt wird und diese an das Bundesamt für Energie eingereicht wird.

Nachdem die Massnahmen des Paketes 1 ausgeführt worden sind soll eine Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Aus dieser Erfolgskontrolle soll ersichtlich sein, ob die Zielwerte erreicht werden oder eventuelle Optimierungen eingeleitet werden müssen.

4. Erfolgskontrolle Massnahmenpaket 1

4.1 Kurzbeschreibung der Massnahmen

4.1.1 Betriebsoptimierung BHKW

Die Betriebserfahrungen mit der bestehenden Anlage hatten gezeigt, dass ein optimaler Betrieb des BHKW's ohne Pufferspeicher nicht möglich ist. Das BHKW wurde oft auf Notkühlbetrieb umgeschaltet, während fast gleichzeitig Zusatzwärme mit dem Gasheizkessel erzeugt werden musste. Um den Betrieb des BHKW besser in den Griff zu bekommen wurde ein Pufferspeicher eingebaut. Das durch die Umstellung der SVA auf Schichtbetrieb eingesparte Gas soll möglichst vollständig im BHKW zur Stromproduktion genutzt werden. Die Eigenproduktion von elektrischer Energie soll gesteigert werden.

4.1.2 Fernwärme RUAG Aerospace Forschung

Die Überschusswärme des BHKW wird als Fernwärme an das Forschungslabor der RUAG Aerospace (ehemals SF Emmen) geliefert. Zu diesem Zweck wurde eine Fernleitung zur bestehenden Heizzentrale gebaut. Die bestehende Wärmeerzeugung der RUAG wurde demontiert. Der Verbrauch von fossiler Energie soll reduziert werden.

4.2 Erfolgskontrolle

Die Massnahmen des Paketes 1 wurden im Herbst 2000 realisiert und ab 1. Januar 2001 in Betrieb gesetzt. Nach einer Übergangszeit von 2 Monaten wurde die Wärmeerzeugung der RUAG demontiert. Ab diesem Zeitpunkt wird die gesamte Wärmeenergie der Forschung RUAG durch Abwärme der ARA gedeckt. Ab dem 1. Januar 2001 wurden die Daten durch das Personal der ARA aufgezeichnet. Die nachfolgende Zusammenfassung gibt einen Überblick über die erreichten Resultate. Die detaillierten Messdaten sind in den beigelegten Tabellen aufbereitet und in Form eines Energieflussdiagramms zusammengefasst.

4.2.1 Messkonzept

Zur Überprüfung der Massnahmen sind folgende Messvorrichtungen, welche zum Teil bereits vorhanden waren und zum Teil neu installiert wurden, ausgewertet:

- Gasproduktionsmessung
- Gasverbrauchsmessung SVA
- Gasverbrauchsmessung ARA Gasheizkessel
- Gasverbrauchsmessung ARA BHKW
- Gasverbrauchsmessung Gasfackel

Alle Gaszähler messen Betriebskubikmeter, die Umrechnung auf Normkubikmeter erfolgte durch das ARA Personal. In den Monatstabellen der ARA wurden Normkubikmeter eingetragen.

- Oelzähler Oelheizkessel in Liter
- Strommessung Stromproduktion BHKW in kWh
- Wärmemessung Fernwärme an RUAG Aerospace in MWh

4.2.2 Betriebsoptimierung BHKW

Tabelle Energiebilanz Gasproduktion und Gasverwertung

	Ausgangs-Zustand vor Massnahmen [MWh]	Prognose Bau- projekt Paket 1 [MWh]	Eff. Messungen Durchschnitt 2001 bis 2003 [MWh]
Produktion Klärgas	11'100	11'100	12'030
Klärgas auf Fackel	380	220	1'260
Klärgas auf Anfahr-Stützbrenner SVA	960	560	480
Klärgas auf Denox-Anlage (SCR) SVA	1600	1600	1600
Klärgas zur Verfügung ARA	8'160	8'720	8'690
Stromproduktion BHKW	2'230	2'940	2'910

Die gesamte Klärgasproduktion ist in den letzten zwei Jahren um ca. 930 MWh gestiegen. Zusätzlich konnte, durch die Optimierung des Schichtbetriebes der SVA, der Klärgasverbrauch des Anfahr- und Stützbrenners um ca. 480 MWh reduziert werden. Trotzdem konnte die Klärgasmenge, welche auf der ARA verwertet wird, nur um ca. 530 MWh erhöht werden. Das restliche Klärgas musste mit der Gasfackel vernichtet werden. Aus diesem Grund hat sich die abgefackelte Klärgasmenge um ca. 880 MWh erhöht. Der Grund dafür liegt in der Verfügbarkeit des BHKW. Einerseits kann, bedingt durch die Leistung des BHKW, der Gasverbrauch pro Stunde nicht erhöht werden. Zusätzlich muss jedes BHKW regelmässig gewartet werden und geht ab und zu auf Störung. Während diesen Zeiten muss das Klärgas abgefackelt werden. Eine Verbesserung dieser Situation ist erst möglich wenn eine zweite Gasverwertungsanlage zur Verfügung steht.

Trotzdem konnte die durchschnittliche Stromproduktion um ca. 680 MWh pro Jahr erhöht werden. Der prognostizierte Wert wurde nur um ca. 1.0 % verfehlt.

4.2.3 Fernwärmelieferung an RUAG Aerospace

Tabelle Fernwärmelieferung und Oelverbrauch

	Ausgangs-Zustand vor Massnahmen [MWh]	Prognose Bau- projekt Paket 1 [MWh]	Eff. Messungen Durchschnitt 2001 bis 2003 [MWh]
Oelverbrauch ARA	0	680	160
Oelverbrauch RUAG	800	0	0
Fernwärmelieferung an RUAG	0	650	710

Nach einer zweimonatigen Übergangsphase nach der Inbetriebnahme der Fernwärmeleitung wurde die Wärmeerzeugung der RUAG Aerospace stillgelegt und anschliessend demontiert. Der Wärmebedarf der RUAG konnte mit bedeutend geringerem Einsatz von Oel abgedeckt werden als im Bauprojekt prognostiziert. Einerseits liegt dies an der grösseren Gasproduktion, aber auch am Betriebsregime des BHKW. Die eingesparte Oelmenge beträgt nun, nach der Realisierung des Paktes 1, effektiv 640 MWh pro Jahr und liegt bereits über dem Wert welcher nach der Realisation sämtlicher Massnahmen erwartet wurde.

4.2.4 Vergleich Energiebilanzen, Fehlerbetrachtung

Die Tabelle „Vergleich Energiebilanzen“ vergleicht einerseits die Bilanzen der verschiedenen Jahre mit den Ist- und Prognosewerten. Der eigentliche Zweck der Tabelle besteht jedoch darin, die Produktionsdaten und Verbrauchsdaten zu bilanzieren. Der gesamte Energieverbrauch sollte sich mit der Energieproduktion decken. Wie die Tabelle zeigt, bestehen hier Fehler zwischen 394 und 755 MWh pro Jahr. Dieser Fehler bewegt sich, bezogen auf den Gesamtenergieverbrauch, zwischen 4.11 und 8.01 % und ist durch verschiedene Messfehler zu erklären. Vor allem die Gasmessungen und die anschliessende Umrechnung auf Normkubikmeter ist mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Damit beim Energieflussdiagramm der Erfolgskontrolle 2001 bis 2003 auf der Verbrauchsseite kein höherer Wert als auf der Produktionsseite entsteht wurde der Wärmeverbrauch der ARA um den Betrag korrigiert. Im Sinn einer möglichst grossen Transparenz der Erfolgskontrolle wurden die Werte der Tabellen aber nicht korrigiert.

4.2.5 Ökologische Wirkung

Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die ökologische Wirksamkeit der bis jetzt realisierten Massnahmen.

Massnahme		Ausgangs-Zustand vor Massnahmen	Effektive Messungen Durchschnitt 2001 bis 2003
Elektrische Energie:			
Strombezug vom Netz	kWh/a	4'510'000	
Einsparung Strombezug durch Erhöhung Eigenproduktion	kWh/a		680'000
	TJ/a	16.24	2.45
CO ₂ -Emission pro TJ Nutzenergie Elektrizität	to/TJ	153	153
CO ₂ -Emission verursacht durch ext. Strombezug (europäischer Strommix)	Tonnen/a	2'485	
Verminderung CO₂-Emission durch Erhöhung Eigenstromerzeugung	Tonnen/a		375
Oelverbrauch ARA und SF Emmen	kg/a	70'000	13'500
	TJ/a	3.0	0.58
CO ₂ -Emission pro TJ Nutzenergie Wärme	to/TJ	96	96
CO ₂ -Emission verursacht durch Wärmeproduktion	Tonnen/a	288	56
Verminderung CO₂-Emission durch Heizeinsparung	Tonnen/a		232
Total Verminderung CO₂-Emission	Tonnen/a		607
Total Verminderung CO₂-Emission	%		21.89

5. Realisierung Paket 2 und 3

5.1 Paket 2 Einbau neuer Oelheizkessel und zusätzliches BHKW

5.1.1 Einbau neuer Oelheizkessel

Der neue Oelheizkessel ist im Rahmen der Gesamterneuerung der ARA 2010 im Jahr 2001 ersetzt worden und steht seither für die Zusatzwärmeproduktion zur Verfügung. Damit ist sichergestellt, dass die mit Heizöl erzeugte Wärmeenergie mit einem Heizkessel, welcher dem neuesten Stand der Technik entspricht, erzeugt wird.

5.1.2 Zusätzliches BHKW

Im Massnahmenplan wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass in der zweiten Hälfte 2001 ein zusätzliches BHKW installiert wird. Dieses BHKW ist nicht installiert worden. Verschiedene Zusatzabklärungen haben aufgezeigt, dass es ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist, das überschüssige Gas in das öffentliche Erdgasnetz einzuspeisen. Eine durch den Gemeindeverband für Abwasserreinigung in Auftrag gegebene Studie zur Ökobilanz der Klärgasnutzung an die Firma Swiss TS AG, Thun, erhärtete die ersten Vergleiche. Aus diesem Grund wurde das Ingenieurteam ARA 2010 mit der Ausarbeitung eines Bauprojektes für eine Biogasaufbereitungsanlage beauftragt.

Dieses Bauprojekt ist am 06. November 2003 vorgelegen. In der Zwischenzeit sind die Verträge zur Einspeisung des aufbereiteten Gases ins öffentliche Netz ausgearbeitet worden. Die Biogasaufbereitungsanlage ist definitiv bestellt, wird im Frühsommer 2004 erstellt und geht im August 2004 in Betrieb. Es wird davon ausgegangen, dass mit dieser Anlage in Zukunft ca. 3'475 MWh pro Jahr in Form von Biogas ins öffentliche Erdgasnetz eingespeist werden können. Dies gegenüber einer zusätzlichen Stromproduktion von ca. 1'100 MWh pro Jahr mit einem zusätzlichen BHKW. Die Abwärme des BHKW hätte zum grössten Teil über einen Notkühler vernichtet werden müssen, da bereits zum heutigen Zeitpunkt Überschusswärme produziert wird.

Mit der Installation der Biogasaufbereitungsanlage wird es in Zukunft möglich sein, die abgepackelte Gasmenge auf den im Bauprojekt prognostizierten Wert von ca. 220 MWh pro Jahr zu reduzieren (siehe auch Erläuterungen in Pos. 3.2.1).

Die Erfolgskontrolle, welche für das zusätzliche BHKW ausgearbeitet worden wäre, wird sinngemäss für die Biogasaufbereitungsanlage durchgeführt.

5.2 Paket 3 Umbau Denox SVA und Einbau Dampfmotor

5.2.1 Umbau Denox SVA

Die Planung für den Umbau der Denox-Anlage ist abgeschlossen. Die einzelnen Anlageteile sind ausgeschrieben worden und die Aufträge sind in der Zwischenzeit erteilt worden. Die Installationen erfolgen während der nächsten Revision der SVA vom 23. Februar bis 02. April 2004. Damit ist sichergestellt, dass das mit dieser Massnahme eingesparte Klärgas zum Zeitpunkt der Inbetriebsetzung der Biogasaufbereitungsanlage zur Nutzung zur Verfügung steht. Es wird davon ausgegangen, dass mit dieser Massnahme ca. 1'200 MWh Klärgas pro Jahr eingespart werden können.

5.2.2 Dampfmotor

Zusammen mit dem Umbau der Denox-Anlage wurde für den Einbau des Dampfmotors im September 2002 ein Vorprojekt ausgearbeitet.

Die genaueren Berechnungen im Vorprojekt haben ein sehr ungünstiges Kosten- Nutzenverhältnis ergeben. Bei Investitionskosten von ca. Fr. 830'000.00 haben sich Jahreskosten für Kapitaldienst, Unterhalt und Wartung von Fr. 87'150.00 ergeben. Diesen Jahreskosten steht ein jährlicher Ertrag von 45'331.00 entgegen. Bei einer Amortisationszeit von 15 Jahren ergibt dies allein für diese Massnahme nicht amortisierbare Mehrkosten von Fr. 459'540.00. Aus diesem Grund wurde der Einbau eines Dampfmotors vorläufig zurückgestellt. Nach der Realisation aller übrigen Massnahmen wird dieser Projektteil noch einmal detailliert untersucht und zu einem späteren Zeitpunkt realisiert.

6. Schlussfolgerungen

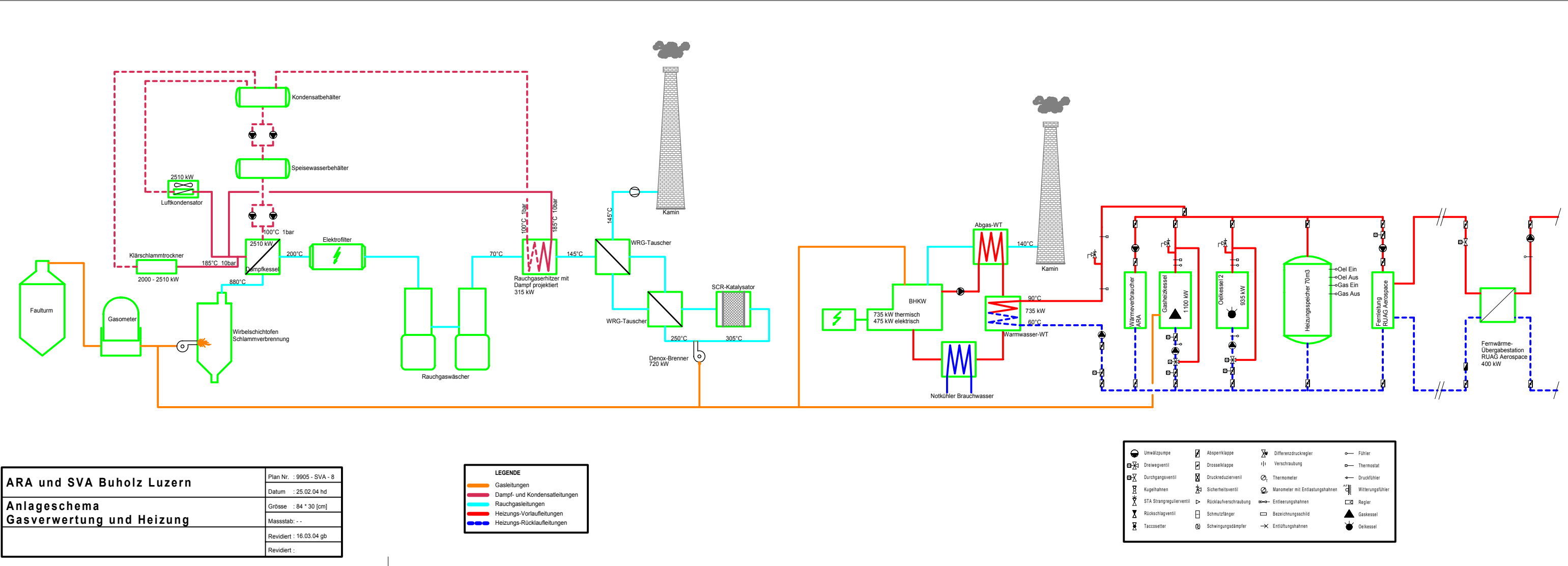
Die im Bauprojekt sowie im Subventionsgesuch prognostizierte Einsparung an Oel wurde übertroffen. Die eingesparte Menge beträgt effektiv 640 MWh pro Jahr und liegt bereits über dem Wert welcher nach Realisation sämtlicher Massnahmen erwartet wurde.

Die Mehrproduktion von Strom konnte nicht ganz erreicht werden. Nach der Realisierung der Biogasaufbereitungsanlage kann jedoch zweifelsfrei davon ausgegangen werden, dass der ökologische Nutzen der Massnahmen erreicht, bezw. übertroffen wird.

Ein nächster Zwischenbericht über die realisierten Massnahmen wird per 31. Dezember 2004 erstellt.

7. Anhang

- Tabelle Energieproduktion und Verbrauch Ausgangs-Zustand vor Massnahmen
- Tabelle Energieproduktion und Verbrauch Prognosewerte Bauprojekt Paket 1, Übergangsbetrieb vor Umbau Denox SVA
- Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2001
- Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2002
- Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2003
- Tabelle Vergleich Energiebilanzen
- Energieflussdiagramm Ausgangs-Zustand vor Massnahmen
- Energieflussdiagramm Prognosewerte Bauprojekt Paket 1, Übergangsbetrieb vor Umbau Denox SVA
- Energieflussdiagramm Erfolgskontrolle effektive Messungen 2001 bis 2003
- Anlageschema



ARA Buholz, Luzern

Tabelle Energieproduktion und Verbrauch Ausgangs-Zustand vor Massnahmen

Grundlagen:

Durchschnittliche monatliche Frischschlammmenge 10507 m3
mittlere Faulraumtemperatur 34 °C
Zulauftemperaturen 9-18.4 °C
Gasmenge zur Verfügung BHKW und Heizung mittlere Werte Jahresrapporte 1997/98 eingesetzt
Heizwert Klärgas HuN 6.18 kWh/Nm3
Wirkungsgrad BHKW thermisch 56 %
Wirkungsgrad BHKW elektrisch 34.5 %
Wirkungsgrad Heizkessel 90 %

	Gas zur Verf. ARA kWh	Gas zur Verf. BHKW kWh	BHKW verl. kWh	BHKW therm. kWh	BHKW el. kWh	Verluste Heizkessel kWh	Nutzwärme Kessel kWh	Wärme Prod. Tot. kWh	Wärmeverbr. Frischschl. kWh	Wärmeverbr. Faulturm kWh	Wärmeverbr. Betr. Geb. kWh	Wärmeverbr. Lüftungen kWh	Wärmeverbr. Lüft. VED/NED kWh	Verteil- verluste kWh	Wärmeverbr. Total kWh	Ueberschuss- Wärme kWh
Januar	781'000	520'300	49'400	291'400	179'500	24'100	236'600	528'000	287'300	46'200	42'900	76'700	10'700	24'700	488'500	39'500
Februar	747'500	506'400	48'100	283'600	174'700	22'400	218'700	502'300	287'300	44'700	35'400	59'800	9'600	23'300	460'100	42'200
März	818'700	672'000	63'900	376'300	231'800	13'700	133'000	509'300	269'800	42'700	33'600	52'900	8'200	21'800	429'000	80'300
April	819'800	708'500	67'300	396'800	244'400	10'300	101'000	497'800	258'000	39'300	21'700	28'600	5'700	19'100	372'400	125'400
Mai	754'100	655'900	62'300	367'300	226'300	9'500	88'700	456'000	234'600	36'800	12'800	0	3'900	15'800	303'900	152'100
Juni	513'500	347'000	33'000	194'300	119'700	16'100	150'400	344'700	195'800	34'200	0	0	2'000	12'900	244'900	99'800
Juli	461'600	384'500	36'500	215'300	132'700	7'500	69'600	284'900	194'700	32'900	0	0	1'100	12'700	241'400	43'500
August	559'500	501'800	47'700	281'000	173'100	5'600	52'100	333'100	183'000	33'700	0	0	1'600	12'200	230'500	102'600
September	575'700	514'300	48'900	288'000	177'400	5'900	55'500	343'500	201'700	35'300	0	0	2'800	13'300	253'100	90'400
Oktober	663'400	567'400	53'900	317'700	195'800	9'300	86'700	404'400	229'900	38'700	20'100	25'200	5'200	17'300	336'400	68'000
November	767'800	668'900	63'500	374'600	230'800	9'600	89'300	463'900	249'800	42'400	31'800	49'300	8'000	20'600	401'900	62'000
Dezember	697'400	416'800	39'600	233'400	143'800	26'000	254'600	488'000	279'200	45'000	41'900	68'600	9'800	23'700	468'200	19'800
Total	8'160'000	6'463'800	614'100	3'619'700	2'230'000	160'000	1'536'200	5'155'900	2'871'100	471'900	240'200	361'100	68'600	217'400	4'230'300	925'600

Kein Ölverbrauch

ARA Buholz, Luzern

Tabelle Energieproduktion und Verbrauch Prognose Bauprojekt Paket 1 Übergangsbetrieb vor Umbau Denox SVA

Grundlagen:

Durchschnittliche monatliche Frischschlammmenge	10507 m3
mittlere Faulraumtemperatur	34 °C
Zulauftemperaturen	9-18.4 °C
Gasmenge zur Verfügung BHKW und Heizung	8'720 MWh/a
Heizwert Klärgas HuN	6.18 kWh/Nm3
Wirkungsgrad BHKW thermisch	56 %
Wirkungsgrad BHKW elektrisch	34.5 %
Wirkungsgrad Heizkessel	90 %

	Gas zur Verf. ARA kWh	Gas zur Verf. BHKW kWh	BHKW verl. kWh	BHKW therm. kWh	BHKW el. kWh	Verl. Heizk. Gas kWh	Nutzw. Heizk. Gas kWh	Verl. Heizk. Oel kWh	Nutzw. Heizk. Oel kWh	Wärme Prod. Tot. kWh	Wärmeverbr. ARA Total kWh	Fernwärme SF kWh	Überschuss- Wärme kWh
Januar	743'100	693'600	65'900	388'400	239'300	4'500	45'000	17'100	172'600	606'000	488'500	117'500	0
Februar	742'600	698'600	66'400	391'200	241'000	4'000	40'000	12'300	124'100	555'300	460'100	95'200	0
März	741'600	708'600	67'300	396'800	244'500	3'000	30'000	9'100	91'800	518'600	429'000	89'600	0
April	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	2'600	25'800	426'400	372'400	54'000	0
Mai	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	303'900	27'200	69'500
Juni	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	244'900	7'800	147'900
Juli	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	241'400	0	159'200
August	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	230'500	0	170'100
September	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	253'100	12'100	135'400
Oktober	715'300	715'300	67'900	400'600	246'800	0	0	0	0	400'600	336'400	49'100	15'100
November	741'100	713'600	67'800	399'600	246'200	2'500	25'000	6'100	61'500	486'100	401'900	84'200	0
Dezember	742'600	698'600	66'400	391'200	241'000	4'000	40'000	15'000	151'700	582'900	468'200	114'700	0
Total	8'718'100	8'520'100	809'100	4'771'400	2'939'600	18'000	180'000	62'200	627'500	5'578'900	4'230'300	651'400	697'200

Oelverbrauch Übergangsbetrieb vor Umbau Denox

68970 Liter

ARA Buholz, Luzern

Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2001

Grundlagen:

Durchschnittliche monatliche Frischschlammmenge	10507 m3
mittlere Faulraumtemperatur	34 °C
Zulauftemperaturen	9-18.4 °C
Gasmenge zur Verfügung BHKW und Heizung	Werte Jahresrapport 2001 eingesetzt
Heizwert Klärgas HuN	6.18 kWh/Nm3
Wirkungsgrad BHKW thermisch	56 %
Wirkungsgrad BHKW elektrisch	34.5 %
Wirkungsgrad Heizkessel	90 %

	Gas zur Verf. ARA kWh	Gas zur Verf. BHKW kWh	BHKW verl. kWh	BHKW therm. kWh	Verl. Heizk. Gas kWh	Nutzw. Heizk. Gas kWh	Verl. Heizk. Oel kWh	Nutzw. Heizk. Oel kWh	Wärme Prod. Tot. kWh	Wärmeverbr. ARA Total kWh	Fernwärme SF kWh	Ueberschuss- Wärme kWh
Januar	766'500	578'100	54'900	323'700	17'000	171'400	900	8'100	503'200	488'500	0	14'700
Februar	777'200	733'200	69'700	410'600	4'000	40'000	500	4'500	455'100	460'100	70'000	
März	768'000	715'300	68'000	400'600	4'700	48'000	500	4'500	453'100	429'000	66'000	
April	690'300	630'800	59'900	353'200	5'300	54'100	0	0	407'300	372'400	14'200	
Mai	833'800	822'300	78'100	460'500	1'000	10'400	500	4'500	475'400	303'900	6'300	165'200
Juni	485'400	370'500	35'200	207'500	10'300	104'600	0	0	312'100	244'900	0	67'200
Juli	653'800	616'000	58'500	345'000	3'400	34'500	1'500	13'500	393'000	241'400	0	151'600
August	599'700	532'700	50'600	298'300	6'000	61'000	0	0	359'300	230'500	0	128'800
September	616'700	554'700	52'700	310'600	5'600	56'400	0	0	367'000	253'100	12'300	101'600
Oktober	680'300	630'900	59'900	353'300	4'400	45'000	0	0	398'300	336'400	50'700	11'200
November	680'700	416'300	39'500	233'100	23'800	240'500	1'260	11'100	484'700	401'900	105'200	
Dezember	889'100	675'200	64'100	378'100	19'200	194'600	0	0	572'700	468'200	140'200	
Total	8'441'500	7'276'000	691'100	4'074'500	104'700	1'060'500	5'160	46'200	5'181'200	4'230'300	464'900	640'300

Oelverbrauch Wärmeproduktion 2001

5136 Liter

ARA Buholz, Luzern

Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2002

Grundlagen:

Durchschnittliche monatliche Frischschlammmenge 10507 m3
 mittlere Faulraumtemperatur 34 °C
 Zulauftemperaturen 9-18.4 °C
 Gasmenge zur Verfügung BHKW und Heizung Werte Jahresrapport 2002 eingesetzt
 Heizwert Klärgas HuN 6.18 kWh/Nm3
 Wirkungsgrad BHKW thermisch 56 %
 Wirkungsgrad BHKW elektrisch 34.5 %
 Wirkungsgrad Heizkessel 90 %

	Gas zur Verf. ARA kWh	Gas zur Verf. BHKW kWh	BHKW verl. kWh	BHKW therm. kWh	Verl. Heizk. Gas kWh	Nutzw. Heizk. Gas kWh	Verl. Heizk. Oel kWh	Nutzw. Heizk. Oel kWh	Wärme Prod. Tot. kWh	Wärmeverbr. ARA Total kWh	Fernwärme SF kWh	Ueberschuss- Wärme kWh
Januar	936'400	739'900	70'300	414'300	17'700	178'700	0	0	593'000	488'500	138'300	
Februar	811'600	776'000	73'700	434'600	3'200	32'400	100	500	467'500	460'100	83'900	
März	805'600	744'000	70'700	416'600	5'500	56'100	170	1'800	474'500	429'000	71'100	
April	676'400	563'200	53'500	315'400	10'200	103'000	810	7'300	425'700	372'400	51'900	
Mai	729'400	683'500	64'900	382'800	4'100	41'800	0	0	424'600	303'900	29'500	91'200
Juni	636'700	618'300	58'700	346'200	1'700	16'700	0	0	362'900	244'900	1'100	116'900
Juli	632'500	616'400	58'600	345'200	1'400	14'700	0	0	359'900	241'400	0	118'500
August	611'500	584'700	55'500	327'400	2'400	24'300	0	0	351'700	230'500	0	121'200
September	527'900	472'300	44'900	264'500	5'000	50'600	1'830	16'700	331'800	253'100	22'200	56'500
Oktober	739'800	623'200	59'200	349'000	10'500	106'100	0	0	455'100	336'400	66'700	52'000
November	619'100	484'500	46'000	271'300	12'100	122'500	3'580	31'800	425'600	401'900	81'900	
Dezember	882'200	791'300	75'200	443'100	8'200	82'700	0	0	525'800	468'200	132'000	
Total	8'609'100	7'697'300	731'200	4'310'400	82'000	829'600	6'490	58'100	5'198'100	4'230'300	678'600	556'300

Oelverbrauch Wärmeproduktion 2002

6459 Liter

ARA Buholz, Luzern

Tabelle Energieproduktion und Verbrauch effektive Messungen 2003

Grundlagen:

Durchschnittliche monatliche Frischschlammmenge	10507 m3
mittlere Faulraumtemperatur	34 °C
Zulauftemperaturen	9-18.4 °C
Gasmenge zur Verfügung BHKW und Heizung	Werte Jahresrapport 2003 eingesetzt
Heizwert Klärgas HuN	6.18 kWh/Nm3
Wirkungsgrad BHKW thermisch	56 %
Wirkungsgrad BHKW elektrisch	34.5 %
Wirkungsgrad Heizkessel	90 %

	Gas zur Verf. ARA kWh	Gas zur Verf. BHKW kWh	BHKW verl. kWh	BHKW therm. kWh	Verl. Heizk. Gas kWh	Nutzw. Heizk. Gas kWh	Verl. Heizk. Oel kWh	Nutzw. Heizk. Oel kWh	Wärme Prod. Tot. kWh	Wärmeverbr. ARA Total kWh	Fernwärme SF kWh	Ueberschuss- Wärme kWh
Januar	963'000	726'500	69'000	406'800	21'300	215'200	700	6'400	628'400	488'500	163'000	
Februar	895'800	626'100	59'500	350'600	24'300	245'400	100	600	596'600	460'100	182'000	
März	984'000	903'400	85'800	505'900	7'300	73'400	350	3'600	582'900	429'000	84'300	69'600
April	721'800	667'300	63'400	373'700	4'900	49'600	4'740	42'500	465'800	372'400	64'900	28'500
Mai	734'200	713'300	67'800	399'400	1'900	19'000	0	0	418'400	303'900	14'000	100'500
Juni	845'800	787'300	74'800	440'900	5'300	53'200	0	0	494'100	244'900	0	249'200
Juli	252'800	118'900	11'300	66'600	12'100	121'800	0	0	188'400	241'400	0	
August	551'000	495'500	47'100	277'500	5'000	50'500	0	0	328'000	230'500	0	97'500
September	717'400	710'100	67'500	397'700	700	6'600	790	7'000	411'300	253'100	8'500	149'700
Oktober	715'900	714'300	67'900	400'000	100	1'500	2'320	21'300	422'800	336'400	83'100	3'300
November	771'400	770'100	73'200	431'300	100	1'200	1'890	17'500	450'000	401'900	91'700	
Dezember	854'600	784'300	74'500	439'200	6'300	64'000	6'630	59'800	563'000	468'200	310'700	
Total	9'007'700	8'017'100	761'800	4'489'600	89'300	901'400	17'520	158'700	5'549'700	4'230'300	1'002'200	698'300

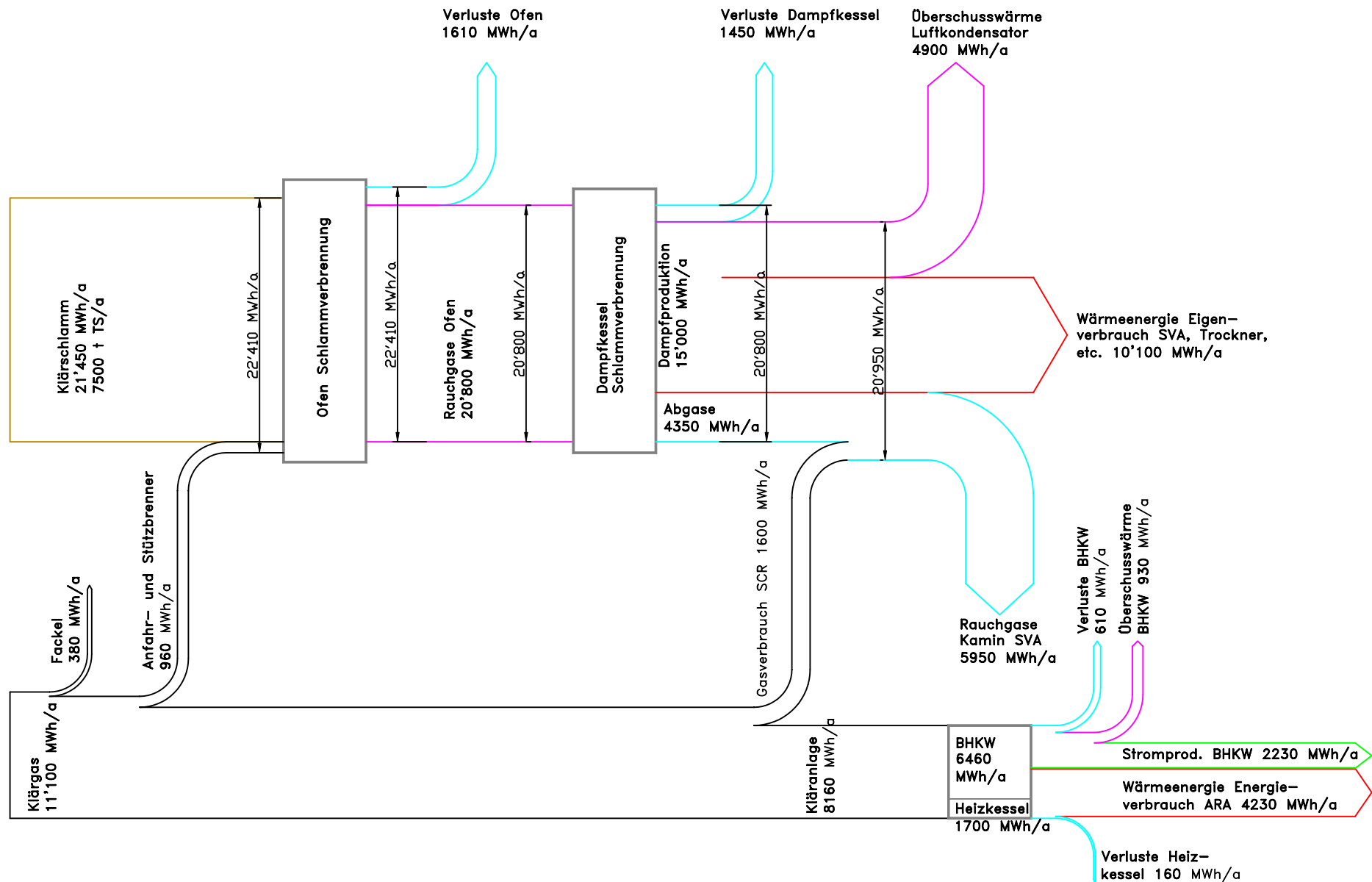
Oelverbrauch Wärmeproduktion 2003

17622 Liter

ARA Buholz, Luzern

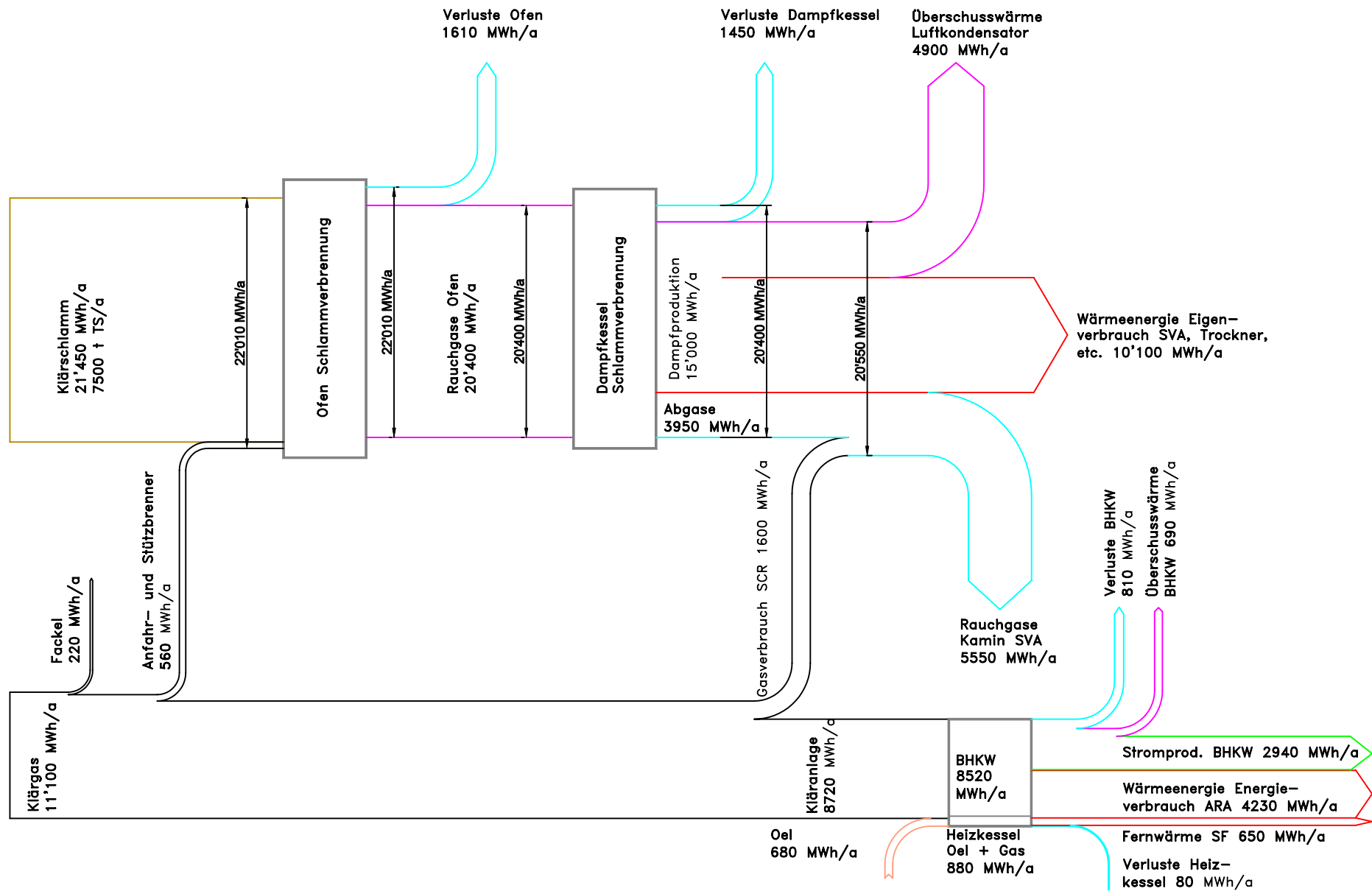
Vergleich Energiebilanzen

	Ausgangs-Zustand vor Massnahmen [MWh]	Prognose Bauprojekt für Paket 1 [MWh]	effektive Messungen 2001 [MWh]	effektive Messungen 2002 [MWh]	effektive Messungen 2003 [MWh]	Mittelwerte 2001 - 2003 [MWh]
Produktion Klärgas	11100	11100	11740	11520	12820	12030
davon Klärgas für Fackel	380	220	1190	840	1760	1260
davon Klärgas für Anfahr-Stützbrenner SVA	960	560	510	470	450	480
davon Klärgas für Denox-Anlage (SCR) SVA	1600	1600	1600	1600	1600	1600
davon Klärgas für ARA total	8160	8720	8440	8610	9010	8690
Klärgas auf BHKW	6460	8520	7276	7700	8020	7670
Klärgas auf Heizkessel	1700	200	1164	910	990	1020
Total Klärgasnutzung ARA	8160	8720	8440	8610	9010	8690
Oel auf Heizkessel	0	680	50	65	176	100
Verluste Heizkessel	160	80	110	90	110	100
Verluste BHKW	610	810	690	730	760	730
Überschusswärme BHKW	930	690	640	560	700	630
Stromproduktion BHKW	2230	2940	2800	3140	2780	2910
Wärmeenergieverbrauch ARA	4230	4230	4230	4230	4230	4230
Oelverbrauch RUAG Aerospace	800	0	200	0	0	70
Fernwärmelieferung RUAG Aerospace	0	650	460	680	1000	710
Total Energieverbrauch und Verluste	8960	9400	9130	9430	9580	9280
Oelverbrauch Total	800	680	250	65	176	160
Energieverbrauch ohne Oel (Bilanzvergleich)	8160	8720	8880	9365	9404	9120
Fehler in Bilanz Klärgas	0	0	440	755	394	530
Fehler in % des Gesamtenergieverbrauchs	0	0	4.82	8.01	4.11	5.65
Einsparung Oel gegenüber Ist-Zustand		120	550	735	624	640
Erhöhung Stromproduktion gegenüber Ist-Zustand		710	570	910	550	680



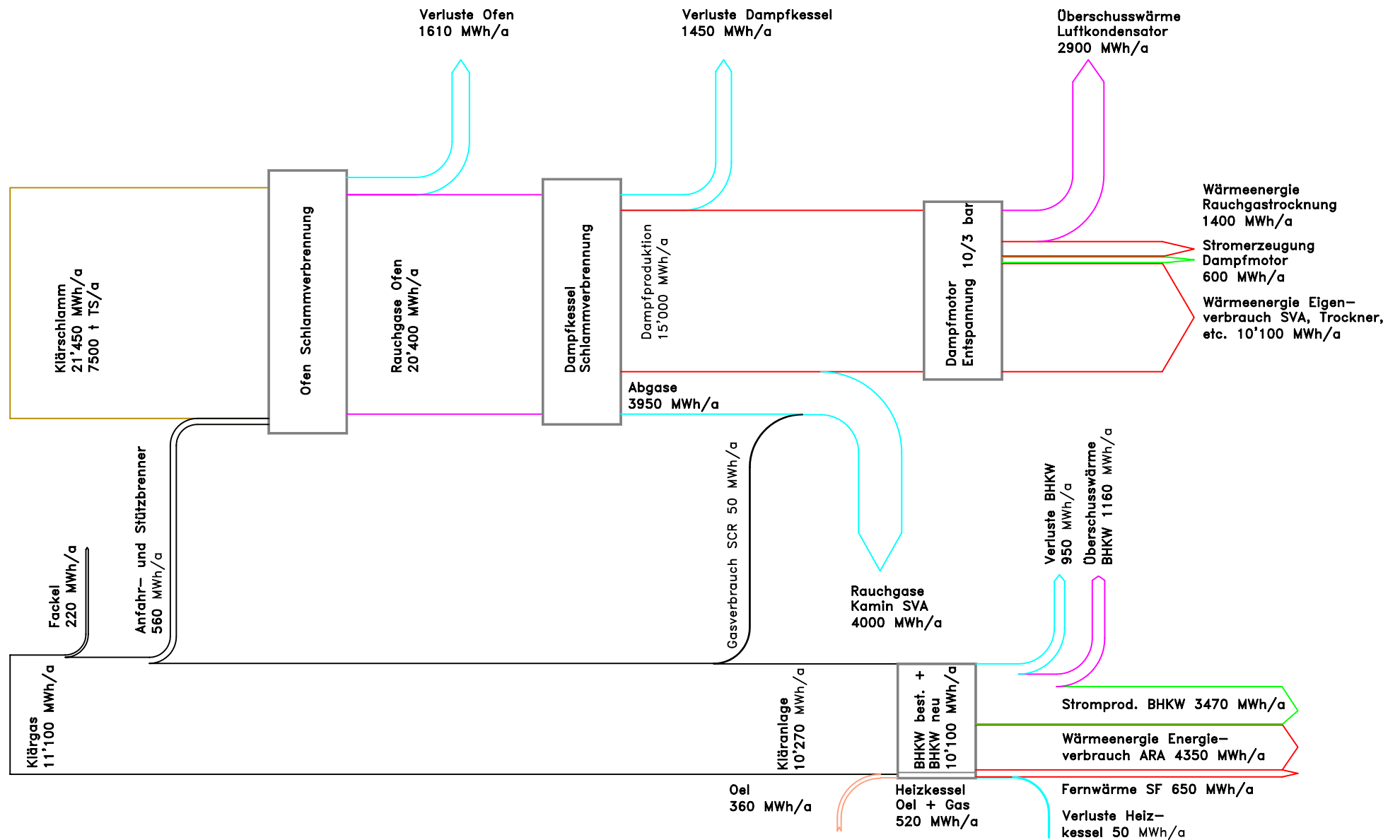
ARA UND SVA BUHOLZ, LUZERN

Energiebilanz Ausgangs-Zustand vor Massnahmen



ARA UND SVA BUHOLZ, LUZERN

Prognose Werte Bauprojekt Paket 1
Energiebilanz Übergangsbetrieb vor Umbau Denox SVA



ARA UND SVA BUHOLZ, LUZERN

Energiebilanz Erfolgskontrolle
effektive Messungen 2001–2003