

Ludwig-Windthorst-Haus
Katholisch - Soziale Akademie

**Demonstration einer innovativen Energieversorgung
auf Basis einer neuartigen CO₂-Wärmepumpe und
eines Blockheizkraftwerkes (BHKW)**

Abschlussbericht über ein Entwicklung einer innovativen, effizienten
Energieversorgung, gefördert unter dem Az: 16727 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. Rainer Knieper

Januar 2007

Projektkennblatt

der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	16727	Referat	24/0	Fördersumme	600.000,00 DM
Antragstitel	Demonstration einer innovativen Energieversorgung auf Basis einer neuartigen CO₂-Wärmepumpe und eines Blockheizkraftwerkes (BHKW)				
Stichworte	Energie, Studie, Wärme				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
3,5	10.02.2001	22.10.2006	2		
Abschlussbericht					
Bewilligungsempfänger	Ludwig-Windthorst-Haus Katholisch Soziale Akademie Gerhard-Kues-Str. 16 49808 Lingen-Holthausen	Tel Fax Projektleitung Herr Reinhold Jackels Bearbeiter	0591/6102-0 0591/6102-135		
Kooperationspartner	Universität Gesamthochschule Duisburg-Essen Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Der zunehmende Klimawandel und seine Auswirkungen auf Umwelt und Menschen werden immer deutlicher. Experten sind sich inzwischen einig, dass der Einsatz fossiler Energieträger maßgeblich zur Veränderung des Klimas beiträgt. Erneuerbare Energien werden bereits heute in einem Ausmaß genutzt, das noch vor wenigen Jahren undenkbar war. Das noch erschöpfbare Potential und die bereits heute zur Verfügung stehenden Techniken bilden eine wesentliche Grundlage einer nachhaltigen, zukunftsfähigen Energieversorgung. Dennoch leben wir hier und heute. Wir sind auf Lösungen angewiesen, die uns neben Wunsch einer gänzlich nachhaltigen Energieversorgung das notwendige Maß an Sicherheit und Verfügbarkeit bieten. Somit stellen Technologien zum effizienten Einsatz konventioneller Energieträger eine wichtige Säule des Klimaschutzes dar. Neben Verkehr und Industrie werden große Mengen Primärenergie zur Beheizung von Wohngebäuden und Warmwasserbereitung eingesetzt. Das hier vorliegende Projekt hat die Entwicklung und Demonstration einer Technik zum Ziel, mit der eine effiziente, umweltfreundliche und kosteneinsparende Energieversorgung einer Bildungsstätte ermöglicht wird.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Neugestaltung der Energieversorgung des Ludwig-Windthorst-Haus ist in die Projektphasen I: „Entwicklung und Erprobung der CO₂ Wärmepumpenanlage“ und Projektphase II: „Aufbau der neuen Wärme- und Stromversorgung“ unterteilt. Für die Entwicklung und Erprobung der Wärmepumpenanlage wurde mit Unterstützung durch die AgRo-Energie GmbH & Co. KG vom LWH eine Kooperation mit dem Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik geschlossen. Innerhalb dieser Kooperation wurde die Wärmepumpenanlage hinsichtlich des Einsatzes von CO₂ als Kältemittel entwickelt und im Labor getestet. Für diese Projektphase wurde ein eigener Abschlussbericht mit dem Titel „Entwicklung und Untersuchung einer CO₂-Wärmepumpenanlage für den Einsatz in einer Heißwasser-Heizanlage“ erstellt /9/. Die Umsetzung der zweiten Projektphase erfolgte über einen Generalunternehmervertrag mit der AgRo-Energie GmbH & Co. KG. Dabei wurde die entwickelte Technik im LWH eingebaut. In diesem Zusammenhang wurden weitere Maßnahmen zur Neugestaltung der Energieversorgung durchgeführt. Dazu gehören Anbindung an die Abwasserleitung einer Erdölraffinerie, Erneuerung der Wärmeverteilungszentrale und Verlegen eines Nahwärmenetzes an die zugehörigen Nebengebäude, Aufstellen von zwei Blockheizkraftwerken sowie Einrichtung einer SPS-basierten Steuerung mit optimierter Prozessleittechnik und Prozessvisualisierung. Die Arbeiten wurden Ende Oktober 2006 abgeschlossen.

Ergebnisse und Diskussion

Nach der Inbetriebnahme der Energieversorgung wurde die Anlage über einen Zeitraum von ca. zwei Jahren messtechnisch begleitet und zunehmend optimiert.

In dieser Zeit wurden Korrekturen an einigen Parametern der neu installierten Steuerung der gesamten Anlage vorgenommen, um so einen optimalen Betrieb der Anlage sicher zu stellen.

Es bestätigten sich bei der Auswertung der beobachteten und aufgezeichneten Leistungsdaten die Aussagen des Abschlussberichtes aus Projektphase I. Dazu gehörten u.a., dass die Führung eines transkritischen Prozesses im Kältemittelkreislauf der Wärmepumpenanlage maßgeblich die Effizienz des Betriebes bestimmt. Insbesondere sind Faktoren wie CO₂ Fülldruck, Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkreise und die Wärmequellentemperatur von Bedeutung. Werden die notwendigen Parameter eingehalten, so stellt die Technik eine effiziente und zuverlässige Wärmeversorgung dar. Insbesondere die Fähigkeit zur Bereitstellung höherer Vorlauftemperaturen von bis zu 80°C unter Beibehaltung von Leistungszahlen um 3 zeichnet die CO₂-Wärmepumpentechnik aus. Sie ermöglicht ihren Einsatz in bestehende Versorgungsstrukturen, bei denen üblicherweise Temperaturen auf diesem Niveau erforderlich sind. Auch die weiteren Techniken des Projektes wie Nahwärmenetz, Blockheizkraftwerke und Steuerung arbeiteten nach Abschluss des Probebetriebes einwandfrei und zuverlässig. Berechtigterweise können diese Techniken als Stand der Technik angesehen werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das innovative und von der DBU geförderte Projekt zur Neugestaltung der Energieversorgung des LWH wird der Öffentlichkeit unter Einbeziehung der multimedialen Technik zugänglich gemacht. Das Resultat der neugestalteten Energieversorgung wird als Referenzprojekt auf der Homepage des Generalunternehmers AgRo-Energie vorgestellt. Neben der Veröffentlichung der Ergebnisse über die DBU wird auch jeder Besucher der Akademie LWH über das Projekt informiert. Hierzu wurde im Foyer des LWH ein Beamer installiert, der mit dem Steuerungsrechner verbunden ist. Hier wiederum ist ein Programm hinterlegt, dass bei mit automatischem, zeitgesteuertem Bildwechsel mit über 10 verschiedenen Darstellungen die Besucher über die Anlagenkomponenten, Anlagendaten und die Funktionsweise der installierten Energieerzeugung informiert. Allein auf diesem Wege kommen jährlich über 20.000 Besucher des LWH mit dem Vorhaben in Berührung. Weiterhin wurde in der regionalen Presse über die zum damaligen Zeitpunkt einmalige neugestaltete Energieversorgung berichtet.

Auf Einladung von der Berliner Energieagentur wurde das Projekt auf den Berliner Energietagen 2006 unter dem Thema „Energie aus Abwasser“ im Rahmen einer Präsentation einem interessierten internationalem Fachpublikum vorgestellt.

Fazit

Innerhalb dieses Projektes konnte die Entwicklung, die Erprobung und der spätere erfolgreiche Einsatz einer neu entwickelten CO₂ –Wärmepumpenanlage aufgezeigt werden. Ebenso konnte durch die messtechnische Begleitung auch die gelungene Umrüstung der Energieversorgung des Ludwig-Windthorst-Haus mit seinen Nebengebäuden dokumentiert werden.

Der Betrieb der Energieversorgungsanlage zeigte zu Beginn der ersten Heizperiode noch Abstimmungsprobleme bei einigen voreingestellten Temperaturwerten innerhalb der Steuerung auf. Die Abstimmungsprobleme konnten durch die messtechnische Begleitung der Projekte frühzeitig erkannt und beseitigt werden.

Der Betrieb der CO₂-Wärmepumpenanlage stellt hinsichtlich der Möglichkeiten des effektiven transkritischen Prozesses und der Standardisierung von Komponenten noch zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten, insbesondere beim Einsatz in bestehende Versorgungsstrukturen zur Verfügung. Verbesserungsmöglichkeiten bestehen noch bei der Entwicklung einer kompakteren und standardisierten Bauweise, da hier sämtliche Komponenten nur als Prototypen eingesetzt werden konnten. Hierbei kann nun auf Erfahrungswerte einer bestehenden Anlage zurück gegriffen werden.

Da zur Einhaltung einer ausreichenden Leistungszahl eine transkritische Prozessführung im Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe notwendig ist, muss für den Betrieb der Anlage stets auf ausreichenden Betriebsdruck geachtet werden. Die Auswertung der Leistungsdaten und Energieverbräuche im Rahmen der messtechnischen Begleitung bestätigt, dass durch die neue innovative Technik eine energiecostensparende und emissionsmindernde Lösung gefunden werden konnte.

3. Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Titelblatt	1
2 Projektkennblatt	2
3 Inhaltsverzeichnis	4
4 Abbildungsverzeichnis	5
5 Tabellenverzeichnis	7
6 Symbole / Abkürzungen	8
7 Zusammenfassung	10
8 Einleitung	11
9 Hauptteil	12
9.1 Die Ausgangssituation eines innovativen Vorhabens	12
9.1.1 Das Ludwig-Windthorst-Haus	12
9.1.2 Die Wärme- und Stromversorgung vor der Neugestaltung	15
9.1.3 Der Energiebedarf im LWH vor der Neugestaltung	16
9.2 Die Neugestaltung der Wärme- und Stromversorgung	17
9.2.1 Gestaltung der vertraglichen Grundlagen und Voraussetzungen	18
9.2.2 Das technische Gesamtkonzept und Prognosen zur Energieeinsparung	19
9.2.3 Die Errichtung der neuen Anlagentechnik	22
9.2.3.1 Erneuerung der Wärmeverteilung	22
9.2.3.2 Erneuerung der Mess- Steuer- und Regelungstechnik	24
9.2.3.3 Errichtung der zentralen Wärmeversorgung	24
9.2.3.4 Anschluss an die Abwasserleitung der Raffinerie	25
9.2.3.5 Entwicklung und Installation der Wärmepumpenanlage	26
9.2.3.6 Installation der Kraft-Wärme-Kopplung	32
9.2.3.7 Visualisierung und Fernüberwachung	34
9.3 Betriebserfahrungen; Optimierung des Anlagenbetriebes	36
9.3.1 Die Messtechnische Begleitung	36
9.3.2 Optimierung der MSR-Technik	38
9.3.3 Erfahrungen mit dem Betrieb der Wärmepumpenanlage	40
9.3.4 Erfahrungen mit dem Betrieb der Kraft-Wärme-Kopplung	47
9.3.5 Allg. Erfahrungen; Erfassung und Auswertung von Betriebsdaten	49
9.4 Ökonomische Bewertung	52
9.5 Erzielte Umweltentlastung	54
9.6 Vorhabenspräsentation und Öffentlichkeitsarbeit	56
10 Fazit	57
11 Literaturverzeichnis	59

4. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 9.1.1-1	49809 Lingen in Niedersachsen	12
Abbildung 9.1.1-2	Gebäude und Gebäudebereiche des LWH in Lingen	12
Abbildung 9.1.1-3	Luftaufnahme des LWH	13
Abbildung 9.1.1-4	Vorderansicht des Hauptgebäudes	13
Abbildung 9.1.1-5	Alter Kindergarten	13
Abbildung 9.1.1-6	Der neue Kindergarten	13
Abbildung 9.1.1-7	Wohnhaus Gerhard-Kues-Straße 14	14
Abbildung 9.1.1-8	Gästehäuser Kamp Hoog	14
Abbildung 9.1.1-9	Die Lage der Erdölraffinerie	14
Abbildung 9.1.1-10	Die Erdölraffinerie Emsland	15
Abbildung 9.2.2-1	Abwasseranbindung	20
Abbildung 9.2.2-2	Jahreswärmeaufteilung	21
Abbildung 9.2.3.1-1	Hauptverteilung vorher	22
Abbildung 9.2.3.1-2	Hauptverteilung nachher	22
Abbildung 9.2.3.1-3	Anlagenschema	23
Abbildung 9.2.3.3-1	Nahwärmenetz	24
Abbildung 9.2.3.4-1	Trennen der Abwasserleitung	25
Abbildung 9.2.3.4-2	Abwasserschacht	25
Abbildung 9.2.3.5-1 /2	Versuchsstand in Essen	26
Abbildung 9.2.3.5-3	Funktionsschema der Wärmepumpe	27
Abbildung 9.2.3.5-4	Wärmeleistungen und Stromaufnahme	29
Abbildung 9.2.3.5-5	Äußere Leistungszahlen in Abhängigkeit der Ecktemp.	30
Abbildung 9.2.3.5-6	Wärmepumpe im LWH	31
Abbildung 9.2.3.5-7	Die Verdichter	31
Abbildung 9.2.3.6-1	BHKW im LWH	32
Abbildung 9.2.3.6-2	BHKW-Innenansicht	32
Abbildung 9.2.3.7-1	Visualisierung – Startseite	34
Abbildung 9.2.3.7-2	Visualisierung – Partnerseite	34

Abbildung 9.2.3.7-3	Visualisierung – Wärmepumpe	35
Abbildung 9.2.3.7-4	Visualisierung BHKW	35
Abbildung 9.2.3.7-5	Visualisierung Hauptanlage	35
Abbildung 9.2.3.7-6	Fernüberwachung	35
Abbildung 9.3.2-1	Heizkreis vor Installation der PID-Steuerung	38
Abbildung 9.3.2-2	Blockschaltbild eines PID-Reglers	39
Abbildung 9.3.2-3	Sprungfunktion eines PID-Reglers	39
Abbildung 9.3.2-4	Darstellung Heizkreis mit neuer, integrierter PID-Software ...	40
Abbildung 9.3.3-1	Betriebsstunden der Wärmepumpenanlage	43
Abbildung 9.3.3-2	Energiebilanz der Wärmepumpenanlage	43
Abbildung 9.3.3-3	Äußere Bruttoarbeitszahl der Wärmepumpenanlage	43
Abbildung 9.3.3-4	Äußere Nettoarbeitszahl der Wärmepumpe	45
Abbildung 9.3.3-4	Wärmepumpenprozess im hp-Diagramm	44
Abbildung 9.3.4-1	Betriebsstunden der BHKW-Anlage	48
Abbildung 9.3.4-2	Energiebilanz der BHKW-Anlage	48
Abbildung 9.3.4-3	Wirkungsgrad der BHKW-Anlage	48
Abbildung 9.3.5-1	Aufteilung der Wärmebereitstellung	50
Abbildung 9.6-1	Veröffentlichung des Vorhabens	56

5. Tabellenverzeichnis

Tabelle	9.1.3-1	Heizöl-, Erdgas- und Strombedarf vor der Erneuerung	16
Tabelle	9.2.3-1	Austausch der Umwälzpumpen	23
Tabelle	9.3.3-1	Daten des Wärmepumpenbetriebes	42
Tabelle	9.3.4-1	Monatliche Betriebsdaten der Blockheizkraftwerke	47
Tabelle	9.3.5-1	Gesamtdaten der Energieversorgung	50
Tabelle	9.4-1	Daten der zurückliegenden 12 Monate	52
Tabelle	9.5-1	Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger ..	54
Tabelle	9.5-2	Primärenergiebedarf vor der Neugestaltung	54
Tabelle	9.5-3	Emissionen vor der Neugestaltung	54
Tabelle	9.5-4	Primärenergiebedarf nach der Neugestaltung	55
Tabelle	9.5-5	Emissionen nach der Neugestaltung	55
Tabelle	9.5-6	Emissionseinsparungen	55

6. Symbole / Abkürzungen

Lateinische Formelzeichen

b	Betriebszeit in Jahren
E_s	Jahresenergiebedarf
GWP	Globales Treibhauspotential (Global Warming Impact)
h	spezifische Enthalpie
L	Leckagerate
m_F	Anlagenfüllmenge (Kältemittelfüllmenge)
p	Druck
P	Leistung
\dot{Q}	Wärmestrom
s	spezifische Entropie
t	Temperatur in °C
T	Temperatur in Kelvin
TEWI	gesamter Treibhausbeitrag (Total Equivalent Warming Impact)

Griechische Formelzeichen

α_R	Rückgewinnungsfaktor
β	Konversionsfaktor
Δ	Differenz
ε	Leistungszahl
ν	Gütegrad
η	Wirkungsgrad

Indizes

0	Verdampfung
B	Brutto
C	Carnot, Kondensation
dir	direkt

H	Heiz
i	innen
ind	indirekt
is	isentrop
Lz	Lorentzen
m	mittel
mech	mechanisch
N	Netto, Nutz
real	real
V	Verdichter
WP	Wärmepumpe

Abkürzungen

AgRo	AgRo-Energie GmbH & Co. KG
LWH	Ludwig-Windthorst-Haus Lingen / Holthausen
IATK	Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Universität Duisburg – Essen
PWÜ	Plattenwärmeübertrager

7. Zusammenfassung

Aufgeteilt in zwei Projektphasen wurde im Rahmen des hier beschriebenen Projektes eine neuartige Energieversorgung im Ludwig-Windthorst-Haus errichtet. In der ersten Projektphase wurde im Rahmen einer Kooperation mit dem IATK = Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität Duisburg-Essen die Wärmepumpentechnik zum Einsatz von Kohlendioxid als Kältemittel entwickelt. Hierüber wurde vom IATK im Januar 2004 ein eigener Abschlussbericht mit dem Titel „Entwicklung und Untersuchung einer CO₂-Wärmepumpenanlage für den Einsatz in einer Heißwasser-Heizungsanlage“ /9/ erstellt. Er dokumentiert die thermodynamischen und physikalischen Grundlagen der Prozessführung, die Vorgehensweise der Entwicklung und reicht hin bis zur Durchführung und Dokumentation von Versuchsreihen. Anhand dieses Berichtes bzw. der dort dargestellten positiven Ergebnisse wurde seitens der Projektbeteiligten (Ludwig-Windthorst Haus, Deutsche Bundesstiftung Umwelt Osnabrück, IATK Duisburg Essen und AgRo-Energie) beschlossen, die Technik am Standort LWH Lingen einzusetzen. Die Baumaßnahmen am Standort LWH Lingen wurden als Projektphase II im Rahmen eines Generalunternehmervertrages durch die AgRo-Energie GmbH & Co. KG aus Twist erbracht. Zur Neugestaltung der Energieversorgung des Ludwig-Windthorst-Hauses wurden neben dem Einbau der Wärmepumpenanlage weitere Maßnahmen durchgeführt. Dazu gehörten u.a. Erstellen der Anbindung an die Abwasserleitung der Erdölraffinerie Emsland (ca. 750 m Entfernung), Verlegen eines Nahwärmenetzes (ca. 500 m) zum Anschluss von insgesamt 6 Unterstationen, Demontage abgängiger Versorgungsanlagen, Installation von zwei erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerken und Einrichtung einer neuen, individuellen Prozessleittechnik auf SPS-Basis mit Prozessvisualisierung.

Hinsichtlich des Einsatzes der Kraft-Wärme-Kopplung wurden vor Umsetzung der Maßnahme Variantenbetrachtungen verschiedener Leitungsgrößen durchgeführt. Dieses diente der Ermittlung einer wirtschaftlichen Größe. Zugleich sollte ein Konkurrenzverhalten von BHKW zu Wärmepumpenanlage vermieden werden. Die Berechnungen zeigten bei einer elektrischen Leistung der BHKW von 50 kW optimale Ergebnisse. Daher wurde diese Größe – aufgeteilt auf zwei baugleiche Module – installiert. Die Aufteilung auf zwei Module diente dem Zweck eines möglichst kontinuierlichen Betriebes der Motoren, insbesondere bei geringem Wärmebedarf im Sommer. Die Ergebnisse der messtechnischen Begleitung bestätigen die Sinnhaftigkeit der gewählten Aufteilung.

Die installierte Wärmepumpenanlage wurde nach Abschluss der Installationsarbeiten einer erfolgreichen sicherheitstechnischen Untersuchung durch den TÜV Nord (Osnabrück) unterzogen.

Gefördert durch Mittel der Deutschen Bundesstiftung Umwelt Osnabrück (Az. 16727) konnte durch die vorgenannten Beteiligten das Projekt umgesetzt werden. Seit ihrer Inbetriebnahme wird die neue Anlage jährlich in großem Umfang Abwärme aus Abwasser nutzbar machen und zur Reduzierung von fossiler Energie in das Heizungssystem des Ludwig-Windthorst-Hauses einbringen. Von der AgRo-Energie wurden überwiegend Fachbetriebe und Hersteller aus der Region zur Umsetzung der Maßnahme beauftragt. Somit wurde die Wertschöpfung der Region gefördert, Know-How geschaffen und Arbeitsplätze gesichert.

8. Einleitung

Der zunehmende Klimawandel und seine Auswirkungen auf Umwelt und Menschen werden immer deutlicher. Experten sind sich inzwischen einig, dass der Einsatz fossiler Energieträger maßgeblich zur Veränderung des Klimas beiträgt. Erneuerbare Energien werden bereits heute in einem Ausmaß genutzt, das noch vor wenigen Jahren undenkbar war. Das noch erschöpfbare Potential und die bereits heute zur Verfügung stehenden Techniken bilden eine wesentliche Grundlage einer nachhaltigen, zukunftsfähigen Energieversorgung. Dennoch leben wir hier und heute. Wir sind auf Lösungen angewiesen, die uns neben dem Wunsch einer gänzlich nachhaltigen Energieversorgung das notwendige Maß an Sicherheit und Verfügbarkeit bieten. Somit stellen Technologien zum effizienten Einsatz konventioneller Energieträger eine wichtige Säule des Klimaschutzes dar. Neben Verkehr und Industrie werden große Mengen Primärenergie zur Beheizung von Wohngebäuden und Warmwasserbereitung eingesetzt. Das hier vorliegende Projekt hat die Entwicklung einer Technik zum Ziel, mit der eine effiziente und kosteneinsparende Versorgung einer Bildungsstätte ermöglicht wird. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Energieeffizienz.

Ausgangssituation für die Gestaltung des Vorhabens war das Interesse des Ludwig-Windthorst-Hauses, seinen Energiebedarf nachhaltig und effizient zu decken. Bereits in ersten Gesprächen zwischen der AgRo-Energie und der Leitung des LWH wurde die Nutzung von Abwasserwärme diskutiert. Nach Erarbeitung einer Machbarkeitsstudie wurden weiterführende Gespräche mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geführt. Dabei wurde das Interesse deutlich, möglichst ein natürliches Kältemittel einzusetzen.

Während ein Großteil der natürlichen Kältemittel wie Ammoniak, Butan, Propan usw. Nachteile wie Giftigkeit oder Brennbarkeit aufweisen, erschien Kohlendioxid am ehesten geeignet. Bei der weiteren Projektplanung wurde das Institut für Thermodynamik und Klimatechnik (IATK) der Universität Duisburg-Essen einbezogen. Hier hatte man bereits aus verschiedenen Forschungsprojekten einschlägige Erfahrungen im Umgang mit Kohlendioxid sammeln können. Mit dem Ziel, gemeinsam mit dem IATK eine neue CO₂-Wärmepumpentechnik zu entwickeln und zu erproben, um sie nach erfolgreichem Abschluss für die Wärmeversorgung des LWH einzusetzen, wurde ein Antrag auf Förderung des Projektes an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück gestellt. Durch die positive Bewertung des Förderantrages wurde die Umsetzung des Vorhabens ermöglicht. Im nachfolgenden Hauptteil dieses Abschlussberichtes wird ausführlich über die konkrete Umsetzung des Vorhabens sowie Erfahrungen während der Bauphase, Inbetriebnahme und nachfolgenden messtechnischen Begleitung berichtet. Dabei werden einerseits die einzelnen technischen Komponenten BHKW oder Wärmepumpe behandelt, andererseits auch das Zusammenspiel aller Komponenten für die gesamte Energieversorgung des LWH.

Anhand der aufgenommenen Daten eines Betriebsjahres werden die ökonomischen und ökologischen Aspekte und Auswirkungen des Vorhabens dargestellt. Abschließend folgt die Beschreibung der Maßnahmen und Aktivitäten zur Vorhabenspräsentation und Öffentlichkeitsarbeit.

9. Hauptteil

In dem Kapitel 9 „Hauptteil“ wird das am Standort Lingen umgesetzte Konzept ausführlich dargestellt. Zunächst erfolgt in Abschnitt 9.1 eine Beschreibung der Ausgangssituation. Darauf folgen die Darstellung der geplanten Maßnahmen und die mit deren Umsetzung prognostizierten Energieeinsparungen. Die konkrete Umsetzung der Maßnahmen wird unter der Überschrift „Die Errichtung der neuen Anlagentechnik“ beschrieben. Dabei werden konkret die einzelnen Maßnahmen genannt und ausführlich diskutiert. Abschließend werden die nach erfolgter Inbetriebnahme der neuen Anlagen gemachten Beobachtungen und Optimierungen aufgeführt.

9.1 Die Ausgangssituation für ein Innovatives Vorhaben

9.1.1 Das Ludwig-Windthorst-Haus

Das Ludwig – Windthorst – Haus (kurz: LWH) ist die Katholisch – Soziale Akademie und Heimvolkshochschule des Bistums Osnabrück. Es befindet sich im Ortsteil Biene/ Holthausen der Stadt 49809 Lingen. Das LWH besteht aus mehreren Gebäuden, wobei zentrale Bereiche wie Empfang, Verwaltung, Kantine, Aula oder auch Kapelle in dem größten der Gebäude, dem so genannten Hauptgebäude untergebracht sind. Insgesamt gehören zum LWH acht verschiedene Gebäude bzw. Gebäudebereiche. In der Abbildung 9.1.1-2 sind diese Gebäude bzw. Gebäudebereiche skizziert. Sie waren hinsichtlich der Erstellung eines neuen Energiekonzeptes von Bedeutung und werden daher nachfolgend dargestellt.



Abbildung 9.1.1-1 49809 Lingen in Niedersachsen



- 1 Hauptgebäude: Anmeldung Aula, Kapelle, Seminarräume
- 2 Privat genutztes Wohngebäude
- 3 Seminarräume und Gästezimmer
- 4 Gästehaus
- 5 Privat genutztes Wohngebäude
- 6 Wirtschaftstrakt, Küche, Speisesaal, Verwaltung
- 7 Gästezimmer, im Keller befindet sich die Heizungszentrale
- 8 Gästezimmer und Kindergarten

Abb.: 9.1.1-2 : Gebäude und Gebäudebereiche des LWH in Lingen

Das Hauptgebäude (1), (6) und (7)

Das Hauptgebäude ist für Besucher der erste Anlaufpunkt des LWH. Hier sind Empfang, Verwaltung, Kantine, Aula oder auch Kapelle untergebracht. Ebenfalls befindet sich eine so genannte „Alte Halle“ im Hauptgebäude, die als Verbindung zwischen Seminarbereichen und Kantine zum Aufenthalt der Besucher während der Seminarpausen o.ä. genutzt wird. Die Alte Halle wird in den weiteren Planungen von Bedeutung sein. Das erste Foto zeigt das LWH als Luftaufnahme. Das Hauptgebäude ist im mittleren Bereich zu erkennen. Es wurde auf dem folgenden Foto von Seiten der Gerhard-Kues- Straße aufgenommen.



Abbildung 9.1.1.3 Luftaufnahme des LWH



Abbildung 9.1.1.4 Vorderansicht des Hauptgebäudes.

Alter Kindergarten (3)

Der Alte Kindergarten des LWH befindet sich auf der gegenüberliegenden Seite der Gerhard-Kues-Straße. Es wird nicht mehr als Kindergarten genutzt, sondern wurde zum Seminargebäude umfunktioniert. Das Foto zeigt den alten Kindergarten aus Sicht der Gerhard-Kues-Straße.



Abbildung 9.1.1.-5 Alter Kindergarten

Neuer Kindergarten (8)

Der neue Kindergarten ist das südlichste Gebäude des LWH. Die Entfernung zum Hauptgebäude beträgt in etwa 200 m (Luftlinie). Der neue Kindergarten wird auch als solcher genutzt. Er verfügt im hinteren Bereich über eine große Freifläche, auf der ein Spielplatz für die Kinder eingerichtet wurde. Unmittelbar an den Kindergarten ist im südlichen Teil des Gebäudes ein Gästehaus angeschlossen. Das Foto zeigt den neuen Kindergarten aus der Straßenansicht.



Abbildung 9.1.1 –6 Der neue Kindergarten

Wohnhaus Gerhard-Kues-Straße 14 (2)

Zum LWH gehört ebenfalls das Wohnhaus auf der Gerhard-Kues-Straße 4. Dieses Wohnhaus wird inzwischen zwar privat bewohnt, wird im Rahmen der Neugestaltung der Energieversorgung dennoch berücksichtigt.



Abbildung 9.1.1 –7 Wohnhaus Gerhard-Kues-Straße 4

Gästehaus Kamp Hoog (3) und (4)

Auf der süd-westlichen Seite des LWH befinden sich weitere Gästezimmer sowie ein privat genutztes Wohnhaus.



Abbildungen 9.1.1-8 und – 9 : Gästehäuser Kamp Hoog

Die nahe gelegene Erdölraffinerie Emsland

Im gleichen Ortsteil der Standort Lingen befindet sich die Erdölraffinerie Emsland. Die Raffinerie wurde in den siebziger Jahren errichtet. Durch ihre Errichtung hat derzeit in der Region eine weiterführende Entwicklung stattgefunden. Dabei ist u.a. die Errichtung des LWH eine Folge dieser Entwicklung.

Die Nähe der Erdölraffinerie zum LWH wird aus beiliegendem Lageplan deutlich. Die Erdölraffinerie verfügt über eine betriebseigene Kläranlage. Von hier aus werden Abwasser - sobald sie die geforderte Reinheit erreicht haben, über eine ca. 1,6 km lange Abwasserleitung zur

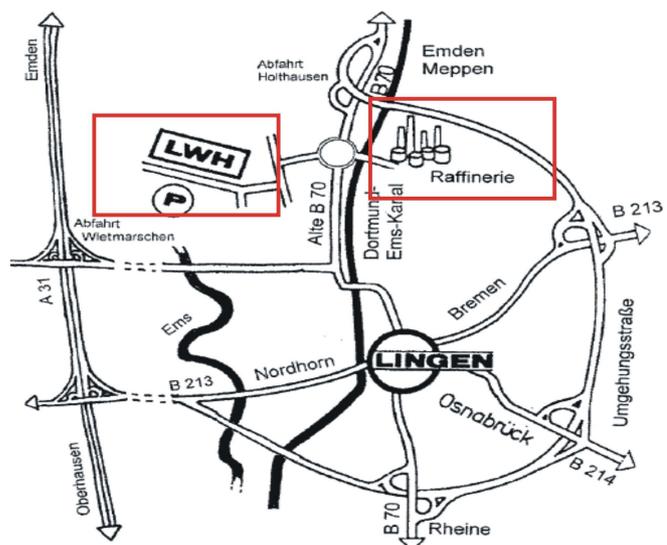


Abbildung 9.1.1-9 Die Lage der Erdölraffinerie

Ems gefördert. Bis vor ca. 10 Jahren wurde zu diesem Zweck eine Abwasserleitung aus dem Material Guss verwendet, die sogar unmittelbar durch das Gelände des LWH verlief. Seither wird das Abwasser über eine neu verlegte Leitung aus langbeständigem Polyethylen (ca. 350 mm Durchmesser) zur Ems transportiert. Für die Planungen wurden seitens des Betreibers der Erdölraffinerie Auszüge aus dem Betriebstagebuch zur Verfügung gestellt. Sowohl Abwassermengen als auch Temperaturen werden im täglichen Betrieb kontinuierlich erfasst und aufgezeichnet. Aus den Aufzeichnungen wird deutlich, dass in den vergangenen Jahren im Durchschnitt zwischen 200 m³ und 300 m³ Abwasser je Stunde in die Ems geleitet wurden. Nur wenige Stunden war diese Einleitung unterbrochen. Die Temperaturen des Abwassers lagen zwischen 20°C und 36°C. Das Abwasser der Erdölraffinerie war für die weiteren Planungen von Bedeutung.



Abbildung 9.1.10 – Die Erdölraffinerie Emsland

9.1.2 Die Wärme- und Stromversorgung vor der Neugestaltung

Zur Erstellung eines Energiekonzeptes wurde die bestehende Wärme- und Stromversorgung des LWH aufgenommen. Zu diesem Zweck wurden einerseits Ortstermine mit dem örtlichen Personal durchgeführt, andererseits wurden Energiekostenabrechnungen der zurückliegenden Jahre zur Verfügung gestellt. Wärme- und Stromversorgung werden nachfolgend beschrieben.

Die Wärme- und Stromversorgung

Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgte vor der Neugestaltung der Energieversorgung über gebäudeeigene Kesselanlagen, die mit Erdgas bzw. Heizölfeuerungen ausgestattet waren. Die Stromversorgung erfolgte ausschließlich über das Netz des Energieversorgungsunternehmens. Mit Ausnahme des alten Kindergartens verfügten alle Gebäude über eigene Anschlüsse. Der alte Kindergarten ist an die Versorgung des Hauptgebäudes angebunden. Dennoch wurde auch hier derzeit zur Verbrauchserfassung ein eigener Zähler installiert. Hinsichtlich der Wärmeversorgung wurden folgende Anlagen betrieben:

Im Hauptgebäude (1)

Hier wurden zwei Stück bivalent und zweistufig befeuerte (Heizöl / Erdgas Zweistoffbrenner) Heizwasserkessel mit einer Gesamtwärmeleistung von 500 kW betrieben. Von allen Wärmeversorgungsanlagen ist dieses die größte Anlage. Sie wurde 1990 einschl. der Kesselregeltechnik bis hin zur hydraulischen Weiche erneuert und vorsorgt den überwiegenden Teil des Hauptgebäudes. Die Wärmeverteiler einschl. Pumpen und Stellventile wurden 1990

nicht erneuert. Sie verblieben auf dem Stand des Jahres 1967, d.h. seit Errichtung dieses Gebäudetraktes. Die Anlage befindet sich im Kellergeschoss.

Im Wirtschaftstrakt (6)

Unmittelbar am Hauptgebäude befindet sich der Wirtschaftstrakt. Da dieses ein älteres Gebäudeteil ist, verfügte er über eine eigene Heizungsanlage im Kellergeschoss. Der Heizkessel wurde mit Erdgas befeuert und stammte einschl. Regeltechnik und Wärmeverteilung aus dem Jahre 1967. Die Leistung betrug 100 kW.

Alter Kindergarten (3)

Im alten Kindergarten befand sich ein erdgasbefeuert Heizkessel aus dem Jahr 1980 mit 100 kW Nennwärmeleistung im Kellergeschoss. Auf dem Dach des alten Kindergartens wurde im Jahr 1990 eine ca. 20 m² große Solarkollektoranlage errichtet. Ebenfalls wurde bei dieser Maßnahme die Wärmeverteilung einl. notwendiger Pufferspeicher für die Solaranlage installiert.

Neuer Kindergarten (8)

Hier befand sich ein mit Erdgas befeuerter Heizkessel aus dem Jahr 1978 mit 100 kW Nennwärmeleistung. Von dem Wärmeverteiler gingen zwei Hauptheizkreise (Kindergarten / Gästehaus) ab, die zum Zweck der getrennten Verbrauchserfassung mit Wärmezählern ausgestattet waren.

Gerhard-Kues-Straße 14 (2)

Im Wohnhaus Gerhard-Kues-Straße 14 war ein erdgasbefeuert Heizkessel, Baujahr 1978 mit Nennwärmeleistung von ca. 20 kW im Kellergeschoss installiert.

Gästehäuser am Kamp Hoog (3) und (4)

Die Gästehäuser am Kamp Hoog verfügten je Gebäude über eigene heizölbefeuerte Heizkessel mit Leistung von je ca. 30 kW .

9.1.3 Der Energiebedarf im LWH vor der Neugestaltung

Zur Erfassung des Energiebedarfs wurden seitens des LWH Verbrauchsabrechnungen aus den vorherigen Jahren (2000 bis 2003) vorgelegt. Folgende Energiemengen wurden im Jahresdurchschnitt benötigt:

Gebäude	Kesselleistung	Heizöl	Erdgas	Strom
Hauptgebäude	2 x 250 kW	0 l	127.500 Nm ³	284.600 kWh
Hauptgebäude	100 kW		16.556 Nm ³	
Alter Kindergarten	100 kW	16.500 l		
Neuer Kindergarten	100 kW		21.172 Nm ³	13.666 kWh
Gerhard-Kues-Str. 14	20 kW		3.500 Nm ³	
Kamp Hoog 3	30 kW	6.000 l		2.971 kWh
Kamp Hoog 5	30 kW	3.500 l		3.500 kWh
gesamt		26.000 l	168.728 Nm ³	301.237 kWh

Tabelle 9.1.3-1: Heizöl-, Erdgas- und Strombedarf vor der Erneuerung

9.2 Die Neugestaltung der Wärme- und Stromversorgung

Sowohl steigende Energiekosten als auch die Notwendigkeit, abgängige Wärmeversorgungsanlagen zu erneuern waren Anlass für die Leitung des Ludwig-Windthorst-Hauses sich mit der Energieversorgung zu beschäftigen. Im Rahmen der EXPO 2000 wurden derzeit von der AgRo-Energie GmbH & Co. KG aus Twist bzw. der von ihr zur Projektdarstellung gegründeten EXPONEL Veranstaltungen zum Thema nachhaltige Energieversorgung im LWH durchgeführt.

Die Machbarkeitsstudie

Da zu diesem Zeitpunkt bereits mehrere Projekte von der AgRo-Energie zum Einsatz erneuerbarer Energie und Energieeffizienz erfolgreich realisiert werden konnten, erhielt die AgRo-Energie ebenfalls den Auftrag, für das LWH ein innovatives Versorgungskonzept zu erstellen. Innerhalb einer Machbarkeitsstudie wurden verschiedene Lösungsansätze hinsichtlich technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Aspekte betrachtet. Bereits in den ersten Überlegungen wurde deutlich, dass die Erdölraffinerie hinsichtlich der Energieversorgung eine Bedeutung haben könne. Zwar zeigte sich, dass eine direkte Versorgung mit Wärme aus der Raffinerie aufgrund der Entfernung und natürlichen Hindernisse (Kanal...) wirtschaftlich uninteressant sein würde, dennoch die Abwasserleitung zur Ems Möglichkeiten eröffnen könnte. Erste Gespräche mit den Betreibern der Erdölraffinerie signalisierten deren Bereitschaft zu einer neuartigen Lösung. Es entstand ein Konzept, über Wärmepumpentechnik die Wärme des Abwassers auf ein zur Beheizung notwendiges Niveau anzuheben, gleichermaßen sollte die mechanische Antriebsenergie der Wärmepumpenverdichter über Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt werden. Das Konzept wurde in der Machbarkeitsstudie vertieft und dargestellt. Diese Machbarkeitsstudie wurde im Jahr 1999 fertiggestellt und bildete die Grundlage für die weitere Projektentwicklung.

Der Förderantrag an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt Osnabrück

Die Errichtung der konzipierten Versorgungsanlage nach der Machbarkeitsstudie wies zwar eine Reduzierung der Energiebezugskosten auf, dennoch machte sie deutlich, dass eine Realisierung dieses innovativen und nachhaltigen Konzeptes nur mit Fördermitteln möglich sein würde. Aus diesem Grund wurde ein Kontakt mit der DBU hergestellt. Zwar wurde bereits in ersten Gesprächen eine Förderbereitschaft signalisiert, dennoch waren hinsichtlich der Förderwürdigkeit des Projektes Ergänzungen bzw. Änderungen erforderlich. Einschließlich der später formulierten Bewilligungsaufgaben waren insbesondere folgende Aspekte von Bedeutung:

1. Natürliches Kältemittel

Es sollte möglichst ein natürliches Kältemittel in der Wärmepumpe eingesetzt werden. Dabei kamen z.B. Propan, Butan, Ammoniak, Isobutan, insbesondere aber das natürlichste und unbedenklichste aller Kältemittel nämlich Kohlendioxid in Frage.

2. Betrachtung verschiedener BHKW-Größen

Hinsichtlich der Leistung des- bzw. der BHKW sollte während der Projektbearbeitung eine Variantenbetrachtung erstellt werden. Hiermit sollte vermieden werden, dass zwischen

Wärmepumpe und BHKW ein Konkurrenzverhalten entsteht, was letztendlich zu geringe Laufzeiten einer dieser Komponenten zur Folge gehabt hätte.

3. Aufteilung des Projektes in zwei Projektphasen

Eine Wärmepumpentechnik mit Kohlendioxid war derzeit – und ist es bis heute – nicht auf dem Markt als Serienprodukt erhältlich. Somit sollte diese Technik in einer vorgeschalteten Projektphase I in Zusammenarbeit mit einer wissenschaftlichen Einrichtung entwickelt werden. Da die Universität Essen zu diesem Zeitpunkt durch ein vorheriges EU-Projekt mit dem Titel „COHEPS“ Erfahrungen im Umgang mit Kohlendioxid gesammelt hatte, wurde sie als Partner ausgewählt. Auf Grundlage der Ergebnisse der Entwicklungen sollte nach Abschluss der Projektphase I entschieden werden, ob die in diesem Rahmen entwickelte technische Anlage praxistauglich ist und in Lingen aufgebaut werden kann, oder ob als Alternative eine konventionelle Wärmepumpentechnik zum tragen kommen müsse.

Der Förderantrag wurde nach Einarbeitung dieser Aspekte positiv bewertet und damit die Grundlage zur Realisierung des Vorhabens geschaffen.

4. Messtechnische Begleitung

Nach Errichtung der neuen Anlage sollte diese über einen Zeitraum von zwei Jahren messtechnisch begleitet werden. Hiermit sollte festgestellt werden, ob die konzipierte Anlage den Anforderungen entspricht. Weiterhin sollten Zwischenergebnisse dazu dienen, insbesondere hinsichtlich der Betriebsweise und Steuerung der Anlage Optimierungen vorzunehmen.

9.2.1 Gestaltung der vertraglichen Grundlagen und Voraussetzungen

Nach Klärung der technischen Fragen mussten zum Zwecke der Projektrealisierung vertragliche und kaufmännische Belange fixiert werden. Dazu gehörten u.a.

Der Kooperationsvertrag

Die Arbeiten in der Projektphase I sollten nach Vorgabe der AgRo Energie überwiegend durch die Uni Essen erfolgen. Zu diesem Zweck wurde ein Kooperationsvertrag zwischen dem LWH, der AgRo-Energie und der Universität Essen entworfen, geprüft und abgeschlossen.

Der Gestattungsvertrag

Das Recht des LWH, eine Anbindung an die Abwasserleitung der Erdölraffinerie zu erstellen und das Wasser zu Heizzwecken zu nutzen wurde in einem „Gestattungsvertrag zur thermischen Nutzung industrieller Abwässer“ formuliert. Auch dieser Vertrag wurde von der AgRo-Energie entworfen. Er wurde zwischen dem LWH und der Erdölraffinerie abgeschlossen.

Baugenehmigung / Verlegen von Wärme- und Stromleitungen

Für die Abwasserleitung und zur Anbindung der Nebengebäude, insbesondere des neuen Kindergartens mussten verschiedene Versorgungsträger durch öffentliche Grundstücke verlegt werden. Die Baugenehmigung wurde durch das LWH eingeholt. Ebenfalls wurden seitens des LWH mit betroffenen Grundstückseigentümern die rechtlichen Vereinbarungen getroffen.

Der Generalunternehmervertrag

Während in der Projektphase I ausschließlich die Entwicklung und Erprobung der Wärmepumpenanlage im Labor der Universität Essen vorgesehen war, sollten die Arbeiten am

Standort Lingen über einen Generalunternehmervertrag durch die AgRo-Energie erfolgen. Dieser Vertrag wurde zwischen dem LWH und der AgRo-Energie geschlossen. Er enthielt die konkreten Baumaßnahmen zur Umsetzung des nachfolgend beschriebenen Gesamtkonzeptes.

9.2.2 Das technische Gesamtkonzept und Prognosen zur Energieeinsparung

Das technische Gesamtkonzept

Die neue Energieversorgung sah eine komplexe Anlage vor. Die aus den Teilbereichen resultierenden Maßnahmen werden ausführlich im Abschnitt 9.2.3 ff dargestellt. Hinsichtlich des Gesamtkonzeptes können folgende Lösungsansätze genannt werden:

Zentrale Wärmeversorgung der Gebäude und Gebäudebereiche

Zu diesem Zweck war die Errichtung eines Nahwärmenetzes vorgesehen. Zentraler Ort der Wärmeversorgung sollte der Heizkeller des Hauptgebäudes sein, das hier einerseits die größte und jüngste konventionelle Kesselanlage vorhanden war, andererseits ausreichend Platz für weitere Anlagenteile geschaffen werden konnte. Sämtliche Gebäude und Gebäudebereiche des LWH sollten von hier aus künftig mit Wärme versorgt werden. Aus diesem Grund wurde die Verlegung von Nahwärmeleitungen vorgesehen. Insgesamt sollten ca. 500 m Nahwärmeleitungen verlegt werden.

Zentrale Stromversorgung

Angesichts der Planungen, mit den BHKW einen Teil des Stromes selbst zu erzeugen, sollte die Stromversorgung zentral erfolgen. Zu diesem Zweck sollten Stromkabel, sofern sie nicht bereits vorhanden waren (z.B. Alter Kindergarten) von der Trafostation und Unterverteilung des Hauptgebäudes zu den jeweiligen Gebäuden verlegt werden.

Erneuerung / Umgestaltung der Wärmeverteiler

Die Verteiler im Heizraum befanden sich auf dem Stand des Jahres 1967. Zwar waren in den Jahren sukzessive Umwälzpumpen, Regler oder Ventile bei deren absolutem Ausfall getauscht worden, insgesamt war der Zustand dennoch sehr schlecht. Es sollte ein Verteilsystem, bestehend aus drei Verteilern, diese wiederum bestehend aus einem Vorlauf- und zwei Rücklaufverteilern installiert werden. Insbesondere für einen effizienten Betrieb der Wärmepumpenanlage sollten die Rückläufe der Heizkreise mit niedrigem Temperaturniveau getrennt erfasst und genutzt werden. Dieser Planungsansatz hat sich in der späteren Umsetzung als sehr nützlich und effektiv erwiesen (vgl. Abb. 9.2.3.1-3).

Unterstationen in den Gebäuden

Als Ersatz für die bisherigen Einzelheizungsanlagen sollten individuell regelbare Unterstationen installiert werden. Insbesondere in den Wohnhäusern und Kindergärten musste die Möglichkeit geschaffen werden, die Wärmeversorgung nach eigenen Bedürfnissen Nutzungs- und zeitgerecht zu regeln.

Die Wärmepumpenanlage

Wie zuvor beschrieben, sollte eine Wärmepumpenanlage auf Basis Kohlendioxid installiert werden. Mit einer Nennwärmeleistung von 120 kW sollte sie nach den Blockheizkraftwerken zur

Grundlastversorgung dienen. Die Anlage sollte aus drei baugleichen, parallel geschalteten Einzelanlage je 40 kW bestehen. Eine dieser Anlagen sollte vorher in der Universität Essen entwickelt werden. In der zweiten Projektphase sollte die Anlage in Essen bei erfolgreichem Testbetrieb demontiert, und in Lingen ergänzt durch zwei weitere baugleiche Anlagen installiert werden.

Die Blockheizkraftwerke

Hinsichtlich der Blockheizkraftwerke und der vorab erstellten Variantenbetrachtung sollten zwei baugleiche Anlagen mit je 25 kW elektrischer Leistung installiert werden.

Die Abwasserleitung und Anbindung

Zur Anbindung an die Abwasserleitung der Erdölraffinerie musste ein Weg von ca. 700 Metern überwunden werden. Dieser Weg führte durch Straßen, Grünbereiche und gepflasterte Wege. In unmittelbarer Nähe des Anschlusspunktes sollte ein Schacht zur Unterbringung der Abwasserpumpe errichtet werden. Die Abwasserwärmenutzung sollte nach Sicherheitsauflage der Erdölraffinerie indirekt erfolgen. Daher wurde zwischen Abwasserkreislauf und Primärkreislauf der Wärmepumpenanlage ein Rohrbündelwärmetauscher installiert. Aufgrund der Anbindungs-länge und der damit verbundenen Trägheit des Abwassersystems wird es nach Einschalten der Abwasserpumpe mehrere Minuten dauern, bis das erste warme Abwasser zum LWH gelangt. Daher sollte ein 1000-Liter Pufferspeicher errichtet werden, um mögliche Vorhaltezeiten zu überbrücken und den direkten Start der Anlage bei Wärmeanforderung zu ermöglichen. Dieses Prinzip der Anbindung an die Abwasserleitung mit Rohrbündelwärmetauscher und Pufferspeicher ist in Abb. 9.2.2-1 skizziert.

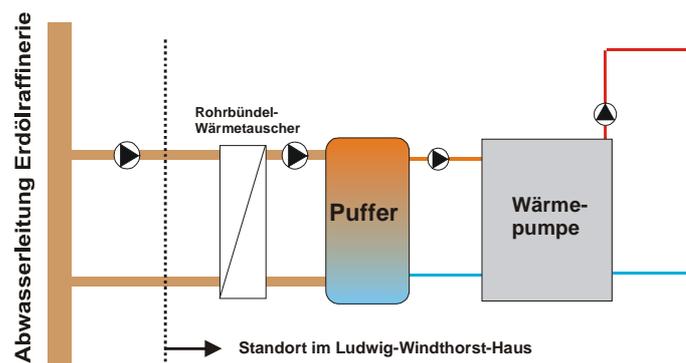


Abbildung 9.2.2-1 Abwasseranbindung

Mess- Steuer und Regelungstechnik

Zu diesem Zweck sollte eine individuelle Technik entwickelt werden, um insbesondere zur Optimierung der Betriebsweise der Anlage die entsprechenden Möglichkeiten zu eröffnen. Auf Basis einer SPS-Steuerung sollte die Anlagentechnik künftig erfasst und gesteuert werden. Die Unterstationen sollten über einen Datenbus ausgelesen und kontrolliert werden können.

Fernüberwachung und Prozessvisualisierung

Die Bedienung der SPS sollte über einen PC erfolgen können. Weiterhin sollte zusätzlich über ein Modem die Möglichkeit geschaffen werden, die Anlage von fern zu überwachen und zu bedienen. Gleichermäßen sollten Fehlermeldungen automatisch weitergeleitet werden, um dann entsprechend reagieren zu können.

Hinsichtlich der Präsentation des Vorhabens und einer Öffentlichkeitsarbeit sollte die Anlage visualisiert werden. Entsprechende Grafiken sollten über einen Beamer in der Halle an die Wand projiziert werden.

Prognosen zur Energieeinsparung

Wärmebilanzierung

Die Auswertung der Energieverbräuche zeigte, dass im Durchschnitt der Jahre 2000 bis 2003 je Jahr insgesamt 169.000 Nm³ Erdgas, 26.000 l Heizöl 301.000 kWh Strom benötigt wurden.

Ausgehend von einem Brennwert von ca. 10 kWh je m³ Erdgas und 10,08 kWh je Liter Heizöl beträgt die Primärenergiemenge insgesamt ca. 1.950.000 kWh. Ausgehend davon, dass angesichts der Kesselverluste etwa 75-80% der Primärenergie tatsächlich als Wärme genutzt werden, errechnete sich ein Wärmebedarf von etwa 1.480.000 kWh.

Nach den Berechnungen und Auswertungen sollten angesichts der gewählten Leistungen von:

BHKW:	2 x 25 kW elektrisch 2 x 50 kW thermisch	100 kW
Wärmepumpe	3 x 40 kW Wärme	120 kW
Kesselanlage:	2 x 250 kW _{th}	<u>500 kW</u>
gesamt		720 kW

folgende Jahreswärmeaufteilung erzielt werden:

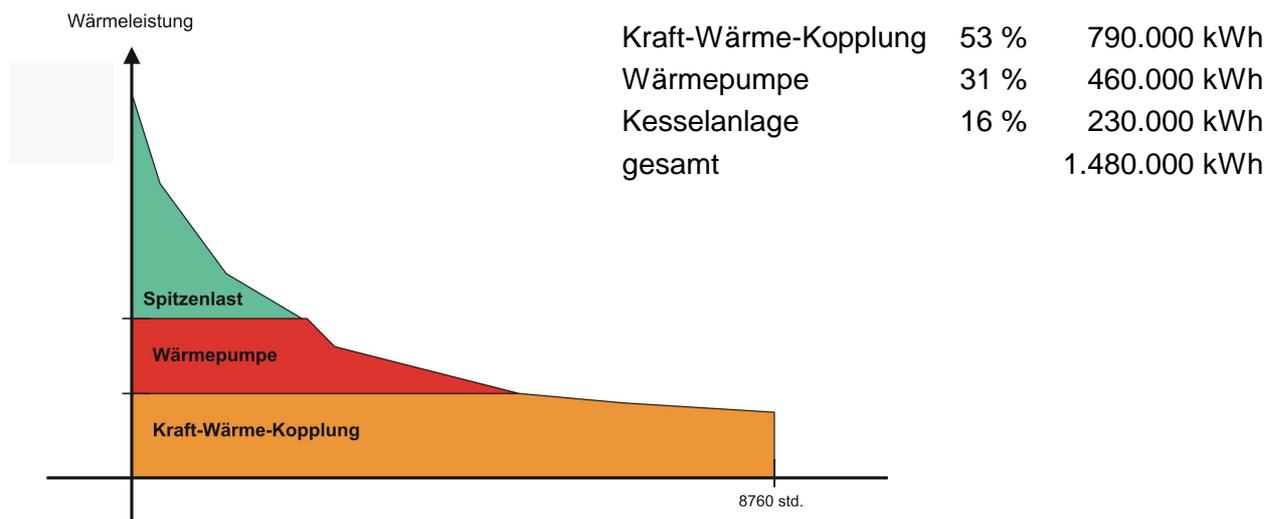


Abbildung 9.2.2-2 Jahreswärmeaufteilung

Strombilanzierung:

Hinsichtlich der Strommengen wurde der Betrieb der BHKW berücksichtigt. Der produzierte Strom sollte einerseits für den Betrieb der Wärmepumpenanlage, andererseits überwiegend für die Versorgung der eigenen Gebäude genutzt werden. Ausgehend vom dem üblichen Verhältnis von BHKW bei der Strom- und Wärmeenergieerzeugung sollten bei 790.000 kWh Wärme gleichermaßen 390.000 kWh Strom erzeugt werden. Davon sollten ca. 134.000 kWh für die Wärmepumpe genutzt werden. Es verblieb ein Überschuss von ca. 254.000 kWh für die Eigenversorgung und Stromeinspeisung.

9.2.3 Die Errichtung der neuen Anlagentechnik

9.2.3.1 Erneuerung der Wärmeverteilung

Im ersten Schritt der zweiten Projektphase wurde die bestehende Unterverteilung im Haupthaus durch eine neue Hauptverteilung ersetzt. Von der Verteilung wurden nun alle Abnehmer / Unterstationen mit Heizwasser versorgt. Die Abbildungen zeigen die Hauptverteiler vor und nach der Erneuerung, sowie deren Aufbauprinzip (9.2.3.1-3):



Abb. 9.2.3.1-1 Hauptverteilung vorher



Abb. 9.2.3.1-2 Hauptverteilung nachher

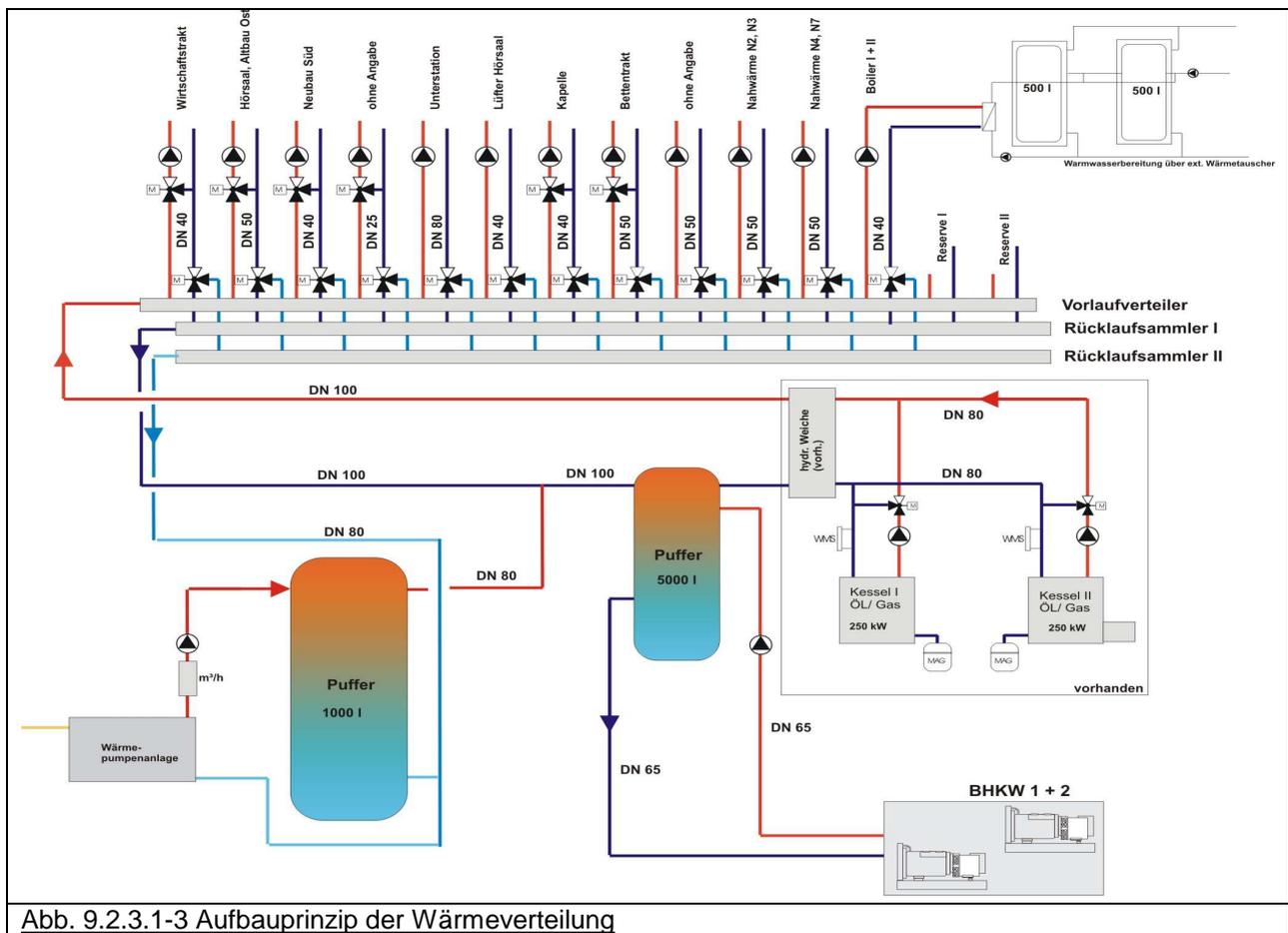


Abb. 9.2.3.1-3 Aufbauprinzip der Wärmeverteilung

Anordnung und Anzahl der Verteiler

Bei der neuen Verteilung sind die drei Verteiler deutlich zu erkennen. Über Temperaturfühler und Dreiwegeventile an den Rückläufen wird über die SPS den jeweiligen Rückläufen abhängig von ihrem Temperaturniveau ein Rücklauf zugeordnet. Diese ungewöhnliche Maßnahme hat sich für den Betrieb der Wärmepumpe als sehr wichtig und nützlich erwiesen. Nur Rückläufe, deren Temperaturen unterhalb des Pufferspeichers der Wärmepumpenanlage liegen, werden dorthin geführt.

Einbau elektronisch geregelter Pumpen

Vor der Erneuerung erfolgte die Wärmeverteilung größtenteils mit unregulierten Umwälzpumpen. Folgende Pumpen wurden im Rahmen der Maßnahme durch elektronisch geregelte Pumpen ersetzt:

Umwälzpumpe alt	Heizkreise	el. Leistung	Umwälzpumpe, neu	el. Leistung
Grundfos UMC 50/60	Hörsaal, Altbau Ost	250 W	Wilo Top E 40/1-4	150 W
Wilo P40/100r	Neubau Süd Wirtschaftstrakt Kapelle	150 W 150 W 150 W	Wilo Top E 40/1-4	150 W 150 W 150 W
Wilo P50/2	Unterstation Nord Bettentrakt	200 W 200 W	Wilo Top 50/1-6	200 W 200 W
Wilo P40/2	Lüftung Hörsaal	150 W	Wilo Top E 40/1-4	150 W
KSB Rio K57	Schwesternheim Verwaltungstrakt	250 W 250 W	Wilo Top 50/1-6	200 W 200 W
gesamt		1.750 W		1.550 W

Tabelle 9.2.3-1 Austausch der Umwälzpumpen

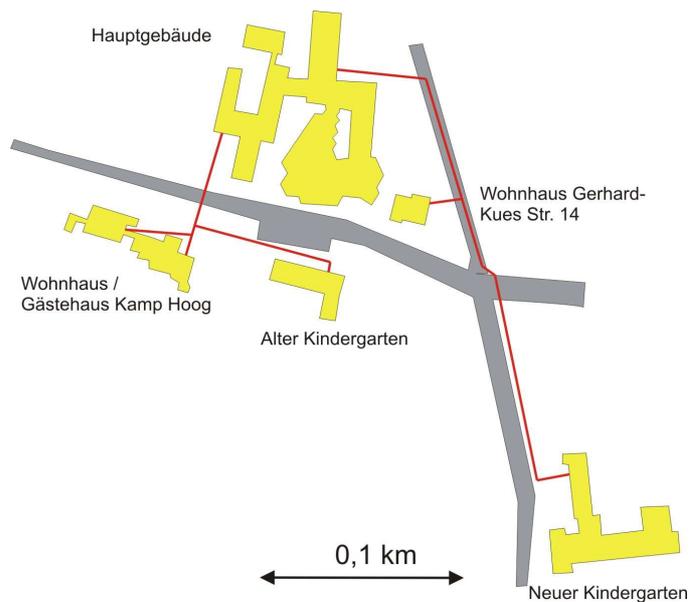
Während unregulierte Pumpen unabhängig vom tatsächlichen Heizwasserbedarf stets mit einer kontinuierlichen elektrischen Leistung arbeiten, passen elektronisch geregelte Pumpen die ihre Förderleistung dem Bedarf an. Somit werden die eingegebenen elektrischen Leistungen nur bei maximalem Wärmebedarf benötigt. Zwar wurden die aufgenommenen Strommengen der neu installierten Pumpen nicht eigens messtechnisch erfasst, dennoch kann aufgrund der elektronischen Leistungsanpassung sowie der gleichzeitig über die zentrale Steuerung vorgegebene Abschaltung außerhalb der Heizperiode von einer nennenswerten Einsparung ausgegangen werden. Hersteller (z.B. Wilo, Grundfos) nennen für derartige Erneuerungsmaßnahmen Einsparungen von 30-40%. Vor der Erneuerung wurden die Umwälzpumpen durchgehend, d.h. 8.760 Stunden im Jahr betrieben. Hierbei wurden $1,75 \text{ kW} \times 8.760 \text{ h} = 15.330 \text{ kWh}$ Strom verbraucht. Allein bei einer Einsparung von 30% werden nun jährlich etwa 4.600 kWh Strom weniger benötigt.

9.2.3.2 Erneuerung der Mess- Steuer- und Regelungstechnik

Im Hauptheizraum wurde die gänzliche Steuerungstechnik einschl. Schaltschränke erneuert. Es wurden Steuerung des Systemherstellers Elrest eingebaut, die Software wurde für die Anwendung eigens programmiert. Die Hauptsteuerung ist mit einer „touchscreen“ ausgestattet, die anhand vereinfachter grafischer Darstellungen eine einfache Navigation durch die gesamte technische Anlage ermöglicht. Sowohl hier, an den Steuerungen der Unterstation, als auch am Leitcomputer können die Parameter geändert werden. Dazu gehören z.B. Heizkennlinien, Absenkttemperaturen und Absenkezeiten, Einstallparameter für Pumpen und Stellventile usw.

9.2.3.3 Errichtung der zentralen Wärmeversorgung

Für die Zentralisierung der Wärmeversorgung wurden Nahwärmeleitungen verlegt und die Anbindung an die vorhandenen Wärmeverteilsysteme geschaffen. Dabei wurden abgängige Anlagenbauteile demontiert bzw. außer Betrieb genommen. Abbildung 9.2.3.3-1 zeigt die angeschlossenen Gebäude und den Verlauf der Nahwärmeleitungen. Zum Verlegen der Nahwärmeleitungen in das Erdreich mussten sowohl Grünbereiche als auch gepflasterte Wege und



Asphaltstraßen durchquert werden. Ebenfalls war eine Vielzahl an bereits vorhandenen erdverlegten Versorgungsträgern wie: öffentliche Stromversorgung, Straßenbeleuchtung, Trinkwasser, Abwasser, oder Telefon / Datenträgerkabel zu berücksichtigen. Daher wurde als Rohrsystem ein flexibles, vorisoliertes Kunststoffrohrsystem gewählt, um einerseits aufwendige Schweißarbeiten im Erdreich zu vermeiden, andererseits um bei Querung vorhandener Versorgungsträger ohne Einsatz weiterer Rohrformstücke ausweichen zu können.

Abb. 9.2.3.3-1 Nahwärmenetz

Technische Daten:	Gesamtlänge der Heiztrasse	510 m
	Hersteller Nahwärmeleitungen:	Kusimex
	Rohrtyp:	microflex-twin
	eingesetzte Nennweiten:	DN 20 bis DN 50
	Rohrdurchmesser einschl. Isolierung:	125 mm (DN 20) 200 mm (DN 50)

9.2.3.4 Anschluss an die Abwasserleitung der Raffinerie

Mit der Verlegung der Nahwärmeleitungen wurde auch hinsichtlich der Anbindung an die Abwasserleitung mit den Arbeiten begonnen. Die Leitung der Erdölraffinerie aus Polyethylen hatte im Bereich des Anschlusspunktes einen Durchmesser von 355 mm. Zur Durchführung der Arbeiten wurde die Abwasserförderung seitens der Erdölraffinerie für 24 Stunden unterbrochen. Innerhalb dieser Zeit musste der Anschluss soweit erstellt werden, dass die Leitung wieder in Betrieb genommen werden konnte.

Für den Anschluss wurde die Leitung freigelegt und ein Betonschacht zur Aufnahme der Abwasserpumpe und speziellen Absperrschiebern eingebracht. Nach den Vorbereitungen wurde ein etwa 3 m langes Teilstück aus der Abwasserleitung getrennt. Die Aufnahme zeigt einen Arbeiter beim Heraustrennen des Teilstückes. Mit Elektroschweißmuffen wurde ein speziell angefertigtes und geprüftes Teilstück mit zwei Abgängen eingesetzt. Diese Abgänge – für Vor- und Rücklauf wurden zum Schacht geführt und dort entsprechende Absperrvorrichtungen installiert.



Abb. 9.2.3.4-1 Trennen der Abwasserleitung



Abb. 9.2.3.4-2 Abwasserschacht

Technische Daten

Abwasserleitung

Länge: ca. 700 m

Material: PE HD 100

Vorlauf: 125 x 7,6 mm

Rücklauf: 140 x 10,6 mm

Abwasserschacht:

Durchmesser: 2.500 mm

lichte Höhe: 1.800 mm

Abwasserpumpe:

Fabrikat: Herborner P.

Typ: Unipump 3, HK 50

Fördermenge: 17 m³/h

Förderhöhe: 15 m

Stromaufnahme: ca. 1,7 kW

9.2.3.5 Entwicklung und Installation der Wärmepumpenanlage

Wärmepumpenanlage

Wie zuvor beschrieben sollte die Projektphase I zur Entwicklung der Wärmepumpenanlage dienen. Die folgende Aufnahme zeigt einen Ausschnitt aus dem Versuchsstand in Essen. Links ist das Gestell der Anlage, an und der Verdampfer zu erkennen, die Gaskühler sind im rechten Foto zu erkennen:



Abb. 9.2.3.5-1 und 2 Versuchsstand in Essen

Für die Projektphase I wurde ein eigener Abschlußbericht /9/ erstellt. Dennoch sollen an dieser Stelle die wesentlichen Aspekte und Ergebnisse kurz vorgestellt werden:

Vorgaben für die Anlagenentwicklung und Versuchsdurchführung

Um die Wärmepumpenanlage bei erfolgreichem Abschluss der Entwicklung und Erprobung im LWH einsetzen zu können, waren die am LWH erwarteten Rahmenbedingungen bei der Versuchsdurchführung zu berücksichtigen. Daher wurden folgende Vorgaben gemacht:

- Temperatur Heizungswasservorlauf: 70°C
- Temperatur Heizungswasserrücklauf: 40°C
- Wärmeleistung: 120 kW
- Wärmequellentemperatur: 20°C bis 30°C

Mit den Versuchen sollten die Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit und Regelbarkeit der Technik ermittelt werden.

Die Wärmeleistung von 120 kW sollte durch drei getrennte, völlig gleichartige Wärmepumpen bereitgestellt werden, die sekundärseitig durch die Wasserkreisläufe zu einem Verbund zusammengeschaltet werden. Wegen der Gleichartigkeit der geplanten drei Kreisläufe wurde auf dem Versuchsstand nur ein Kreislauf mit 40 kW untersucht.

Auslegung und Festlegung von Anlagenkomponenten

Die Auswahl von Komponenten für die Wärmepumpenanlage fand aus einem stark eingeschränkten Angebot statt.

Der Verdichter. Nach Ermittlung der Anforderungen war letztendlich nur ein Hersteller in der Lage, einen den Bedürfnissen entsprechenden Verdichter zur Verfügung zu stellen. Zum

Einsatz kam ein einstufiger, zweizylindriger Hubkolbenverdichter Typ TCS 351 H der Firma Dorin / Italien. Dieser halbhermetisch sauggasgekühlte Verdichter hat eine elektrische Anschlussnennleistung von 12 kW und einen Ansaugvolumenstrom von 8,8 m³/h.

Die Drosselorgane: Zur Drosselung des Kältemittelmassenstroms von Hochdruck auf niedrigeren Verdampfungsdruck wurden 4 parallel geschaltete Expansionsventile Typ RTC-C 1,9/1,5 der Firma Egelhof eingesetzt. Diese wurden von der Regelungseinheit MPS 21-C2 gemeinsam angesteuert. Dieser Regler unterstützt die Überhitzung- und Hochdruckregelung, wobei die statischen Führungsgrößen jeweils frei wählbar sind.

Wärmeübertrager: Wegen der hohen kältemittelseitigen Drucklage (120 bar) konnten keine handelsüblichen Wärmeübertrager eingesetzt werden. Infolgedessen mussten diese nach den Richtlinien der Druckbehälterverordnung ausgelegt und berechnet werden. Sie wurden anschließend als Sondermodelle in Fachwerkstätten angefertigt.

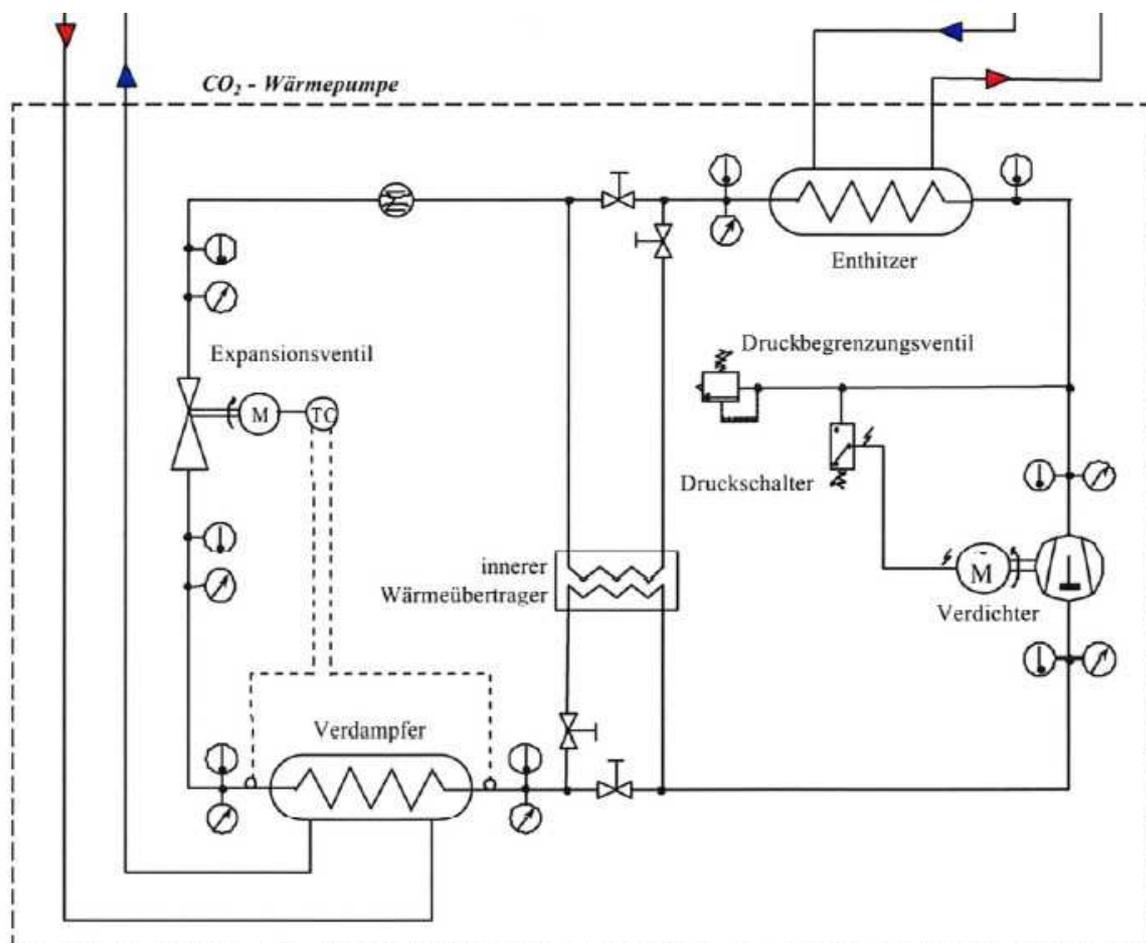


Abb. 9.2.3.5-3 Funktionsschema der Wärmepumpenanlage

Abbildung 9.2.3.5-3 zeigt das Funktionsschema der Wärmepumpenanlage. Dieses Funktionsschema wurde ebenfalls bei späteren Aufbau der Anlage im LWH zugrunde gelegt.

Ergebnisse der Entwicklung

Die Wärmetauscher

Für den Versuchsstand wurde ein Enthitzer mit einer Austauschfläche von 2,67 m² als Rohr-in-Rohr Wärmetauscher entwickelt. Diese Fläche erwies sich jedoch als zu klein, so dass zur Erweiterung ein weiterer Wärmeübertrager mit 1,42 m² gebaut wurde. Die erforderliche Wärmetauscherfläche wurde bei dem späteren Aufbau der Wärmepumpenanlage im LWH berücksichtigt und dementsprechend die Enthitzer der zwei weiteren Anlage von vornherein mit einer Austauschfläche von 4.2 m² konstruiert. Als Verdampfer wurden für den Versuchsstand drei Rohrbündelwärmetauscher mit einer Austauschfläche von je 1,5 m² konstruiert. Sie waren mit dieser Austauschfläche ausreichend bemessen, so dass in gleicher Bauweise sechs weitere Verdampfer zum Aufbau der Anlage im LWH gefertigt wurden.

Betriebssicherheit der neu entwickelten CO₂-Wärmepumpenanlage

Da für die Betriebssicherheit einer Wärmepumpe maßgeblich der Verdichter als mechanisch hoch belastetes Bauteil verantwortlich ist, konzentrierten sich die Untersuchungen des IATK auf diese Anlagenkomponente. Nach etwa 9.000 Betriebsstunden, von denen die Anlage über 1.400 Stunden einem Taktbetrieb (Ein- bzw. Ausschalten des Verdichters im Zeitintervall von 10 Minuten) ausgesetzt wurde, konnten keine betrieblichen Veränderungen am Verdichter festgestellt werden. Auch Analysen des Verdichter-Schmieröles wiesen keine Anzeichen von Verschleiß auf, so dass von einer ausreichenden Betriebssicherheit ausgegangen werden konnte.

Regelbarkeit: der neu entwickelten CO₂-Wärmepumpenanlage

Der einzelne Wärmepumpenkreislauf ist abgesehen von den Expansionsventilen nicht regelbar. Da die Gesamtanlage dennoch aus drei baugleichen Einzelanlagen bestehen sollte, ist durch den Betrieb einer unterschiedlichen Anzahl an Einzelanlagen eine 3-stufige Leistungsanpassung möglich.

Leistungsfähigkeit der neu entwickelten CO₂-Wärmepumpenanlage

Zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit wurden Versuche in einem Parameterfeld um den Auslegungspunkt durchgeführt. Dabei wurden Wärmequellentemperaturen von 20 bis 30°C, Vorlauftemperaturen (Heizwasser) von 60°C bis 75°C und Rücklauftemperaturen (Heizwasser) von 30°C bis 40°C angenommen. In diesen Versuchen wurden u.a. die Wärmeleistungen (Äußere Wasserkreisläufe und kältemittelseitige Kreisläufe), Stromaufnahme des Verdichters und Stromaufnahme der Umwälzpumpen erfasst. Zur Darstellung der Leistungsfähigkeit wurden anhand der aufgenommenen Daten innere Leistungszahlen, äußere Leistungszahlen (netto und brutto) und Gütegrade (netto und brutto) berechnet.

Innere Leistungszahl: Sie betrachtet die Enthalpien im Kreisprozess der Wärmepumpe und wird vorrangig durch den isentropen Wirkungsgrad des Verdichters bestimmt. Es wird nur das Kältemittel betrachtet und Verluste in den Wärmeübertragern vernachlässigt.

Äußere Leistungszahl: Sie gibt das Verhältnis von abgegebener (Nutzwärme) zur eingesetzten elektrischen Energie wieder. Wird dabei alleinig die Stromaufnahme des Verdichters

einbezogen, so erhält die Nettoleistungszahl. Wird zusätzlich die Arbeit der Hilfsantriebe (Pumpen, Ventilatoren etc.) herangezogen, so ergibt sich die Bruttoleistungszahl.

Gütegrad: Er wird errechnet aus dem Verhältnis von den Leistungszahlen des realen Prozesses zu denen des theoretisch optimalen Prozesses (Carnot-Prozess). Alleinig auf den Kältemittelkreislauf bezogen erhält man den inneren Gütegrad, auf die Gesamtanlage bezogen wiederum den äußeren Gütegrad. Der maximale Wert beträgt 1, da es in der Praxis jedoch keine verlustfreien Prozesse gibt, wird dieser Wert nie erreicht.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen die Versuchsergebnisse:

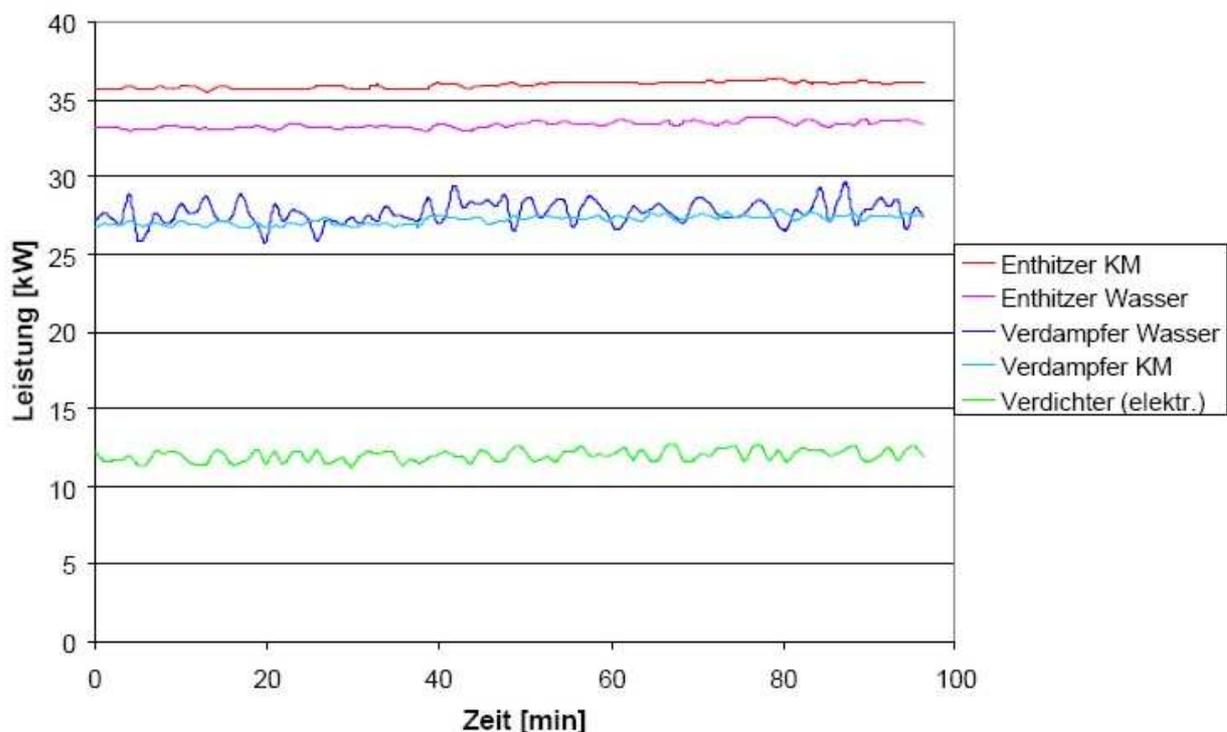


Abb. 9.2.3.5-4 Wärmeleistungen und Stromaufnahme

Abbildung 9.2.3.5-4 zeigt die ermittelten Wärmeleistungen und die Stromaufnahme des Verdichters. Die Stromaufnahme des Verdichters liegt im Bereich von 11 bis 12 kW. Die an das Heizwasser abgegebene Wärmeleistung beträgt ca. 33 kW. Zwar wird die anvisierte Nennwärmeleistung von 40 kW unterschritten, dennoch zeigt sich insgesamt eine recht kontinuierliche Prozessführung. Für den Einsatz der Anlage waren die Leistungszahlen von höherer Bedeutung. Daher erfolgten diesbezüglich weitere Auswertungen.

Die nachfolgende Abbildung 9.2.3.5-5 zeigt die ermittelten äußeren Nettoleistungszahlen in Abhängigkeit der Wärmequellentemperatur sowie heizungsseitigen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen.

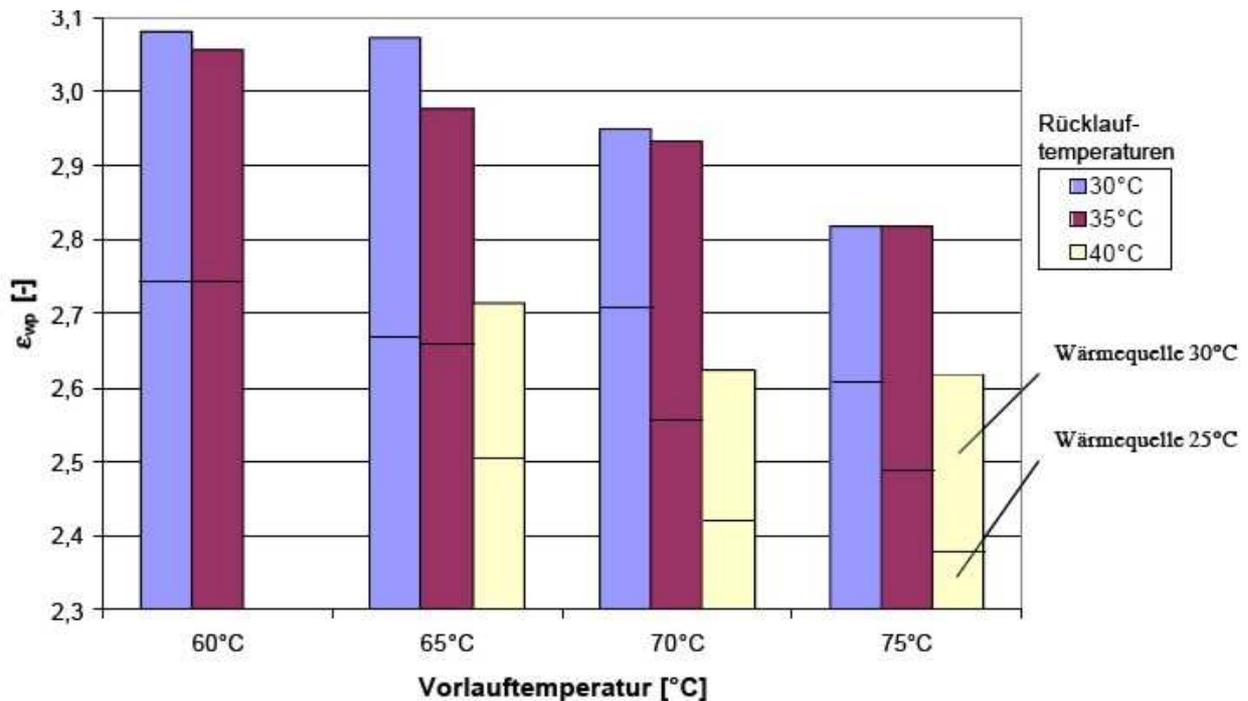


Abb. 9.2.3.5-5 Äußere Nettoleistungszahlen in Abhängigkeit der Ecktemperaturen.

Am Beispiel der zweiten Messreihe wird deutlich, dass die äußere Nettoleistungszahl bei Wärmequellentemperatur von 30°C, einer Heizungsrücklauf-temperatur von 30°C und Heizungsvorlauf-temperatur von 65°C über den Wert 3 liegt. Sie nimmt mit zunehmender Rücklauf-temperatur oder fallender Wärmequellentemperatur ab. Bei einer Rücklauf-temperatur von 40°C beträgt sie etwa 2,7. Durch die Auswertungen der Projektphase wurde deutlich, welche Temperaturbedingungen für einen späteren effizienten Betrieb der Anlage im LWH von Bedeutung sein sollten.

Einfluss des Druckes im Kältemittelkreislauf

Der Einfluss des Druckes im Kältemittelkreislauf wurde in der Projektphase I in den theoretischen Betrachtungen berücksichtigt. Anhand der thermodynamischen Grundlagen wurde ermittelt, dass angesichts der zu erwartenden Betriebsbedingungen (Temperaturen von Heizwasser und Wärmequelle) bei einer Verdichtung des Kohlendioxids auf etwa 100 bis 110 bar die höchsten Leistungszahlen zu erwarten sind (/9/, Seite11). Mit diesen Drücken wurden die späteren Versuche durchgeführt.

Aufbau der Wärmepumpenanlage im LWH

Die installierte Wärmepumpenanlage im Ludwig – Windthorst – Haus sollte aus drei einzelnen Wärmepumpenkreisen bestehen. Je nach benötigter Leistung sollten dann die einzelnen Wärmepumpenkreise zu- oder abgeschaltet werden können.

Bis auf die schwierige Handhabung großen, schwerer oder sperriger Bauteile verlief die Demontage in Essen problemslos. Maßgeblich für den Erfolg war auch die hervorragende Kooperation der Universität Essen.

Im Lingen wurde die Anlage durch ein regionales Fachunternehmen aus der Kältetechnik aufgebaut. Für die Rohrleitungen wurde angesichts der hohen Drücke von bis zu 120 bar spezielle Komponenten des Herstellers swagelok eingesetzt. Diese Bauteile waren zwar sehr kostspielig, bieten jedoch ein maximale Sicherheit für den langjährigen Betrieb. Auf dem folgenden Foto das ursprüngliche Gestell wieder zu erkennen.



Abb. 9.2.3.5-3 Wärmepumpe im LWH



Abb. 9.2.3.5-4 Die Verdichter

Die Verdichter wurden von der Firma Dorin aus Italien bezogen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Wärmepumpenanlage sind die elektronisch gesteuerten Expansionsventile. Sie werden benötigt, um das Kältemittel vom Hochdruck auf den niedrigeren Verdampfungsdruck zu drosseln. Bei den in der Anlage verwendeten Expansionsventilen handelt es sich um Ventile der Firma Egelhof. Weiterhin ist die Anlage mit den notwendigen Sicherheitsvorkehrungen, wie z.B. Berstscheiben, Druckbegrenzerventilen etc ausgestattet. Die gesamte Wärmepumpenanlage wurde vom TÜV Nord abgenommen. Der TÜV Nord führte eine Untersuchung der Wärmepumpenanlage durch. Die Untersuchung und nachfolgende Abnahme der Anlage erfolgte unter Berücksichtigung der gültigen Druckgeräterichtlinie.

Technische Daten:	Verdichter	Hersteller:	Dorin, Italien
		Typ	TCS 351 H
		Stromaufnahme:	ca. 9-11 kW
		Verdichtung:	einstufig, zweizylindrig
		Kältemittelfüllmenge (je Anlage):	ca. 20 kg

Hinsichtlich der Betriebserfahrungen – insbesondere in Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Entwicklungsphase wird in Abschnitt 9.3 berichtet.

9.2.3.6 Installation der Kraft-Wärme-Kopplung

Die Kraft-Wärme-Kopplung

Zur Kraft-Wärme-Kopplung wurden im LWH zwei erdgasbefeuerte Blockheizkraftwerke eingebaut. Diese sind nach Stand der Technik und den Energiebedürfnissen des LWH angepasst gebaut worden. Insbesondere die Lüftungstechnik weist einige Besonderheiten auf:



Abb. 9.2.3.6-1 BHKW im LWH



Abb. 9.2.3.6-2 BHKW- Innenansicht

Die Blockheizkraftwerke sind für einen wärmegeführten Betrieb eingerichtet und werden mit einer Last von etwa 85 % gefahren. Die Strahlungswärme des Motors, Generators und der Rohrleitungen werden über ein Wärmerückgewinnungsverfahren genutzt. Ein Teil dieser Wärmerückgewinnung ist im hinteren Teil von Abb. 9.2.3.6-1 zu erkennen. Meist ist es üblich, die nicht nutzbare Abwärme der BHKW wie Motorstrahlung etc. über Zu- und Abluftanlagen abzuführen. Das Vorhandensein der Wärmepumpenanlage ermöglicht hier jedoch effizientere Lösungen: Die Kühlluft wird über ein geschlossenes Luftkanalsystem im Kreis gefahren, sie wird dabei durch Luftfilter und ein wassergekühltes Register geführt. Hier wird die Abwärme über einen Heizwasser- (bzw. Kühlwasser-) Kreislauf auf den primären Pufferspeicher der Wärmepumpe gefördert. Somit wird die Wärme effizient genutzt.

Im weiteren sind die Blockheizkraftwerke zusätzlich mit Gaszählern, Wärmemesseinrichtungen und Stromzählern ausgerüstet, um insbesondere für den Nachweis eines Mindestwirkungsgrades verlässliche Daten zu liefern. Jedoch auch bei der messtechnischen Begleitung haben sich die Messeinrichtungen als sehr hilfreich erwiesen.

Die BHKW verfügen über eine vollautomatische Betriebsführung. Der Schaltschrank mit Bedienfeld und Display ist direkt am BHKW installiert. Hierfür wurde das GCP 20 von Woodward eingesetzt. Neben der Überwachung und Regelung der Temperaturen, des Druckes und anderer Betriebsdaten einer Anlage enthält diese Steuerungseinheit eine Steuerungs- und Synchronisierungslogik zum parallelen Betrieb des Generators zum Stromnetz.

Technische Daten der BHKW-Anlage

Es sind zwei baugleiche Blockheizkraftwerke eingebaut worden. Jedes BHKW weist folgende technischen Daten auf:

Gasmotor	Valmet 420 G 4 Takt Gas Otto Motor 4 Zylinder Hubraum 4400 cm ³ Lambdawert 1,41 Brennstoff: Erdgas Brennstoffbedarf (Hu) 93 kWh/h
Generator	Drehstrom - Synchron Generator Fabrikat ECO 32 2S / 4 1500 [1/min] 400 V / 50 Hz elekt. Leistung 20 - 32 kW
Wärmenutzung	Edelstahl-Kühlwasser Wärmetauscher als gelöteter Plattenwärmetauscher Edelstahl-Abgaswärmetauscher als Rohrbündelwärmetauscher
Steuerung	Vollautomatische Betriebsführung Schaltschrank mit Bedienfeld und Display am BHKW montiert
Abmessung	Länge 2000 mm Breite 750 mm Höhe 1735 mm

9.2.3.7 Visualisierung und Fernüberwachung

Zur Darstellung der Anlage und zur einfachen Bedienung wurden eine Prozessvisualisierung eingerichtet. Hiermit ist es einerseits möglich, unmittelbar an der Steuerung oder am PC eine Bedienung vorzunehmen, andererseits liefert der PC hiermit die Grundlage zur Darstellung der Grafiken über einen Beamer.

Der Beamer des LWH ist in der alten Halle des Hauptgebäudes installiert. Diese alte Halle – auch Foyer – befindet sich zwischen Seminarräumen und Kantine. Sie wird als Aufenthaltsbereich genutzt und bietet die optimale Voraussetzung, dass viele Besucher des LWH informiert werden.

Die Grafiken wurden derart aufgebaut, dass neben den technischen Grundlagen auch allgemeine Informationen zu den Betrachter gelangen. Ein Teil der Darstellungen wird nachfolgend gezeigt:



Abb. 9.2.3.7-1 Visualisierung-Startseite



Abb. 9.2.3.7-2 Visualisierung - Partnerseite

Auf der Startseite erfahren die Besucher grundsätzlich, was im LWH eine Erneuerung der Energieversorgung errichtet wurde. Es wird darauf verwiesen, dass es ein durch die DBU gefördertes Projekt handelt, und auch der Landkreis und die Stadt mitgewirkt haben. Die Realisierung des Vorhabens erfolgte durch die AgRo-Energie als Generalunternehmer. Wie auch in anderen Projekten wurde seitens der AgRo-Energie darauf geachtet, dass möglichst regionale Fachunternehmen einbezogen werden. Diese werden auf der zweiten Darstellung genannt.

Die Funktion der Wärmepumpenanlage wird in einer weiteren Grafik vereinfacht dargestellt. Eine entsprechend Grafik wurde auch für das BHKW erstellt, ebenso die Ansicht eines der Aggregate (Abb. 9.2.3.7-4)

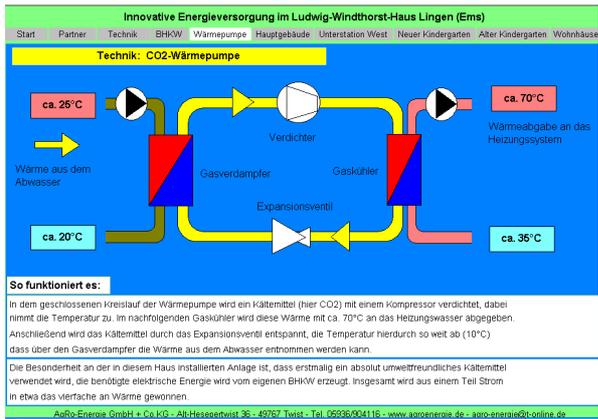


Abb. 9.2.3.7-3 Visualisierung-Wärmepumpe



Abb. 9.2.3.7-4 Visualisierung - BHKW

Aktuelle Betriebsdaten der Anlage werden ebenfalls dargestellt. Sie werden über die direkte Anbindung zur SPS in kurzen Zeitabständen (< 1 Min) automatisch aktualisiert. Auch auf dieser Darstellung ist das neuartige „Dreiverteilersystem“ zu erkennen.

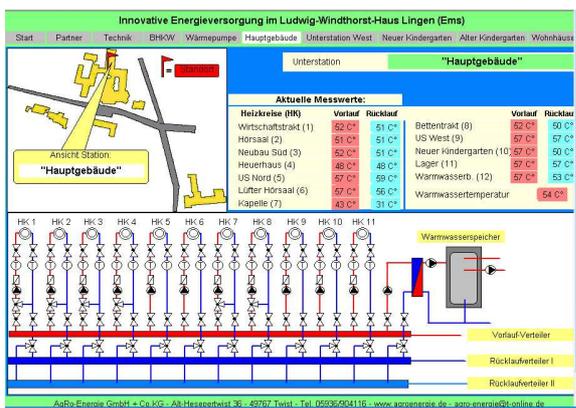


Abb. 9.2.3.7-5 Visualisierung-Hauptanlage

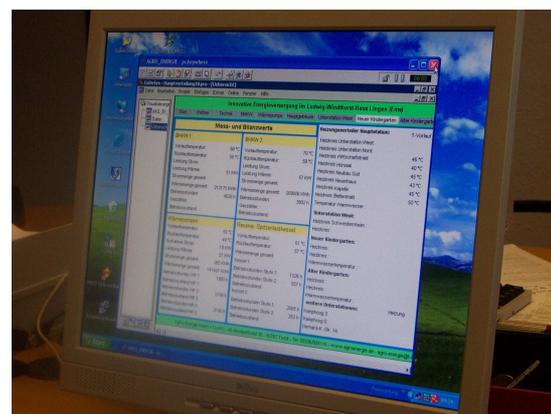


Abb. 9.2.3.7-6 Fernüberwachung

Computer und Modem werden zur Fernüberwachung der Anlage eingesetzt. Sobald Störungen auftreten erfolgt eine Meldung über das Modem. Dabei werden einerseits SMS auf die eingestellten Telefonnummern gesandt, die Art der Fehlermeldung wird zudem als mail an eine definierte e-mail Adresse gesandt.

9.3 Betriebserfahrungen; Optimierung des Anlagenbetriebes

9.3.1 Die Messtechnische Begleitung

Die Messtechnische Begleitung diente schwerpunktmäßig zur Auswertung und Beurteilung der Anlage. Zu diesem Zweck mussten Verbrauchsdaten und Temperaturen in regelmäßigen zeitlichen Abständen erfasst und archiviert werden. Nachfolgend werden die erfassten Größen und die Messverfahren genannt:

Erdgasverbrauch

Erdgas wird für die konventionelle Kesselanlage und für die beiden BHKW eingesetzt. Zur Mengenerfassung befindet sich vor Ort ein Hauptgaszähler, zusätzlich sind für jedes Blockheizkraftwerk unmittelbar an den Aggregaten eigene Gaszähler installiert worden. Die Gasmengenmessung erfolgt im üblichen Verfahren, zusätzlich verfügen die BHKW-Gaszähler über Impulsgeber, um optional eine automatische Auslesung zu ermöglichen. In der messtechnischen Begleitung erfolgte die Ablesung manuell.

Stromverbrauch / Einspeisung

Neben der Trafostation des Hauptgebäude befindet sich die Unterverteilung. Hier ist ein Zähler für den Hauptanschluss seitens des Energieversorgungsunternehmens installiert worden, der sowohl bezogene als auch eingespeiste Strommengen und Leistungen erfasst und archiviert. Auch hier erfolgte die Ablesung manuell.

Die Blockheizkraftwerke selbst sind nochmals mit einer Stromzählvorrichtung ausgerüstet. Diese erfolgt indirekt über die SPS auf Grundlage der Betriebsstunden und gemessenen elektrischen Leistungen.

Zur Bewertung der Wärmepumpenanlage wird der Stromverbrauch von Verdichtern und Abwasserpumpe an der Zuleitung zum Hauptschaltschrank der Wärmepumpenanlage erfasst. Diese Strommengen werden wiederum von der SPS aufgenommen und können zentral am an der SPS oder auch am PC abgelesen werden.

Wärmemengen

Die Wärmeleistung und -menge der BHKW werden von beiden Aggregaten getrennt erfasst und archiviert. Sie erfolgt über eine Temperaturdifferenzmessung in Verbindung mit einer Messung des Volumenstromes. Als Volumenmessteil sind Flügelradgeber des Herstellers Kobold eingesetzt worden. Dieses Verfahren wird ebenfalls bei der Wärmepumpe angewandt.

Temperaturen

Je nach geforderter Genauigkeit sind zur Temperaturmessung PT-Fühler eingebaut worden. Bei einfachen Anforderungen, wie z.B. Messung der Rücklauftemperaturen am Hauptverteiler wurden PT-100 Fühler eingesetzt. Bei höheren Anforderungen(z.B. Wärmemenge) sind es PT-1000 Fühler. In einigen speziellen Bereichen, wie z.B. Abgastemperatur sind Thermoelemente zum Einsatz gekommen. Sämtliche Temperaturen werden von der SPS anhand der gemessenen Widerstände der PT-Fühler errechnet und können zentral abgerufen werden.

Drücke

Die Druckmessung hat insbesondere bei der Wärmepumpe eine hohe Bedeutung. Einerseits wird hierüber der Betrieb abgesichert, andererseits kann anhand der Drücke eine schnelle Kontrolle der Anlage erfolgen. Die Drücke an der Wärmepumpe werden über die Wärmepumpensteuerung automatisch über elektronische Druckaufnehmer (Wika) erfasst, sowohl vor als auch nach den Verdichtern sind Druckanzeigemanometer installiert worden.

Betriebsstunden

Die Betriebsstunden sind eine indirekte Größe zur Beurteilung der Anlagen. Sie werden intern von der Steuerung erfasst und archiviert. Insbesondere für die Bestimmung der mittleren Wärmeleistung und Auslastung sind die Betriebsstunden interessant.

Betriebszustände

Auch die Betriebszustände (z.B. Stellung eines Dreiwegemischers) werden von der SPS erfasst und angezeigt. Diese Daten werden jedoch nur in den Bereichen archiviert, in denen sie zur Auswertung interessant sind.

Erfassen und Auswerten von Daten

Es wurde in monatlichen Abständen die wichtigsten Werte der Temperaturenfühler, der Wärmemengen-, Strom- und Gaszählerstände notiert und ausgewertet. Zu diesem Zweck wurde eine Vorlage erstellt, die folgende Werte erfragt:

Die Blockheizkraftwerke	Menge der Betriebsstunden [h] / Anzahl der Starts [-] Aktuelle Wärmeleistung [kW] / Erzeugte Wärmemenge [kWh] Vorlauf / Rücklauftemperatur [°C] Pufferspeichertemperatur (gesamt) [°C] Strommenge [kWh] Gaszählerstand [m ³]
Die Wärmepumpenanlage	Betriebsstunden Wärmepumpe 1 [h] Betriebsstunden Wärmepumpe 2 [h] Betriebsstunden Wärmepumpe 3 [h] Aktuelle Wärmeleistung (gesamt) [kW] aktuelle Stromaufnahme Verdichter+Pumpen (gesamt) [kW] Erzeugte Wärmemenge (gesamt) [kWh] benötigte Strommenge (gesamt) [kWh] Vorlauf / Rücklauftemperatur [°C]
Die Kesselanlage	Betriebsstunden Stufe 1, Kessel 1 [h] Betriebsstunden Stufe 2, Kessel 1 [h] Betriebsstunden Stufe 1, Kessel 2 [h] Betriebsstunden Stufe 2, Kessel 2 [h]
Allgemein	Außentemperatur [°C] Vorlauftemperatur Hauptverteiler [°C] Stand Hauptgaszähler [m ³] Stand Hauptstromzähler Einspeisung [MWh] Stand Hauptstromzähler Strombezug [MWh]

9.3.2 Optimierung der MSR-Technik

Überwachung der Anlage

Zu Beginn der ersten Heizperiode nach der Inbetriebnahme zeigte sich, dass noch Korrekturen innerhalb der Steuerung vorgenommen werden mussten. Die Korrekturen betrafen im wesentlichen Einstellungen von Grenz- und Sollwerttemperaturen sowie auch Förderhöhen der Pumpen am Hauptverteiler und an den Unterstationen. Vereinzelt traten auch größere Fehler auf. Diese Störungen hätten im ungünstigsten Fall dafür sorgen können, das ganze Fehlerketten ausgelöst werden, die einen kompletten Stillstand der Energieerzeugung des LWH bewirken könnten. Um dies zu vermeiden und auch um auch in die Anlage eingreifen zu können, wenn gewisse Bereiche sich kritisch entwickeln, wurde eine Weiterleitung für die auftretenden Fehler installiert. Diese Einrichtung ermöglichte es bei Auftreten einer Störung sofort eine Fehlermeldung in Form einer Mail und einer SMS an eine vorher eingestellte Adressen zu senden. Hierdurch wurde gerade an Wochenenden und Feiertagen längere Stillstände der Wärmeerzeuger, sofern die Störung nicht zu gravierend war, auf ein Minimum begrenzt. Daneben wurde auch eine „Fernbedienung“ des zur Steuerung eingesetzten Rechners eingerichtet. Hierdurch war die AgRo Energie in der Lage vom Büro aus Eingriffe in die Steuerung vorzunehmen, ohne eine längere Anfahrt tätigen zu müssen.

Regelung der Heizungstechnik

Steuern und Regeln sind technische Vorgänge bei Geräten in Anlagen und Funktionssystemen, bei denen die Größen Temperatur, Druck, Geschwindigkeit und dergleichen oder technische Größen auf Grund vorgegebener Gesetzmäßigkeiten in beabsichtigter Weise beeinflusst werden. Jede technische gewollte Änderung stellt demnach eine Steuerung oder Regelung dar. Auch die neu errichtete Energieerzeugungsanlage im LWH wird über die Einflussnahme von Steuerungs- und Regelungseinheiten, nach voreingestellten Parametern in diesem Fall die Temperatur gesteuert.

Im der ersten Heizperiode wurde sich ein verstärktes Schwingen der Heizkreistemperaturen erkennbar. Dieses Schwingen wird durch folgende grafische Auswertung verdeutlicht:



Abbildung 9.3.2.-1 Heizkreis vor Installation der PID -Steuerung

Um dem entgegen zu wirken wurden PID Regler in die Regelung der Heizkreis integriert. Dabei mussten die Parameter anhand einer Auswertung der Datenkurven ermittelt werden. Die grundsätzliche Notwendigkeit einer PID Regelung wird bei dessen näheren Betrachtung deutlich:

PID – Regler

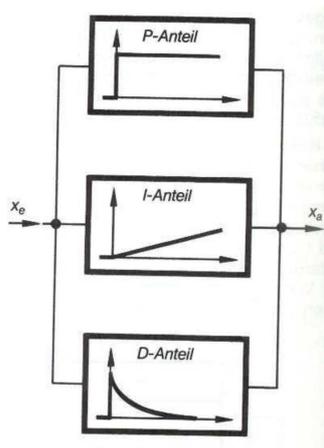


Abbildung 9.3.2-2

Blockschaltbild eines PID - Reglers mit
Eingangsgröße x_e und Ausgangsgröße

Funktionsweise eines PID Reglers

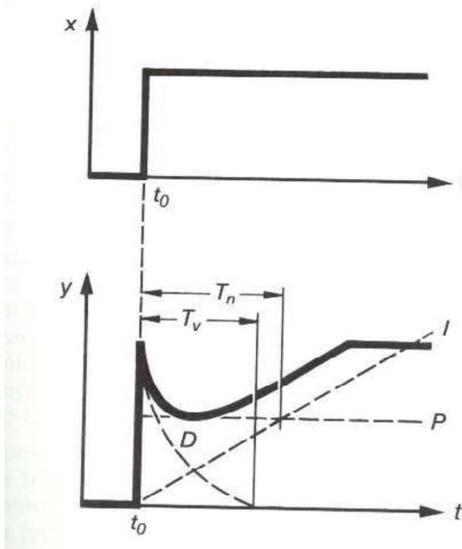


Abbildung 9.3.2 -3 Sprungfunktion eines PID-Reglers

Der PID – Regler ist eine Kombination aus P- Regler, I-Regler und D-Regler, die man sich theoretisch als eine Parallelschaltung dieser drei Regler vorstellen kann.

Aufgabe eines PID Reglers ist es bei noch so schwierigen Regelaufgaben ein besonderes schnelles ausregeln einer aufgetretenen Regelabweichung zu kompensieren und den geforderten Sollwert zu gewährleisten.

Bei einem Eingangssprung steigt die Ausgangsgröße infolge des D-Anteils sehr schnell an. Die Ausgangsgröße würde aber sofort wieder auf Null abfallen , wenn der Eingangssprung zu ende ist und sich nichts mehr bewegt. Dieser „Rückfall“ auf Null wird durch den P-Anteil verhindert, der die Ausgangsgröße mehr oder minder je nach eingestellten P-Bereich abbremst. Danach wird der I-Anteil des Reglers wirksam, der sich mit dem P-Anteil überlagert. Die Ausgangsgröße steigt dann entsprechend der Nachstellzeit T_n noch kurz an, weil dann bereits der anzusteuernde Wert erreicht ist.

Das Zusammenwirken dieser Abläufe erfordert allerdings eine hohe Einstellpräzision.

Der PID-Regler hat also drei einstellbare Kenngrößen:

- den Proportionalbereich x_p
- die Vorhaltezeit T_v
- die Nachstellzeit T_n

Diese drei einzustellenden Kenngrößen finden sich in der nachfolgend dargestellten, neu installierten, Bedienmaske für die Reglersteuerung im LWH mit den Kurzzeichen HY1, HY2 und HY3 wieder. Sie zeigt sich wie folgt:

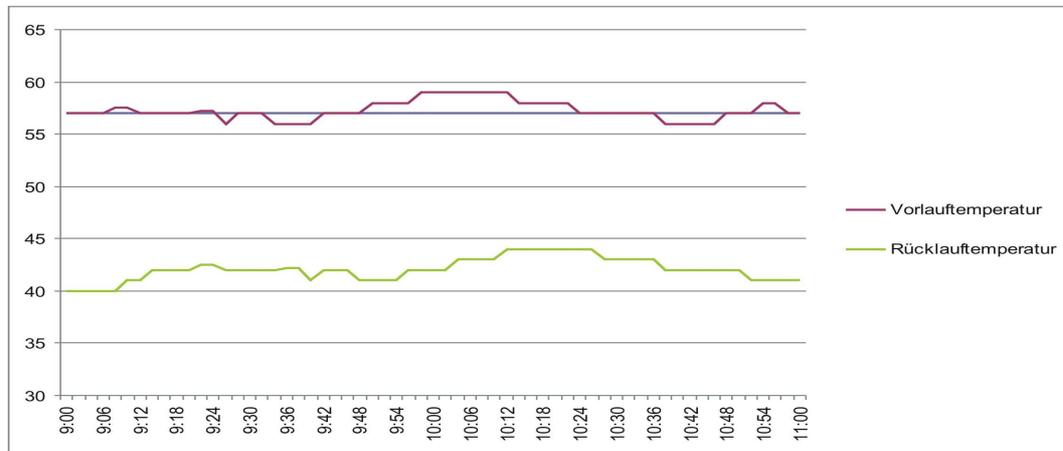


Abbildung 9.3.2-4 Darstellung Heizkreis mit neuer, integrierter PID Software

9.3.3 Erfahrungen mit dem Betrieb der Wärmepumpenanlage

Allgemein

Hinsichtlich des Wärmepumpenbetriebes wurden während der messtechnischen Begleitung sowohl regelmäßige Kontrollen der Anlage durchgeführt, als auch die Betriebsdaten über die SPS erfasst und gespeichert. Nachfolgend werden zunächst die praktischen Erfahrungen mit dem Betrieb der Anlage beschrieben, anschließend werden die aufgenommenen Betriebsdaten genannt und anhand von Grafiken verdeutlicht. Im letzten Teil dieses Abschnittes werden die Gründe und Ursachen des beobachteten Anlagenbetriebes und –verhaltens diskutiert.

Praktische Erfahrungen

Der Aufbau der Wärmepumpenanlage im LWH erfolgte ohne nennenswerte Probleme. Zwar nimmt die Anlage im LWH einschließlich des Pufferspeichers mit einer Aufstellfläche von ca. 20 m² in Anspruch, angesichts der Größe der Wärmetauscher war eine kompaktere Bauweise ohne konstruktive Änderung der Wärmetauscher kaum möglich. Innerhalb des zurückliegenden Anlagenbetriebes waren an der Anlage verschiedene Wartungsarbeiten notwendig:

Die Verdichter

Von den insgesamt drei Verdichtern wurden an einem nach etwa 18 Monaten Undichtigkeiten festgestellt. Es mussten die Dichtungen am Kolben des Verdichters erneuert werden. Nachdem die Materialien vom Verdichterhersteller zugesandt wurden, konnten die erforderlichen Arbeiten innerhalb weniger Stunden vor Ort durchgeführt werden. Seither wurden keine weiteren Störungen festgestellt.

Die Expansionsventile

Zunächst standen für die Errichtung der Anlage Expansionsventile mit einem Gehäusekopf aus Kunststoff zur Verfügung. Im Laufe mehrerer Monate zeigten einige der Ventile zunehmend Undichtheiten auf. Seit Beginn 2006 hat der Hersteller die Ventile überarbeitet und liefert sie mit metallendem Gehäusekopf. Seither besteht das Problem nicht mehr.

Verschraubungen, Rohrleitungen und Flex-Schläuche

Die Verschraubungen und Rohrleitungen waren in der Beschaffung und Verarbeitung zwar recht kostspielig, sie haben seither dennoch keinerlei Probleme verursacht. Zur Schallentkopplung sind am Hochdruckteil der Verdichter flexible, edelstahlummantelte Schläuche eingebaut worden. Einer der drei Schläuche wurde nach etwa 12 Monaten undicht und wurde vom Hersteller auf die Ursache untersucht. Er lieferte als Ergebnis, dass eine Strömungsumlenkung mit den Schläuchen aufgrund der abrasiven Wirkung bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten vermieden werden sollte. Im August 2006 wurden sämtliche Schläuche erneuert und notwendige konstruktive Änderungen durchgeführt.

Die Wärmetauscher

Die Wärmetauscher weisen seit Inbetriebnahme keine Probleme auf.

Die Steuerung und Messtechnik

Die Steuerung arbeitet seit Inbetriebnahme einwandfrei. Hinsichtlich der Messtechnik musste bisher eine der drei Druckmessdosen neu justiert werden.

Die Berstscheiben

Zur Absicherung der Anlage sind Berstscheiben als Sollbruchstelle eingebaut worden. Während der Inbetriebnahme der Anlage war es durch einen Bedienfehler (geschlossener Absperrschieber nach Verdichter) zum Bersten einer Scheibe gekommen. Bei einem solchen Bersten tritt nach einer hohen Geräuschentwicklung das Kältemittel bis zum Erreichen des Umgebungsdruckes aus. Aus Sicherheitsgründen wurde daher eine konstruktive Änderung vorgenommen: Die Berstscheiben befinden sich nicht mehr in unmittelbarer Nähe der Anlage (Aufenthaltsbereich bei Wartung / Bedienung) sondern sind über Rohrverlängerungen in einen Nebenraum geführt worden. Dieser ist wiederum nur über einen Kriechkeller aus dem Heizungsraum zu erreichen. Seither ist noch nicht wieder zum Bersten einer Scheibe gekommen.

Das Kältemittel Kohlendioxid

Über die Hochdruck-Manometer in Front der Wärmepumpenanlage ist eine schnelle und einfache Anlagenkontrolle möglich. In den ersten Wochen wurde es oftmals notwendig, Kohlendioxid nachzufüllen. Dieses ist praktisch recht unproblematisch, ebenfalls ist Kohlendioxid ein recht kostengünstiges Gas. Mit zunehmender Betriebsdauer nahm der Kältemittelverlust ab. Seither ist es ausreichend, bei halbjährigem Wartungszyklus Kohlendioxid nachzufüllen. Die halbjährige Nachfüllmenge beträgt nach bisherigen Betriebserfahrungen für alle drei Einzelanlagen insgesamt etwa 3 bis 5 kg Kohlendioxid.

Betriebsdaten und Auswertung

Die Betriebsdaten der Wärmepumpenanlage wurden im Rahmen der messtechnischen Begleitung regelmäßig erfasst und aufgezeichnet. Über diese Daten wurde zudem ein monatlicher Rapport erstellt. Die relevanten Daten sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

Monat	Stunden	Betriebsstunden	Wärmemenge	Strommenge	Abwasserwärme	Arbeitszahl
Jan 05	720,0 std.	304,3 std.	22429 kWh	10051 kWh	12378 kWh	2,23
Feb 05	672,0 std.	599,2 std.	61695 kWh	19763 kWh	41932 kWh	3,12
Mrz 05	720,0 std.	253,9 std.	26693 kWh	8380 kWh	18313 kWh	3,19
Apr 05	720,0 std.	225,2 std.	21035 kWh	6993 kWh	14043 kWh	3,01
Mai 05	720,0 std.	213,4 std.	22772 kWh	6627 kWh	16145 kWh	3,44
Jun 05	720,0 std.	35,2 std.	3744 kWh	1082 kWh	2662 kWh	3,46
Jul 05	720,0 std.	3,3 std.	360 kWh	115 kWh	245 kWh	3,14
Aug 05	720,0 std.	12,0 std.	1106 kWh	372 kWh	734 kWh	2,97
Sep 05	720,0 std.	53,9 std.	5851 kWh	1662 kWh	4189 kWh	3,52
Okt 05	720,0 std.	169,0 std.	15754 kWh	5229 kWh	10525 kWh	3,01
Nov 05	720,0 std.	484,4 std.	45803 kWh	15018 kWh	30786 kWh	3,05
Dez 05	720,0 std.	574,4 std.	52111 kWh	17232 kWh	34879 kWh	3,02
Jan 06	720,0 std.	645,0 std.	56125 kWh	18705 kWh	37420 kWh	3,00
Feb 06	672,0 std.	591,0 std.	51564 kWh	17149 kWh	34415 kWh	3,01
Mrz 06	720,0 std.	679,3 std.	61134 kWh	19707 kWh	41426 kWh	3,10
Apr 06	720,0 std.	322,8 std.	28403 kWh	9370 kWh	19032 kWh	3,03
Mai 06	720,0 std.	69,1 std.	6011 kWh	1995 kWh	4016 kWh	3,01
Jun 06	720,0 std.	6,3 std.	556 kWh	181 kWh	375 kWh	3,07
Jul 06	720,0 std.	1,0 std.	84 kWh	28 kWh	56 kWh	3,00
Aug 06	720,0 std.	0,0 std.	0 kWh	0 kWh	0 kWh	0,00

Tabelle 9.3.3-1 Daten des Wärmepumpenbetriebes

Erläuterung zur Tabelle 9.3.3-1:

Spalte	Titel	Inhalt	Einheit
1	(Monat)	Monat der Aufzeichnung	[-]
2	Stunden	Gesamtstunden des Monats	[std.]
3	Betriebsstunden	Auf Gesamtwärmepumpenanlage errechnete Betriebsstunden. (= Summe der Betriebsstunden aller drei Wärmepumpenanlagen / 3)	[std.]
4	Wärmemenge	Von der Wärmepumpenanlage produzierte Wärmemenge	[kWh]
5	Strommenge	Von der Wärmepumpenanlage und der Abwasserpumpe aufgenommene Strommenge	[kWh]
6	Abwasserwärme	Differenz Wärmemenge – Strommenge	[kWh]
7	Arbeitszahl	Quotient aus der produzierten Wärmemenge und der gesamt aufgenommenen Strommenge	[-]

Anhand der aufgenommenen Betriebsdaten werden nachfolgend weitere Betrachtungen durchgeführt. Anschließend erfolgt die Beschreibung und Auswertung.

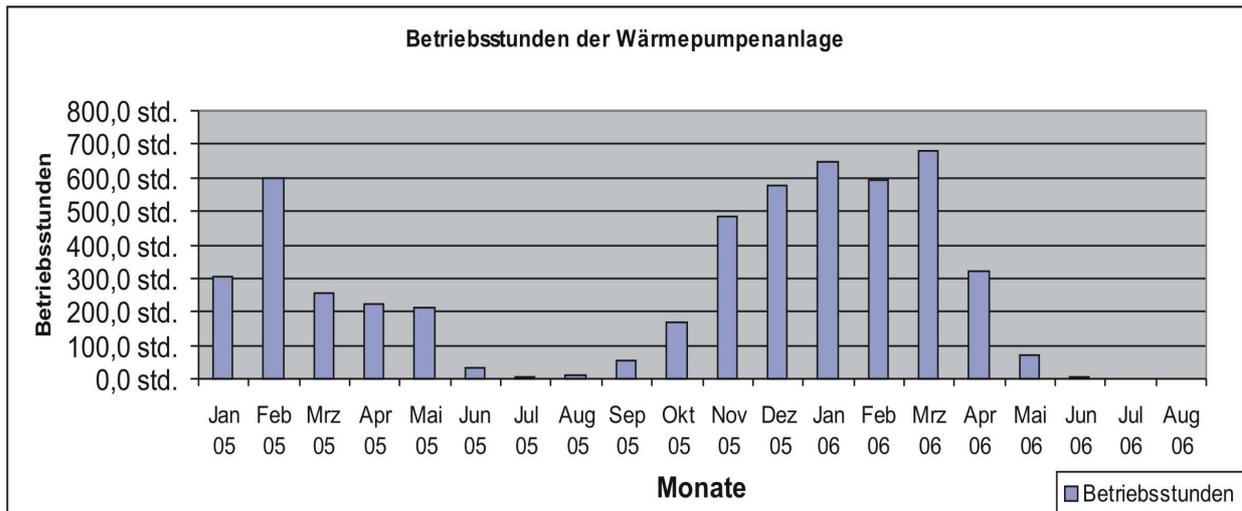


Abbildung 9.3.3-1 Betriebsstunden der Wärmepumpenanlage

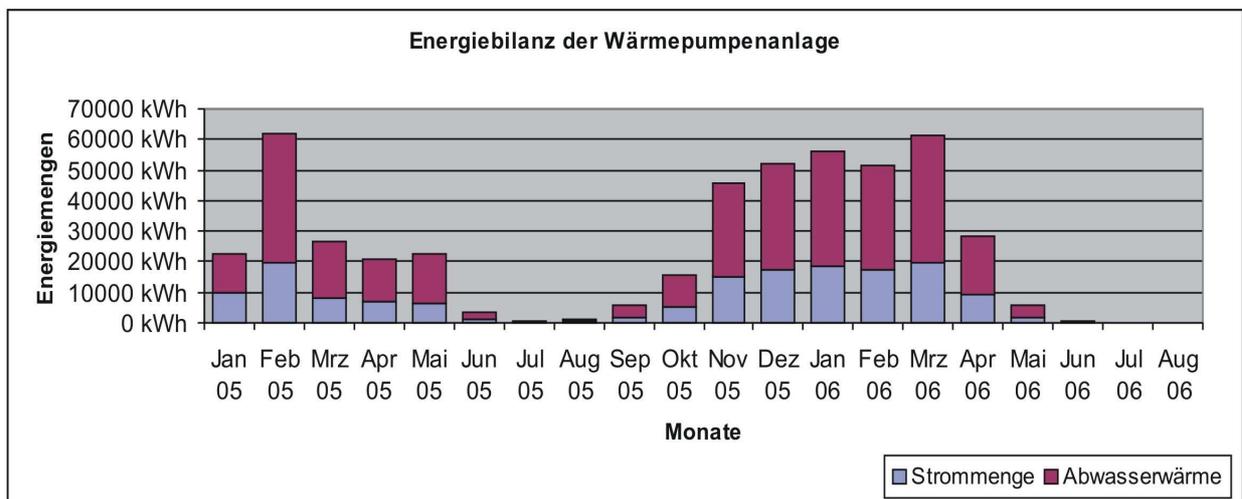


Abbildung 9.3.3-2 Energiebilanz der Wärmepumpenanlage

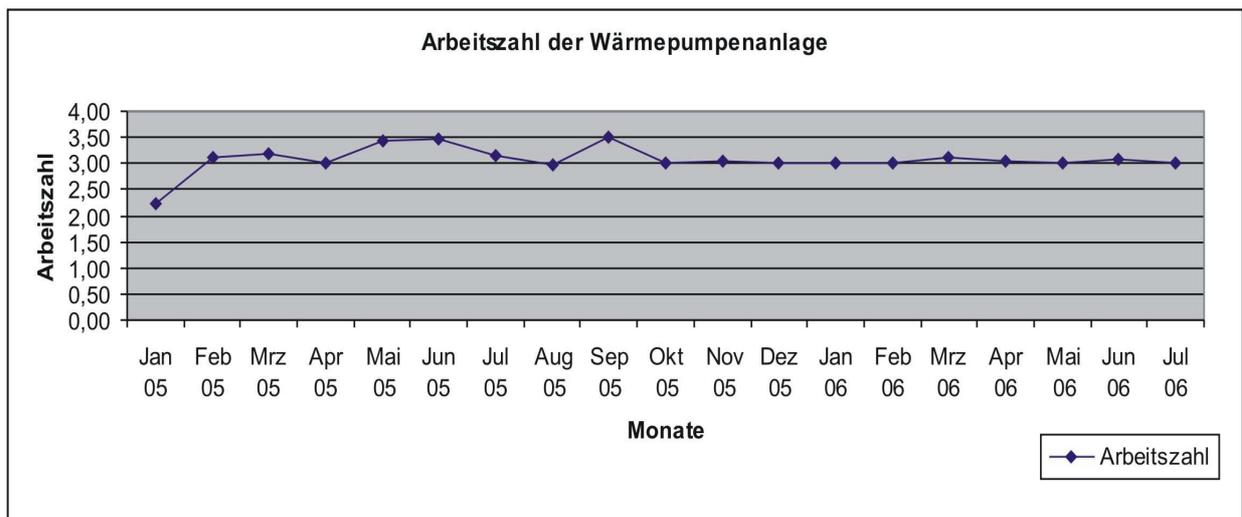


Abbildung 9.3.3-3 Äußere Bruttoarbeitszahl der Wärmepumpenanlage

Beschreibung und Erläuterung

In Tabelle 9.3.3-1 werden die Messdaten bezüglich der Wärmepumpenanlage dargestellt. Bis auf den ersten Monat des Betrachtungszeitraumes zeigen sich Leistungszahlen im Bereich von 3 bis 3,4. Lediglich im Januar 2005 lag sie deutlich niedriger. Ursache war eine zu geringe Füllmenge in der Wärmepumpenanlage. Die Darstellung des vereinfachten Wärmepumpenprozesses im hp-Diagramm für Kohlendioxid verdeutlicht es:

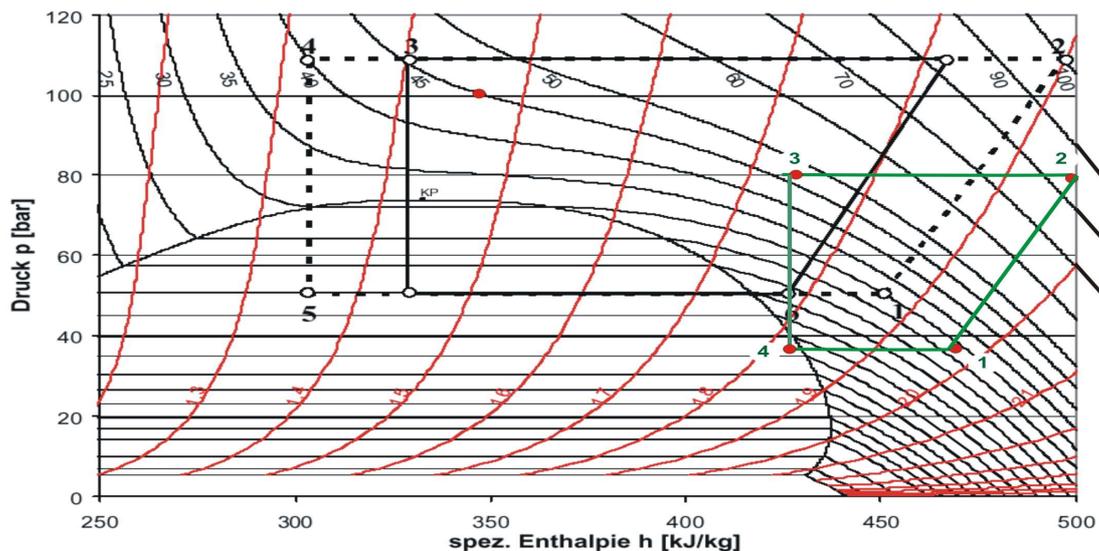


Abbildung 9.3.3-4 Wärmepumpenprozess im hp-Diagramm

Bei optimalem Kältemittelfülldruck verläuft der theoretische Prozess entlang der schwarzen Kennlinien. Das Druckniveau wird durch die Füllmenge bestimmt. Ein geringerer Fülldruck hat ein Absinken des gesamten Druckniveaus zur Folge. Dieses wird durch die grüne Kennlinie dargestellt. Von besonderem Einfluss ist der Verlauf der Isothermen im überhitzten Gebiet. Sie haben im Bereich der Prozessführung einen nahezu waagerechten Verlauf. Zwar werden von 1 nach 2 durch die Verdichtung des Kältemittels Temperaturen von etwa 85°C erreicht, die Wärmeabgabe erstreckt sich jedoch auf ein deutlich kürzeres Enthalpiegefälle (von 2 nach 3). Dieses Enthalpiegefälle entspricht der Wärmeabgabe an das Heizungswasser. Demzufolge sinken Wärmeleistung und Arbeitszahl ab. Weitere Erläuterungen zur Prozessführung sind in /9/ zu finden.

Betriebsstunden und Wärmeleistung der Wärmepumpenanlage

Abbildung 9.3.3-1 zeigt, dass die Wärmepumpenanlage im Monat Oktober 2005 insgesamt 169 Stunden in Betrieb war. In den folgenden Monaten war die Auslastung deutlich höher: November 2005: 484 std., Dezember 2005: 574 std., Januar 2006: 645 std., Februar 2006: 591 std. und März 2006: 679 std. Im April 2006 war die Anlage noch 323 Stunden in Betrieb.

Der Verlauf der Betriebsstunden steht in Zusammenhang mit der Betriebsweise der Gesamtanlage. Durch die Vorrangschaltung der Blockheizkraftwerke wird die Wärmepumpenanlage nur angefordert, wenn die Blockheizkraftwerke nicht den Bedarf des LWH erbringen kann.

In Abbildung 9.3.3.-2 sind die produzierten Wärmemengen und die aufgenommene elektrische Energie dargestellt. Sie verdeutlicht den Anteil der primärseitig über Abwasser aufgenommene Wärme. In der Heizperiode 05/06, d.h. von Sept. 05 bis April 2006 wurden bei einer Anlagenlaufzeit von 3.520 Stunden insgesamt 316.745 kWh von der Wärmepumpe bereitgestellt. Hierzu wurden 104.072 kWh Strom aufgenommen. Über diesen Betrachtungsraum arbeitete die Anlage mit einer äußeren Bruttoleistungszahl von 3,04. Die monatliche Darstellung der äußeren Bruttoleistungszahlen in Abbildung 9.3.3-3 zeigt einen recht kontinuierlichen Verlauf. Sie bestätigt, dass die in Projektphase I ermittelte Leistungsfähigkeit erreicht wird. Die durchschnittliche Wärmeleistung betrug 90 kW. Sie liegt leicht unter den Ergebnissen der Versuche, dennoch beinhaltet sie An- und Abfahrverluste der Anlage. Im stationären Betrieb beträgt die Leistung ca. 95 bis 100 kW.

Vergleich der Messergebnisse mit den Forschungsergebnissen aus Projektphase I

Im Abschlußbericht der Projektphase I werden u.a. äußere Nettoleistungszahlen genannt (vgl. Abb. 9.2.3.5-5). Abhängig von den Temperaturen von Wärmequelle und Heizungssystem liegen sie im Bereich von 2,7 bis 3,0. Bei diesen Werten wurde jedoch die Stromaufnahme der Abwasserpumpe (daher Netto...) von ca. 1,7 kW nicht berücksichtigt. Um einen Vergleich zwischen den Forschungsergebnissen und den Ergebnissen der messtechnischen Begleitung zu schaffen, sind letztere ebenfalls auf die Nettoleistungszahl umzurechnen. Dabei ergibt sich folgender Verlauf:

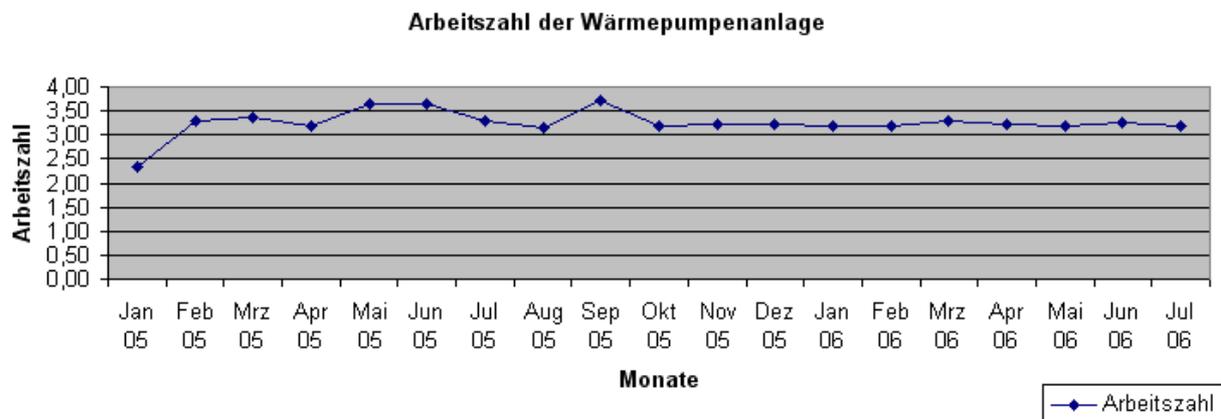


Abbildung 9.3.3-3 Äußere Netto-Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage

Dass diese Leistungszahlen erreicht werden konnten ist vorrangig auf zwei Faktoren zurück zu führen:

1. Temperaturmanagement

Die Rücklaufemperatur in den Enthitzer der Wärmepumpe ist für die Leistung von großer Bedeutung. Zwar konnten durch den Einbau der geregelten Pumpen und Optimierung der Steuerung die Rücklaufemperaturen insgesamt abgesenkt werden, dennoch gibt es Heizkreise (wie. z.B. Lüftung) in denen ein hohes Temperaturniveau nicht vermeidbar ist. Wären nun – wie bei konventionellen Wärmeverteilungen - alle Rückläufe der angeschlossenen Heizkreise auf

einen Rücklaufsammler geführt worden, so wäre letztendlich die sich aus allen Rückläufen ergebende Mischtemperatur zur Wärmepumpe gelangt. Durch das Konzept, die Rückläufe je nach deren Temperatur auf verschiedene Verteiler zu führen, wird dieser negative Einfluss vermieden.

2. Wärmequellentemperatur:

Als Wärmequelle für die Wärmepumpenanlage dient das Abwasser der Erdölraffinerie. Dieses Abwasser liefert Temperaturen im Bereich von 20°C bis 25°C. Bei der Planung der Blockheizkraftwerke wurde der Ansatz getroffen, die Strahlungswärme von Motoren und Generator nicht über Zu- und Abluftsysteme abzuführen, sondern über Luft/Wasserwärmetauscher an den Pufferspeicher der Wärmepumpe abzugeben. Somit standen wärmequellenseitig für die Wärmepumpe zeitweise Temperaturen von bis zu 35°C zur Verfügung. Somit wurden zeitweise (z.B. im September) äußere Nettoleistungszahlen von über 3,5 erreicht.

9.3.4 Erfahrungen mit dem Betrieb der Kraft-Wärme-Kopplung

Praktische Erfahrungen

Die Blockheizkraftwerke wurden baugleich ausgeführt. Sie wurden mit einer Schalldämmung ausgestattet, die Motorwärme wird über ein geschlossenes Luftsystem genutzt.

Die Montage der Blockheizkraftwerke verlief ohne Probleme. Für die Brennstoffversorgung wurde eine Strecke von etwa 15 Metern eine Gasleitung zum Hauptanschluss im Heizungsraum geführt. Unmittelbar vor den Blockheizkraftwerken wurden eigene Gaszähler installiert. Zur Bewertung wurden u.a. diese eigenen Zähler abgelesen. In den ersten Monaten des Betriebes wurde eine schwankende bzw. zeitweise zu niedrige elektrische Leistung beobachtet. Es zeigte sich, dass ebenfalls schwankender Druck in der Erdgasleitung verantwortlich war. Über Nachstarbeiten in der Gasregelstrecke der BHKW konnten die Leistungen stabilisiert werden. Anfang 2006 machten sich plötzlich fallende Wirkungsgrade deutlich. Die Kontrolle der Anlage zeigte, dass im Abgaswärmetauscher Ablagerungen die Ursache waren. Durch einen Fehler der Ölnachfüllautomatik war Öl durch den Motor geschleust worden und hatte zu diesen Ablagerungen geführt. Nach Feststellen des Fehlers wurde der Abgaswärmetauscher gereinigt und die Ölnachfüllautomatik erneuert. Inzwischen sind abgasseitig zusätzliche Temperaturfühler installiert worden, die eine automatische Kontrolle zulassen. Hierbei wird bei unzureichendem Wärmeabnahme im Abgaswärmetauscher (wie z.B. bei Verschmutzungen) der Fehler an einer zu hohen Abgastemperatur erkannt und signalisiert. Seither sind derartige Fehler nicht mehr aufgetreten.

Insgesamt arbeiten die Blockheizkraftwerke – wie auch die nachfolgende Auswertung zeigt – sehr zuverlässig und stabil. Seit Inbetriebnahme wurden die regelmäßigen Wartung plangemäß durchgeführt.

Betriebsdaten und Auswertung

Die Betriebsdaten der Blockheizkraftwerke sind in der nachfolgenden Tabelle monatlich genannt:

Monat	Stunden	Betriebsstunden	Primärenergie	Strommenge	Wärmemenge	Verluste	Wirkungsgrad
Jan 05	720,0 std.	684,4 std.	127066 kWh	33163 kWh	75888 kWh	18015 kWh	85,82%
Feb 05	672,0 std.	629,7 std.	115704 kWh	30746 kWh	70333 kWh	14625 kWh	87,36%
Mrz 05	720,0 std.	614,5 std.	112231 kWh	29672 kWh	65833 kWh	16726 kWh	85,10%
Apr 05	720,0 std.	705,0 std.	132897 kWh	34045 kWh	76367 kWh	22485 kWh	83,08%
Mai 05	720,0 std.	673,0 std.	122767 kWh	31771 kWh	70455 kWh	20541 kWh	83,27%
Jun 05	720,0 std.	557,6 std.	98522 kWh	27203 kWh	60449 kWh	10870 kWh	88,97%
Jul 05	720,0 std.	431,3 std.	71691 kWh	19564 kWh	43898 kWh	8230 kWh	88,52%
Aug 05	720,0 std.	476,3 std.	83902 kWh	22650 kWh	50402 kWh	10850 kWh	87,07%
Sep 05	720,0 std.	551,3 std.	99083 kWh	26736 kWh	58296 kWh	14050 kWh	85,82%
Okt 05	720,0 std.	632,8 std.	109690 kWh	29058 kWh	64364 kWh	16269 kWh	85,17%
Nov 05	720,0 std.	671,9 std.	118041 kWh	31747 kWh	68771 kWh	17524 kWh	85,15%
Dez 05	720,0 std.	694,4 std.	129942 kWh	36716 kWh	73894 kWh	19332 kWh	85,12%
Jan 06	720,0 std.	708,0 std.	135833 kWh	35192 kWh	77264 kWh	23377 kWh	82,79%
Feb 06	672,0 std.	654,0 std.	121234 kWh	32363 kWh	66603 kWh	22268 kWh	81,63%
Mrz 06	720,0 std.	682,8 std.	133494 kWh	33946 kWh	90042 kWh	9506 kWh	92,88%
Apr 06	720,0 std.	676,6 std.	126061 kWh	33522 kWh	83591 kWh	8947 kWh	92,90%
Mai 06	720,0 std.	636,4 std.	113181 kWh	30723 kWh	72355 kWh	10103 kWh	91,07%
Jun 06	720,0 std.	476,3 std.	88674 kWh	20920 kWh	59314 kWh	8440 kWh	90,48%
Jul 06	720,0 std.	345,6 std.	71929 kWh	14036 kWh	50578 kWh	7315 kWh	89,83%
Aug 06	720,0 std.	434,1 std.	82211 kWh	21309 kWh	53278 kWh	7624 kWh	90,73%

Tabelle 9.3.4-1 Monatliche Betriebsdaten der Blockheizkraftwerke

Die erfassten Daten lassen sich wie folgt veranschaulichen:

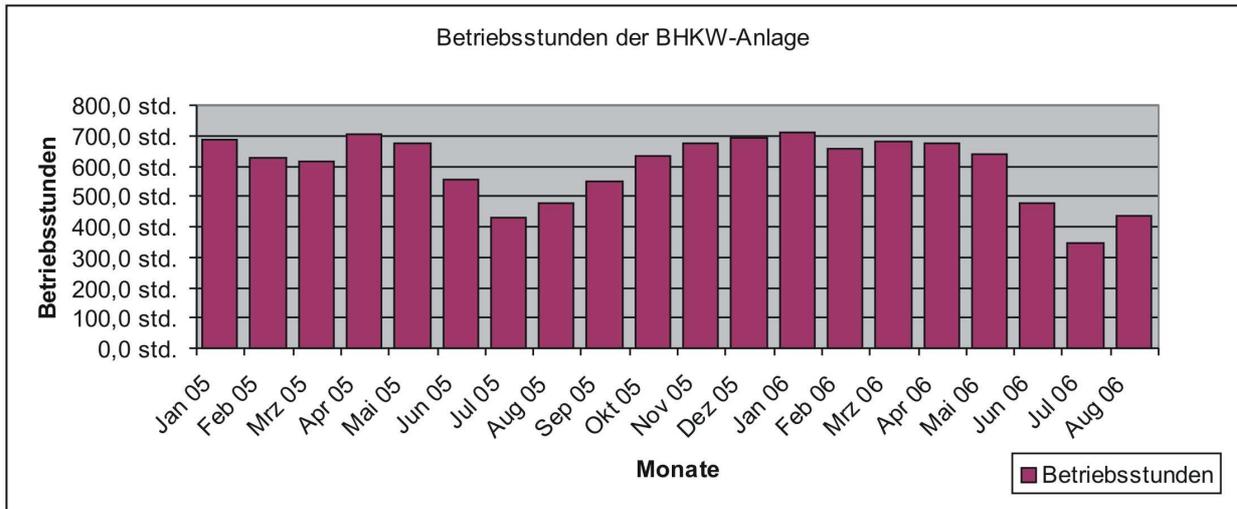


Abbildung 9.3.4-1 Betriebsstunden der BHKW-Anlage

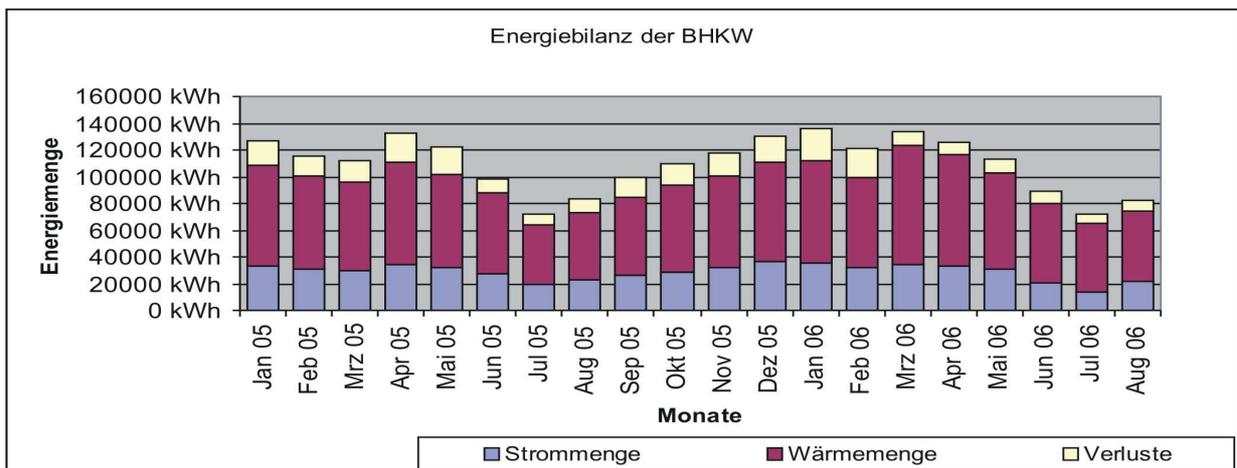


Abbildung 9.3.4-2 Energiebilanz der BHKW-Anlage

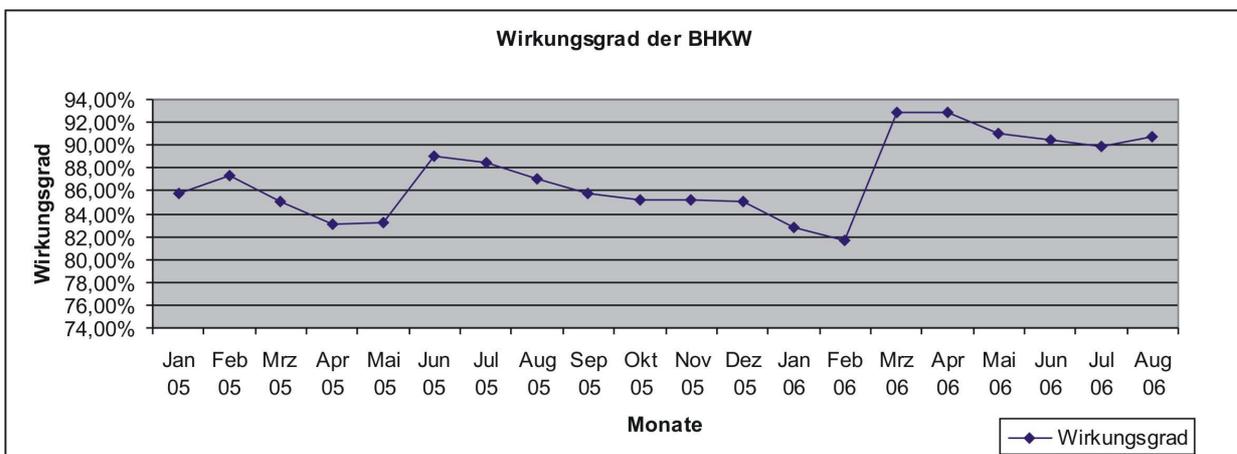


Abbildung 9.3.4-3 Wirkungsgrad der BHKW-Anlage

Beobachtung und Erläuterung

Anhand der gemessenen Betriebsstunden wird die hohe Verfügbarkeit der Blockheizkraftwerke deutlich. So werden auch innerhalb der Sommermonate im Durchschnitt über 400 Betriebsstunden erzielt. Die BHKW-Anlage ist somit in ihrer Größe nicht überdimensioniert, ebenfalls hätte eine größere Leistung eine weitere Reduzierung der Wärmepumpenbetriebsstunden zu Folge.

Die Blockheizkraftwerke haben bei der Betriebsfreigabe von allen Wärmeerzeugern Vorrang. Daher haben sie eine hohe Auslastung. Die Energiebilanz der Blockheizkraftwerk zeigt ein recht kontinuierliches Bild. Lediglich Anfang 2006 ist eine Änderung zu beobachten. Der Verlauf des Wirkungsgrades verdeutlicht dieses. Seither laufen die Blockheizkraftwerke zuverlässig und mit einem Wirkungsgrad um 90%.

9.3.5 Allg. Erfahrungen; Erfassung und Auswertung von Betriebsdaten

Ergebnis der Variantenbetrachtung

Die Größe bzw. Leistung der Kraft-Wärme-Kopplung sollte innerhalb der Projektbearbeitung festgelegt werden. Zu diesem Zweck wurde in den Bewilligungsaufgaben der DBU eine Variantenbetrachtung gefordert. Eine derartige Variantenbetrachtung wurde von der AgRo-Energie erstellt. Dabei wurden verschiedene BHKW-Nennleistungen betrachtet. Weiterhin wurden der Einfluss der Art des Brennstoffes – Heizöl oder Erdgas – in die Betrachtungen einbezogen. Im Ergebnis wurde seitens der AgRo-Energie nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien empfohlen, insgesamt zwei erdgasbefeuerte Blockheizkraftwerke mit einer elektrischen Gesamtleistung von ca. 50 kW zu errichten. Hierfür waren folgende Aspekte von Bedeutung:

Der Wärmebedarf des LWH

Mit der empfohlenen Leistungen sollten angesichts des ermittelten Wärmebedarfs mit den BHKW über 6.000 Jahresbetriebsstunden erreicht werden können, ohne dabei die Laufzeit der Wärmepumpenanlage spürbar zu beeinträchtigen. Dieses wäre allerdings bei höheren Leistungen der Fall gewesen.

Der Strombedarf des LWH

Insbesondere in der Mittagszeit und in den frühen Abendstunden im Winter wurden Spitzen in dem Strombedarf des LWH ermittelt. Hierfür wird vorrangig die Küche verantwortlich gemacht. Ausgehend von einem ermitteltem maximalen Strombedarf von etwa 115 kW wurde deutlich, dass es nicht möglich sein würde, die gänzliche Strommenge über eigene BHKW zu decken. Ein solcher Lösungsansatz ist ohnehin unüblich, da er meist wirtschaftlich unsinnig ist.

Um eine Entlastung der Stromversorgungssituation zu erzielen wurden dennoch verschiedene Maßnahmen getroffen: Um insbesondere in der Mittagszeit die BHKW im Vollastbetrieb fahren zu können – auch im Sommer – wurden 4.000 Liter Pufferspeichervolumen installiert. Über die SPS und Anlagenhydraulik wurde ein spezielles Speicherlade- und Entladesystem realisiert, damit dieses Lösungsansatz funktioniert. Das Speicherlade- und Entladesystem sorgt zum Beispiel dafür, dass vor der Mittagszeit die Speicher entladen werden.

Das Gesetz zur Modernisierung und dem Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung

Nach dem KWK-Gesetz wird für Strom aus KWK-Anlagen mit einer Leistung < 50 kW , der in das Netz eingespeist wird eine Zulage von 5,11 Cent je kWh gewährt.

Bedeutung für den praktischen Betrieb

Zwei baugleiche Blockheizkraftwerke zu errichten bot den Vorteil, auch bei geringerem Wärmebedarf wenigstens eines der Aggregate im optimalen Betriebspunkt zu fahren. Über die Steuerung wird sichergestellt, dass beide Module in etwa die gleichen Betriebsstunden gefahren werden, so dass Wartungen stets an beiden Geräten zeitgleich fällig sind. Auch bietet die Baugleichheit der Anlagen den Vorteil, dass nicht unterschiedliche Ersatzteile bevorratet werden müssen.

Allgemeine Betriebsdaten

Nicht nur Wärmepumpenanlage und Blockheizkraftwerke sondern auch die weitere Hauptdaten der Gesamtanlage wurden im Rahmen der messtechnischen Begleitung erfasst. Relevante Daten sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Monat	Stunden	Erdgas Kessel	Erdgas BHKW	Wärme BHKW	Wärme Wärmepumpe	Wärme Kessel	Wärmebedarf	Stromüberschuss
Jan 05	720,0 std.	14366 m³	14631 m³	75888 kWh	22429 kWh	97041 kWh	271 kWh	22032 kWh
Feb 05	672,0 std.	14015 m³	13322 m³	70333 kWh	61695 kWh	94669 kWh	337 kWh	9975 kWh
Mrz 05	720,0 std.	8209 m³	12922 m³	65833 kWh	26693 kWh	55455 kWh	206 kWh	20212 kWh
Apr 05	720,0 std.	1874 m³	15302 m³	76367 kWh	21035 kWh	12657 kWh	153 kWh	25972 kWh
Mai 05	720,0 std.	74 m³	14135 m³	70455 kWh	22772 kWh	496 kWh	130 kWh	24063 kWh
Jun 05	720,0 std.	47 m³	11344 m³	60449 kWh	3744 kWh	317 kWh	90 kWh	25041 kWh
Jul 05	720,0 std.	0 m³	8254 m³	43898 kWh	360 kWh	0 kWh	61 kWh	18369 kWh
Aug 05	720,0 std.	0 m³	9660 m³	50402 kWh	1106 kWh	0 kWh	72 kWh	21198 kWh
Sep 05	720,0 std.	105 m³	11409 m³	58296 kWh	5851 kWh	711 kWh	90 kWh	23995 kWh
Okt 05	720,0 std.	1389 m³	12629 m³	64364 kWh	15754 kWh	9377 kWh	124 kWh	22749 kWh
Nov 05	720,0 std.	9031 m³	13603 m³	68771 kWh	45803 kWh	61006 kWh	244 kWh	15650 kWh
Dez 05	720,0 std.	8726 m³	14961 m³	73894 kWh	52111 kWh	58944 kWh	257 kWh	15757 kWh
Jan 06	720,0 std.	15185 m³	15640 m³	77264 kWh	56125 kWh	102575 kWh	328 kWh	15407 kWh
Feb 06	672,0 std.	13845 m³	13959 m³	66603 kWh	51564 kWh	93523 kWh	315 kWh	14206 kWh
Mrz 06	720,0 std.	10987 m³	15371 m³	90042 kWh	61134 kWh	74217 kWh	313 kWh	13159 kWh
Apr 06	720,0 std.	4146 m³	14515 m³	83591 kWh	28403 kWh	28008 kWh	194 kWh	23072 kWh
Mai 06	720,0 std.	0 m³	13032 m³	72355 kWh	6011 kWh	0 kWh	109 kWh	27648 kWh
Jun 06	720,0 std.	0 m³	10210 m³	59314 kWh	556 kWh	0 kWh	83 kWh	19659 kWh
Jul 06	720,0 std.	0 m³	8282 m³	50578 kWh	84 kWh	0 kWh	70 kWh	12928 kWh
Aug 06	720,0 std.	0 m³	9466 m³	53278 kWh	0 kWh	0 kWh	74 kWh	20229 kWh

Tabelle 9.3.5-1 Gesamtdaten der Energieversorgung

Auch hinsichtlich der Gesamtdaten werden einige Zusammenhänge bei grafischer Darstellung deutlich:

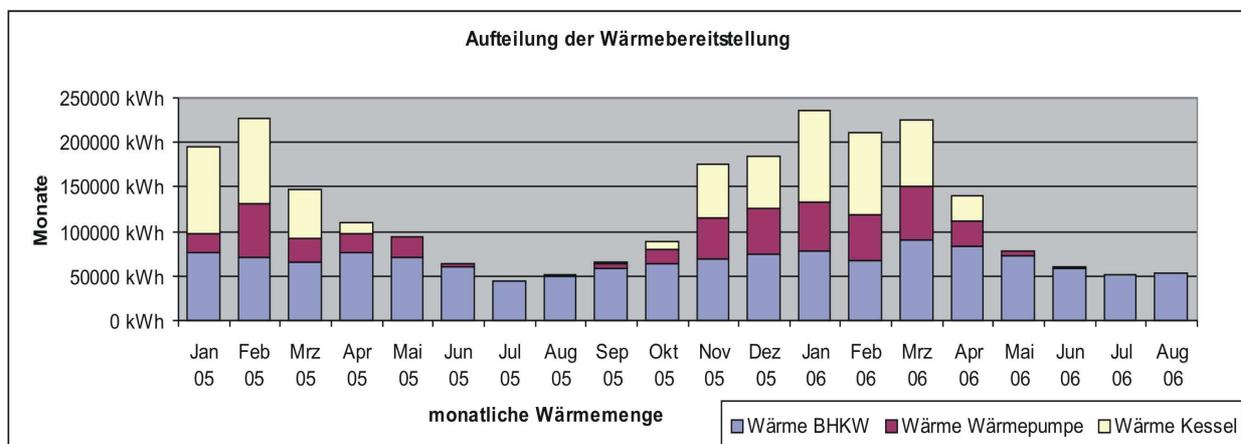


Abbildung 9.3.5-1 Aufteilung der Wärmebereitstellung

In der Abbildung sind produzierte Wärmemengen von Blockheizkraftwerk, Wärmepumpe und Kessel dargestellt. Als untere Säule (blau) ist die Grundlastversorgung durch die BHKW zu erkennen, darüber in rot die Wärmepumpe.

Es wird insbesondere im Frühjahr 2005 deutlich, dass die Leistung der Wärmepumpe nicht ausgeschöpft und hier ein hoher Teil von der Kesselanlage erbracht wurde. Im Sommer 2005 wurde daher nochmals die Steuerung optimiert. Im Winter 2006 wurde als Folge eine weitaus höhere Auslastung erzielt.

In den Sommermonaten wird die Wärme nahezu ausschließlich von den BHKW erbracht. Dieses ist an den Monaten Juni / Juli / August zu erkennen.

In keinem Monat liegt die Auslastung der Wärmepumpe über den BHKW. Dieses liegt zum einen an der Vorrangschaltung der BHKW, zum anderen werden die Wärmepumpen nur freigeschaltet, wenn die BHKW volle Stromleistung erbringen. Hiermit wird vermieden, dass durch die Stromaufnahme der Wärmepumpen die maximal aufgenommene Stromleistung des LWH erhöht wird.

Vergleich Prognosen / Messergebnisse

Betrachtet man in Tabelle 9.3.5-1 die Ergebnisse eines Betriebsjahres (September 2005 bis August 2006) so wurden in diesem Zeitraum von den Anlagen folgende Wärmemengen bereitgestellt:

	Messwerte		Prognose	
BHKW:	818.349 kWh	52 %	790.000 kWh	53%
Wärmepumpe:	323.396 kWh	21%	460.000 kWh	31%
Kessel:	428.361 kWh	27%	230.000 kWh	16%
gesamt:	1.570.106 kWh	100%	1.480.000 kWh	100 %

Mit 1.570 MWh wurden im Betrachtungszeitraum etwa 6% mehr Wärme als im Durchschnittsjahr (Prognose 1.480 MWh) verbraucht. Hierbei spielen Faktoren wie z.B. Belegungszahlen eine Rolle. Trotz des höheren Wärmebedarfs wurde von den BHKW dennoch fast der prognostizierte Anteil von 53% erreicht. Somit sind die BHKW in ihrer Größe ausreichend bemessen.

Abweichungen ergeben sich beim Anteil der Wärmepumpenanlage. Er fällt mit 21% geringer aus als in der Prognose (31%). Dieser Anteil ist eine Folge der Betriebsweise der Anlage: Durch die Errichtung von zwei Rücklaufsammlern wird temperaturabhängig nur ein Teil der Heizungsrückläufe zur Wärmepumpe geführt. Diese Maßnahme ist sinnvoll, da auf diesem Wege eine ausreichende Leistungszahl erzielt wird. Gleichmaßen reduziert sich jedoch auch der Heizwasserstrom, auf den die Wärmepumpe ihre Wärme übertragen kann. Es besteht die Möglichkeit, unter Inkaufnahme höherer Rücklauftemperaturen die zur Wärmepumpe geführte Heizwassermenge zu erhöhen. Damit würde die jährlich bereitgestellte Wärmemenge – auch bis auf den prognostizierten Wert – angehoben werden können. Gleichmaßen würden jedoch auch die Leistungszahlen spürbar sinken, so dass sich insgesamt diese Maßnahme negativ darstellen würde. Daher wurden die Temperaturvorgaben so gewählt, dass äußere Bruttoleistungszahlen über 3 eingehalten werden.

9.4 Ökonomische Bewertung

In den Entscheidungsprozessen über die Realisierung des Vorhabens waren neben der Innovation der technischen Anlage ebenso die wirtschaftlichen Aspekte von Bedeutung. Letztendlich liegt die Entscheidung, das Vorhaben zu realisieren nunmehr einige Jahre zurück. Seither haben sich die Bezugskosten für Energie deutlich erhöht. Neben der kostenlosen Nutzung von Abwasserwärme über die Wärmepumpenanlage hat die Kraft-Wärme-Kopplung eine maßgebende wirtschaftliche Bedeutung. Auf Grundlage der Daten aus dem Zeitraum der messtechnischen Begleitung soll nachfolgend eine Aussage über die erzielten Einsparungen getroffen werden. Weiterhin werden zu diesem Zweck Bezugskosten für Erdgas und Strom einbezogen, die der derzeitigen Versorgungs- und Energiebezugssituation entsprechen. Hierbei werden die Arbeitspreise berücksichtigt. Sowohl Wartungskosten der konventionellen Anlagenteile als auch Bereitstellungskosten werden nicht berücksichtigt, da sie in beiden Betrachtungen nahezu gleichermaßen einfließen. Bezüglich der BHKW werden die zusätzlichen spezifischen Wartungskosten eingerechnet.

Hinsichtlich der erzeugten Strommengen aus der Kraft-Wärme-Kopplung ist im allgemeinen zwischen Strommengen zu unterscheiden, die im eigenen Hause genutzt werden und denen, die in das Netz des EVU eingespeist werden. Die monatliche Auslesung der Zähler zeigte, dass der erzeugte Strom überwiegend selbst genutzt wurde. In den letzten 12 Monaten wurden von den überschüssigen Strommengen der BHKW (d.h. abzgl. Wärmepumpe) in Höhe von 245.000 kWh z. B. lediglich 25.771 kWh in das Netz eingespeist.

Die Daten der zurückliegenden 12 Monate sind in der nachfolgenden Tabelle genannt:

Monat	Erdgasverbrauch		Wärmeerzeugung		Kessel	Stromüberschuss	Stromeinspeisung	Wärme gesamt
	Kessel	BHKW	BHKW	Wärmepumpe				
Sep 05	105 m ³	11409 m ³	58296 kWh	5851 kWh	711 kWh	22032 kWh	5041 kWh	64858 kWh
Okt 05	1389 m ³	12629 m ³	64364 kWh	15754 kWh	9377 kWh	9975 kWh	3484 kWh	89495 kWh
Nov 05	9031 m ³	13603 m ³	68771 kWh	45803 kWh	61006 kWh	20212 kWh	734 kWh	175581 kWh
Dez 05	8726 m ³	14961 m ³	73894 kWh	52111 kWh	58944 kWh	25972 kWh	702 kWh	184948 kWh
Jan 06	15185 m ³	15640 m ³	77264 kWh	56125 kWh	102575 kWh	24063 kWh	106 kWh	235964 kWh
Feb 06	13845 m ³	13959 m ³	66603 kWh	51564 kWh	93523 kWh	25041 kWh	0 kWh	211690 kWh
Mrz 06	10987 m ³	15371 m ³	90042 kWh	61134 kWh	74217 kWh	18369 kWh	40 kWh	225392 kWh
Apr 06	4146 m ³	14515 m ³	83591 kWh	28403 kWh	28008 kWh	21198 kWh	3500 kWh	140002 kWh
Mai 06	0 m ³	13032 m ³	72355 kWh	6011 kWh	0 kWh	23995 kWh	6890 kWh	78366 kWh
Jun 06	0 m ³	10210 m ³	59314 kWh	556 kWh	0 kWh	22749 kWh	2303 kWh	59870 kWh
Jul 06	0 m ³	8282 m ³	50578 kWh	84 kWh	0 kWh	15650 kWh	1294 kWh	50662 kWh
Aug 06	0 m ³	9466 m ³	53278 kWh	0 kWh	0 kWh	15757 kWh	1677 kWh	53278 kWh
Gesamt	63414 m³	153077 m³	818349 kWh	323396 kWh	428361 kWh	245013 kWh	25771 kWh	1570106 kWh

Tabelle 9.4-1 Daten der zurückliegenden 12 Monate

Bezüglich der Energiebezugskosten werden nach allg. Tarifen des regionalen Energieversorgungsunternehmens folgende Werte in die Berechnungen aufgenommen:

Erdgasbezug: 4,767 Ct / kWh (netto), entspricht 46,00 Ct. je m³
incl. 0,55 Ct / kWh Erdgassteuer

Strombezug: 13,95 Ct / kWh (inkl. Stromsteuer)
(alle Daten zzgl. der gesetzlichen Mehrwertsteuer)

Die Berechnung der erzielten Einsparungen soll in der Weise erfolgen, dass zunächst auf Grundlage des gemessenen Wärmebedarfs die Kosten errechnet werden, die bei einer konventionellen Wärmeversorgung entstanden wären. Anschließend werden die Energiebezugskosten der neuen Anlage auf Grundlage der aufgezeichneten Daten für den Zeitraum vom Sept. 2005 bis August 2006 (siehe Tabelle) errechnet, dabei werden sowohl die vermiedenen Strombezugskosten als auch Stromeinspeisevergütungen zum Abzug gebracht.

Kosten der konventionellen Wärmeversorgung:

Wärmebedarf:	1.570.106 kWh
Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeuger:	0,7
Erdgasbezugsmenge:	2.243.008 kWh
Erdgasbezugskosten:	106.924,22 €

Kosten der neuen Energieversorgung:

Erdgasbezug Kessel:	63.414 m ³
Erdgasbezugskosten Kessel:	29.170,44 €
Erdgasbezug BHKW:	153.077 m ³ (9,65 kWh / m ³)
Erdgasbezug BHKW:	147.707 kWh
spez. Erdgasbezugskosten BHKW:	4,767 Ct – 0,55 Ct = 4,217 Ct / kWh
Erdgasbezugskosten BHKW:	62.288,04 €
Gesamtstromerzeugung:	346.000 kWh
Spez. Wartungskosten:	6.920,00 €
Gesamtkosten:	98.378,48 €
Nutzbare Strommenge:	245.013 kWh
davon in das Netz des EVU:	25.771 kWh
davon selbst genutzt:	219.242 kWh
Vermiedene Strombezugskosten:	30.584,26 €
Einspeisevergütung:	4 Ct/ kWh vom EVU zuzüglich 5,11 Ct durch KWK-G = 9,11 Ct / kWh
Einspeisevergütung:	2.347,74 €
Gesamtwert der Stromerzeugung:	32.932,00 €

Kosten der neuen Energieversorgung: **65.446,48 €**

(=Differenz Kosten - Gesamtwert der Stromerzeugung)

Fazit: Durch die neue Energieversorgung werden auf Grundlage der vorgenannten Daten und Kostenansätze in einem Jahr insgesamt 106.924,22 € minus 65.446,48 € = ca. **41.477,74 €** an Energiebezugskosten eingespart. Angesichts der Gesamtkosten des Vorhabens von ca. 700.000 € und der bewilligten Förderung in Höhe von ca. 300.000 € ist somit die wirtschaftliche Grundlage der Gesamtmaßnahme gegeben.

9.5 Erzielte Umweltentlastung

Durch den Betrieb der Kraft-Wärme-Kopplung und der Nutzung von Abwasserwärme wird eine spürbare Umweltentlastung erzielt. Zu Beginn des Vorhabens war noch unklar, ob die Entwicklung der Kohlendioxid-Wärmepumpenanlage Erfolg haben würde. Da dieses dennoch gelungen ist, kommen keine Einbußen hinsichtlich der CO₂- Bilanz durch das Kältemittel hinzu. Auch Nachfüllmengen in der Größenordnung von ca. 15 kg CO₂ je Jahr dürfen sicherlich vernachlässigt werden.

Zur Bewertung der Umweltentlastung werden zunächst die spezifischen Emissionsfaktoren zugrunde gelegt. Sie betragen:

Energieträger	CO ₂ kg/kWh	CO kg/kWh	Staub kg/kWh	SO ₂ kg/kWh	NO _x kg/kWh
Erdgas	0,254	0,00015	0,0000004	0,000004	0,00011
Heizöl	0,318	0,00019	0,000643	0,000643	0,000227
Strom	0,683	0,000223	0,001111	0,001111	0,000583

Tabelle 9.4-1 Spezifische Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger

Emissionswerte vor der Erneuerung der Energieversorgung

Der Energiebedarf des Ludwig-Windthorst-Hauses ist von mehreren Faktoren abhängig. Eher untergeordnet sind es die Witterungsverhältnisse, von weitaus höherer Bedeutung ist das Maß der Belegung. Zur Bewertung der Emissionseinsparungen soll daher nachfolgend eine Energiebedarf zugrunde gelegt werden, der sich aus dem Durchschnitt der vergangenen Jahre ergibt. Diese sind:

Energieträger	Brennstoffmenge	Endenergie	Primärenergie
Erdgas	172.118 m ³ /a	1.550.052 kWh/a	1.705.057 kWh/a
Heizöl	26.000 l	262.080 kWh/a	288.288 kWh/a
Strom	304737 kWh	304.737 kWh	914.211 kWh/a

Tabelle 9.4-2 Primärenergiebedarf vor der Neugestaltung

Hieraus resultieren folgende Emissionen:

Energieträger	CO ₂ kg	CO kg	Staub kg	SO ₂ kg	NO _x kg
Erdgas	393.713	232,51	0,6200208	6,20	170,50
Heizöl	83.341	49,79	1,83456	168,51	59,49
Strom	208.135	67,95	23,464	338,56	177,66
	685.189	350,25	25,918	513,27	407,65

Tabelle 9.4-3 Emissionen vor der Neugestaltung

Durch die Erneuerung der Energieversorgung ist der Energieträger Heizöl weggefallen.

Energieträger	Brennstoff- menge	Endenergie	Primärenergie
Erdgas	215.928 m ³ /a	1.943.352 kWh/a	2.137.687 kWh/a
Strom	59.724 kWh	59.724 kWh	179.172 kWh/a

Tabelle 9.4-4 Primärenergiebedarf nach der Neugestaltung

Energieträger	CO ₂ kg	CO kg	Staub kg	SO ₂ kg	NO _x kg
Erdgas	493.611	291,50	0,77	7,77	213,77
Strom	40.791	13,32	4,59	66,35	34,82
	534.402	304,82	5,36	74,05	248,59

Tabelle 9.4-5 Emissionen vor der Neugestaltung

	CO ₂ kg	CO kg	Staub kg	SO ₂ kg	NO _x kg
Emissionsersparnis	150.787	45,43	20,56	439,15	159,06

Tabelle 9.4-6 Emissionseinsparungen

Durch die Errichtung der neuen Energieversorgung werden die jährlichen Kohlendioxid-Emissionen in einem durchschnittlichen Jahr somit um über **150.000 kg** reduziert.

9.6 Vorhabenspräsentation und Öffentlichkeitsarbeit

Das innovative und von der DBU geförderten Projekt zur Neugestaltung der Energieversorgung des Ludwig-Windthorst-Hauses wurde nach deren Fertigstellung im September 2004 offiziell dem Betreiber übergeben. Hierüber wurde u.a. in der regionalen Tagespost berichtet (siehe Foto). Weiterhin wird bzw. wurde der Öffentlichkeit unter Einbeziehung der multimedialen

Lingener Tagespost

23. September 2004

LWH erhält jetzt seine Energie aus Abwasserwärme

Pilotprojekt gestartet – Weniger Heiz- und Stromkosten sowie Reduzierung von Emissionen – Kohlendioxyd als Kühlmittel

Lingen (kls)
Das Ludwig-Windthorst-Haus (LWH) in Lingen übernimmt nach Ansicht seines Leiters, Reinhold Jackels, eine Vorreiterrolle bei der Energiegewinnung und -nutzung für das gesamte Haus.

Viele Gäste konnte Reinhold Jackels in der Alten Halle des LWH begrüßen, besonders die Sponsoren, die durch ihre Mithilfe erst die Umsetzung des ehrgeizigen Energie-sparprojektes möglich gemacht haben. Der Chef des LWH richtete zunächst Gruß- und Dankesworte an die Sponsoren, allen voran Oberbürgermeister Heiner Pott für die Stadt Lingen, Dr. Wulf Grimm für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Diplom-Ingenieur Martin Zeller als Vertreter des Landkreises Emsland, Generalvikar Theo Paul für das Bistum Osnabrück sowie allen am Bau beteiligten Firmen.

Das Besondere dieses Energie-sparprojektes, das als Pilotprojekt läuft, ist nach Aussage von Reinhold Jackels, dass die

Wärme des Abwassers der benachbarten Erdölraffinerie, welches bisher ungenutzt in die Ems floss, nunmehr für die Energiegewinnung des LWH genutzt werde.

Mittels Wärmepumpen, so Jackels, werde das warme Wasser so aufbereitet, dass mit ihm das gesamte Haus beheizt und sogar ein wesentlicher Teil des Strombedarfs produziert werden könne.

Wärmepumpen an Essener Uni getestet

Mit der Anlage werde man eine deutliche Reduzierung der Emissionen erreichen und die Kosten für Heizung und Strom würden erheblich sinken.

Lingens Oberbürgermeister Pott sagte in seinem anschließenden Grußwort, dass es erhebliche Diskussionen in der Verwaltung wegen des Projektes gegeben habe, man aber letztlich zu der Entscheidung gekommen sei, dass es

sich um eine gute Sache handle, für die man auch in Zeiten knapper Kassen in die Tasche greifen müsse. Immerhin sei das LWH auch eine Visitenkarte nicht nur für die Stadt Lingen selbst, sondern für das gesamte Emsland.

Dr. Grimm von der Bundesstiftung Umwelt betonte, dass die Stiftung für dieses Projekt 300.000 Euro beigesteuert habe, dass man die Stadt Lingen zurzeit mit einer Million Euro bei Umweltmaßnahmen fördere und für den gesamten Landkreis Emsland sogar über vier Millionen Euro bereitgestellt habe.

Dr. Wulf Grimm stellte in seinem Grußwort den Klimaschutz in den Vordergrund, dem man am besten durch effiziente Energiegewinnung nachkommen könne. Mit der Wärmemenge, die die neue Anlage produziere, könnte man immerhin ca. 35 Einfamilienhäuser beheizen.

Im Anschluss an die Grußworte erläuterte Dipl.-Ingenieur Stefan Köster die Funktionsweise der Anlage. Wichtig sei, dass die verwendete



ÜBER DIE NEUE ANLAGE freuen sich (von links) Dr. Wulf Grimme (Stiftung Umwelt) Martin Zeller (Landkreis Emsland), Heiner Pott (Oberbürgermeister von Lingen), Theo Paul (Bistum Osnabrück) und Reinhold Jackels (Leiter des LWH).
Foto: kls

Kältemittel CO₂ nicht mit dem klimaschädiger CO₂ verwechselt werden dürfe, obwohl beide Verbindungen die gleiche chemische Formel

haben. Das hier verwendete CO₂ stelle keine Belastung für die Umwelt dar. Da Wärmepumpen mit CO₂ als Kühlmittel bisher noch nicht im

Handel seien, habe man die Anlage ein Jahr lang bei der Uni Essen getestet und sei jetzt sicher, dass sie zufriedenstellend laufen werde.

Abbildung 9.6-1 Veröffentlichung des Vorhabens

Technik das Projekt zugänglich gemacht. Das Resultat der Neugestalteten Energieversorgung wird auf der Firmeneigenen Homepage www.agroenergie.de vorgestellt. Außer der Veröffentlichung der Ergebnisse über das DBU, wird auch jeder Besucher des LWH's bei Interesse über das Projekt informiert. Hierzu wurde im Foyer des LWH ein Beamer installiert, der mit dem Steuerungsrechner verbunden ist. Auf dem Steuerungsrechner ist ein Programm hinterlegt, dass jeden Besucher über die Anlagenkomponenten, Anlagendaten und die Funktionsweise der installierten Energieerzeugung informiert.

Auf Einladung von der Berliner Energieagentur wurde das Projekt auf den Berliner Energietagen 2006 einem interessierten, internationalem Fachpublikum vorgestellt. In Folge dieser Präsentation wurde aktuell das Interesse bekundet, das Vorhaben in einem zukünftigen Forum zum Thema „wastewaterheat“ zu präsentieren. Auch hier ist die Berliner Energieagentur die Initiatorin.

10. Fazit

Innerhalb der messtechnischen Begleitung konnten Verbesserungen hinsichtlich eines sicheren Anlagenbetriebes und Optimierungen hinsichtlich der Effizienz erzielt werden. Bei den Beobachtungen zeigte sich, dass die installierte Kraft-Wärme-Kopplung sicher und effizient arbeitet. Insgesamt wird von ihr eine hohe Jahresausnutzung erzielt. Da die KWK-Anlage nicht nur Wärme sondern auch elektrische Energie bereitstellt, wird sie in Vorrangschaltung betrieben. Von der Wärmepumpe wurden weniger Betriebsstunden erreicht als ursprünglich prognostiziert wurden. Hierfür ist einerseits die Vorrangschaltung der KWK verantwortlich, andererseits auch die Tatsache, dass die Wärmepumpe zur Einhaltung einer Äußeren Bruttoleistungszahl über drei nur auf das Heizwasser der Rückläufe mit niedrigen Temperaturen geschaltet wird. Die Wärmepumpe selbst wurde aus drei Einzelanlagen gleicher Nennwärmeleistung erstellt. Diese Aufteilung ermöglichte einen Betrieb mit mehreren Leistungsstufen – erzielt durch die Anzahl der in Betrieb befindlichen Anlagen. Während der zurückliegenden Betriebszeit wurde deutlich, dass die Leistungszahl der Wärmepumpe maßgeblich durch die Temperatur der Wärmequelle als auch Kältemittel-Fülldruck und Heizungs-Rücklauf Temperatur bestimmt wird. Bei zu geringem Fülldruck sinkt die Leistungszahl ab. Hierfür ist insbesondere die Notwendigkeit einer transkritischen Prozessführung verantwortlich. Hinsichtlich der Heizungsrücklauftemperaturen wurde ein Verteilersystem aus zwei Rücklaufverteiltern installiert. Dennoch ist es auch nach zahlreichen Einstellungsvarianten an der hydraulischen und regelungstechnischen Anlage nur begrenzt gelungen, entsprechend niedrige Rücklauftemperaturen zu erzielen. Ursache ist, dass Änderungen an dem sich in die Gebäudeverteilung verzweigende System teilweise nicht möglich war. Es mussten Temperaturen und Volumenströme zumindest in dem Maße aufrecht erhalten werden, dass die Wärmeversorgung in den hydraulisch ungünstigsten Bereichen gewährleistet blieb. Optimierungspotentiale werden für künftige Projekte bei der Umstrukturierung der jeweiligen Heizkreise gesehen. Im LWH war es aus vorgenannten Gründen zwar nicht möglich, entsprechende Änderungen an den Verteilssystemen vorzunehmen, diese Möglichkeit sollte bei neuen Projekten dennoch stets mit überprüft werden. Gleichmaßen sollte die Wärmeleistung der Wärmepumpenanlage nicht auf Basis des Gesamtwärmebedarfs des Objektes ermittelt werden, sondern nur auf den Anteil der Heizkreise, die im niedrigem Temperaturniveau betrieben werden können. Bei Berücksichtigung dieser Faktoren steht mit der neu entwickelten Technik ein zuverlässiges und effizientes Verfahren zur Verfügung.

Die Prozessleittechnik auf SPS-Basis, die Visualisierung und die Möglichkeit, über eine Telefonleitung von fern in das System eingreifen zu können haben sich als sehr praktisch erwiesen. Dieses war insbesondere bei der Anlagenkontrolle und Datenerfassung der Fall.

Hinsichtlich der konstruktiven Ausführung der Anlage könnten in Folgeprojekten in einigen Bereichen Verbesserungen bzw. Optimierungen vorgenommen werden:

Die Bauweise der Wärmetauscher der Wärmepumpenanlage ist aufgrund der notwendigen Zugänglichkeit eher weniger kompakt erfolgt. Es zeigte sich, dass an den Wärmetauschern keinerlei Inspektionen oder Reparaturen notwendig waren. Daher könnten sie bei weiteren Anlagen weitaus kompakter konstruiert werden. Eine Optimierung der Anlage würde eine

automatische, elektronische Erfassung des Fülldruckes darstellen. Hierdurch wäre sichergestellt, dass die angestrebte transkritische Prozessführung erfolgt.

Die Blockheizkraftwerke wurden mit einem geschlossenen Kühltluftsystem ausgeführt. Dabei wird die Abwärme auf den Primärkreis der Wärmepumpe geführt. Diese Anlagenerweiterung ist effizient und betriebssicher.

Abschließend sei an dieser Stelle Dank ausgesprochen an alle Projektbeteiligten. Insbesondere hinsichtlich Bereitstellung von Fördermitteln als auch der konstruktiven und kooperativen Zusammenarbeit sei der Deutschen Bundesstiftung gedankt. Auch ist die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens der Universität Essen und den regionalen Fachunternehmen zu verdanken. Möge mit dem hier vorgestellten Projekt eine Grundlage und Motivation für eine innovative, effiziente und zukunftsfähige Energieversorgung zum Erhalt unserer Umwelt geschaffen worden sein.

11. Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt
"FCKW-Halon-Verbotsordnung
Bundesanzeiger 21.12.1995
- [2] Cube, Steimle, Lotz, Kunis (Hrsg.)
Lehrbuch der Kältetechnik, Band 1, 4. Auflage
C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1997
- [3] Plank, R.
Handbuch der Kältetechnik, Band 4: Die Kältemittel
Springer-Verlag Berlin / Göttingen / Heidelberg 1956
- [4] Span, R. Flacke, N.
"Thermophysikalische Eigenschaften von CO₂"
Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 20
„Kohlendioxid – Besonderheiten und Einsatzchancen als Kältemittel“, Kap. 3.1
- [5] Grohmann, J; Schenk, J.
„CO₂ und Umwelt“,
Statusbericht des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 20
„Kohlendioxid – Besonderheiten und Einsatzchancen als Kältemittel, Kap. 3.4
- [6] v. Cube, H.L.; Steimle F.
Wärmepumpen, Grundlagen und Praxis
VDI-Verlag, Düsseldorf 1984
- [7] BAEHR, H.D.
Thermodynamik
Springer Verlag, 8. Auflage 1992
- [8] Recknagel / Sprenger
Taschenbuch für den Heizungsbau
- [9] Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik der Universität Duisburg-
Essen; Prof. Dr. Steimle & Dipl.-Ing. St. Köster
„Entwicklung und Untersuchung einer CO₂-Wärmepumpenanlage für den Einsatz in einer
Heißwasser-Heizungsanlage“
Abschlussbericht AZ 16727 Deutsche Bundesstiftung Umwelt Osnabrück im Jahr 2004