

-I-

Wolfgang Wagner

**Architektonische  
Integration von Anlagen zur  
Verwendung regenerativer Energie,  
dargestellt an ausgewählten Beispielen**

Dortmund, Oktober 2005

## **Vorwort**

Diese Arbeit entstand während meiner beruflichen Tätigkeit als Leiter der Hochbauabteilung der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW) / Dortmunder Stadtwerke AG (DSW). Bei meiner beruflichen Tätigkeit stellte sich immer wieder die Aufgabe, regenerative Energie für den Gebäudebereich zu nutzen. Die Aufgabe verband sich mit dem Anspruch, die rationellere Energiegewinnung zum integralen Bestandteil der Planung zu machen, sie eben nicht als Additum einzustufen. Meine Zielsetzung bestand und besteht vielmehr darin, das Energiegewinnungskonzept in die Prinzipien von Konstruktion und Gestaltung zu integrieren.

An zwei ausgesuchten Beispielen soll die zunehmend wissenschaftliche Auseinandersetzung unter diesen Aspekten untersucht werden; die ausgeführten Bauten bilden die konkrete Grundlage für eine wissenschaftliche Analyse, ob diese Konzeption den wissenschaftlich begründeten Kriterien für die Integration von Energiegewinnung, Konstruktion und Gestaltung standhält und welche Konsequenzen daraus zu ziehen sind.

Mein Dank gilt dem Lehrstuhlinhaber Herrn Prof.Dr.-Ing. Helmut F.O. Müller für die Förderung meiner Arbeit und die konstruktive Kritik. Ferner danke ich Herrn Prof.Dr.-Ing. Ernst-Rudolf Schramek für die Übernahme des Korreferates und hilfreichen Anregungen. Für den Vorsitz der Prüfungskommission danke ich Herrn Prof.Dr.-Ing. Jürgen Neiseke.

Ich danke Frau Martina Zebandt, Frau Dipl.-Ing. Antje Kuller und Herrn Wolfgang Monschein für ihre Unterstützung bei der formalen Aufbereitung dieser Arbeit und Herrn Dipl.-Ing. Ralf Bösebeck für seine Mithilfe bei der Auswertung der vorliegenden Messungen.

Dortmund, Oktober 2005

Wolfgang Wagner

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
VORWORT	II
INHALTSVERZEICHNIS	III
1. Einleitung	1
2. Aufgabenstellung	7
3. Auswahl von Beispielen aus dem Bereich der VEW-Regionalzentren	24
4. Zum allgemeinen Einsatz von Elektrowärmepumpen: Effizienz, Einsatzbedingungen und Marktsituation	26
4.1 Effizienz	26
4.2 Einsatzbedingungen	29
4.3 Marktsituation	32
5. Heizsysteme in den ausgewählten Regionalzentren	33
5.1 Zielsetzung des Energiekonzeptes	33
5.2 Resultat der planerischen Überlegungen	33
5.3 Wärmeerzeugung	34
5.4 Heizungsanlagen	35
5.5 Flächenwärmetauscher aus Kupfer	39
6. Bautechnischer Einsatz von anlagentechnischen Komponenten zur Verwendung regenerativer Energie	41
6.1 Dach-Attikablenden in dem Regionalzentrum Brechten	41
6.2 Einsatz von Flächenwärmetauschern im Regionalzentrum Brechten	44
6.3 Zielkonflikt zwischen Energieeinsparung und Raumluftqualität für die Gestaltung des Regionalzentrums Wambel	46
6.4 Anwendung der Zuluftführung zur kontrollierten Lüftung im Regionalzentrum Wambel	47
7. Analyse und Bewertung des Regionalzentrums Brechten unter den Aspekten Energieverbrauch, Umweltbelastung und Kosten	50
7.1 Anlagenspezifikation	50
7.2 Primärenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emission	53

	Seite	
7.2.1	Vorbemerkungen	53
7.2.2	Vergleichende Bilanzierung zwischen einer konventionellen Ölheizung und der eingesetzten Elektrowärmepumpenanlage	55
7.2.2.1	Zugrundegelegte Parameter	55
7.2.2.2	Berechnung für eine konventionelle Ölheizung	57
7.2.2.3	Berechnung für die eingesetzte Wärmepumpenanlage (EWP)	57
7.2.2.4	Ergebnis der vergleichenden Bilanzierung	58
7.3	Kostenanalyse	59
7.4	Bewertung unter ökologischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten	61
<b>8.</b>	<b>Analyse und Bewertung des Regionalzentrums Wambel unter den Aspekten Energieverbrauch, Umweltbelastung und Kosten</b>	<b>62</b>
8.1	Anlagenspezifikation	62
8.2	Primärenergieeinsatz und CO <sub>2</sub> -Emission	70
8.2.1	Vorbemerkungen	70
8.2.2	Vergleichende Bilanzierung zwischen einer konventionellen Ölheizung und der eingesetzten Elektrowärmepumpenanlage (EWP)	71
8.2.2.1	Zugrundegelegte Parameter	71
8.2.2.2	Berechnung für eine konventionelle Ölheizung	72
8.2.2.3	Berechnung für die eingesetzte Wärmepumpe (EWP)	72
8.2.2.4	Ergebnis der vergleichenden Bilanzierung	73
8.3	Kostenanalyse	73
8.4	Bewertung unter ökologischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten	75
<b>9.</b>	<b>Vergleich der Energiekonzepte für die Regionalzentren Brechten und Wambel</b>	<b>79</b>
9.1	Vergleich bezüglich der Wärmequellen	79
9.2	Vergleich bezüglich der Wärmeverteilungssysteme	80
9.3	Vergleich bezüglich der Effizienz	81
9.4	Vergleich bezüglich der ökologischen Wirkung	82
9.5	Vergleich bezüglich der Wirtschaftlichkeit	83
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>85</b>
10.1	Konstruktion / Bautechnische Bezugsebene	86
10.2	Verwendung regenerativer Energie / Energetische Bezugsebene	87
10.3	Gestaltung / Gestalterische Bezugsebene	87
10.4	Integration von Gestaltung, Konstruktion und energetischer Funktion	89

	Seite
11. Konsequenzen für die Planung Zur Übertragbarkeit: Individuelle Lösungsansätze und Stufen der Prozessbegleitung	90
12. Ausblick: Die weitere Entwicklung in der Wirtschaft, der Gesellschaft, der Politik und der Forschung	93
Anhang:	
A 1 Beschreibung der VEW-Regionalzentren Brechten und Wambel	98
A 2 Anmerkungen	103
A 3 Literaturverzeichnis	106
A 4 Abbildungsverzeichnis	118
A 5 Tabellenverzeichnis	126
A 6 Abkürzungen	127

## 1 Einleitung

Gestaltungskriterien in der Architektur stehen im engen Zusammenhang mit der subjektiven Vorstellung von guter und schlechter Formensprache. Jeder ist in seiner Auffassung durch Bildung, Erziehung und soziale Kontakte geprägt, so dass er seine eigene Formensprache findet und formuliert.

Bei der Entwicklung von Baukörpern, die man als bebaute Umwelt versteht, betrachten wir Formen, Geometrie, Farbe und Proportionen, um aus diesen Merkmalen ein homogenes Ganzes entstehen zu lassen. Die Gestaltung von Gebäuden ist sicher keine Frage des "Geschmackes", über den man – viel zitiert – streiten kann, sondern die Festlegung von Material, Farbe und Formgebung; dabei müssen Gestaltung, Konstruktion und Funktion – allgemein gesprochen – in Einklang gebracht werden, so dass der Betrachter – gleich welcher subjektiven Wertung – bei einer stimmigen Gestaltung nie das Bedürfnis zu einer fundamentalen Kritik verspüren wird.

Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung von Baukörpern hat ein weiteres Merkmal einen notwendigen Standort in unserem Bewusstsein erlangt – der vernünftige Umgang mit begrenzten Ressourcen (Öl, Kohle, Erdgas). Energie ist notwendig, um unser Leben möglich zu machen und langfristig zu sichern. Sie wird eingesetzt, um uns zu ernähren und vor Einflüssen der Natur zu schützen. Aus diesen Grundbedürfnissen, die wir befriedigen müssen, erwächst ein Bedarf an Quantität und Qualität in der Energieverwendung. Der Bedarfsdeckung sind jedoch Grenzen gesetzt. Diese Grenzen zeichnen sich ab in den fossilen Energieträgern.

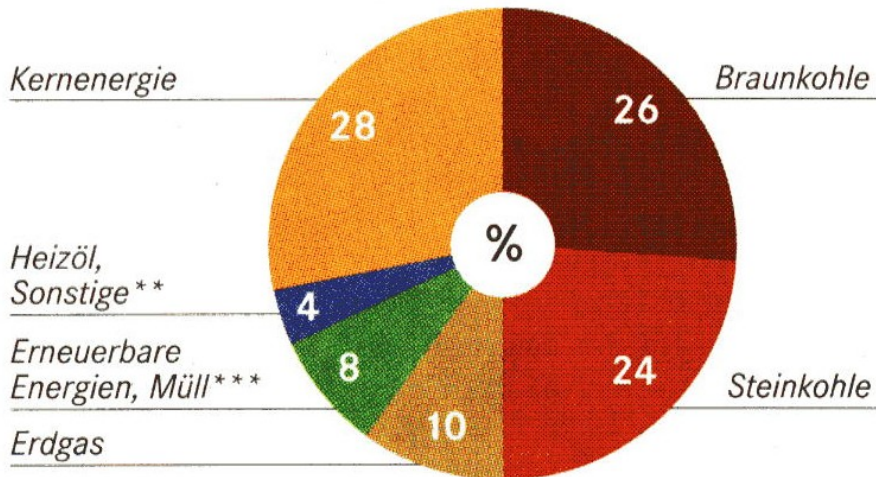
Aufgrund der Endlichkeit von fossilen Energieträgern<sup>[1]</sup> ist der Mensch gezwungen, erneuerbare Energien zu suchen und zu nutzen. Natürliche Energiequellen, die im Wesentlichen durch die Existenz der Sonne langfristig gesichert sind<sup>[2]</sup>, bieten hier ein Spektrum an Nutzungsvarianten, welche in ihrer Quantität und Qualität nahezu unerschöpflich sind. Diese Nutzungsvarianten bezeichnen wir hinlänglich als erneuerbare, regenerative Energien<sup>[3]</sup>.

Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Netto-Stromerzeugung in Deutschland beträgt laut Mitteilung des Bundesumweltministeriums für den Zeitraum 2003/1. Hälfte 2004 zwischen 8 – 10 %:

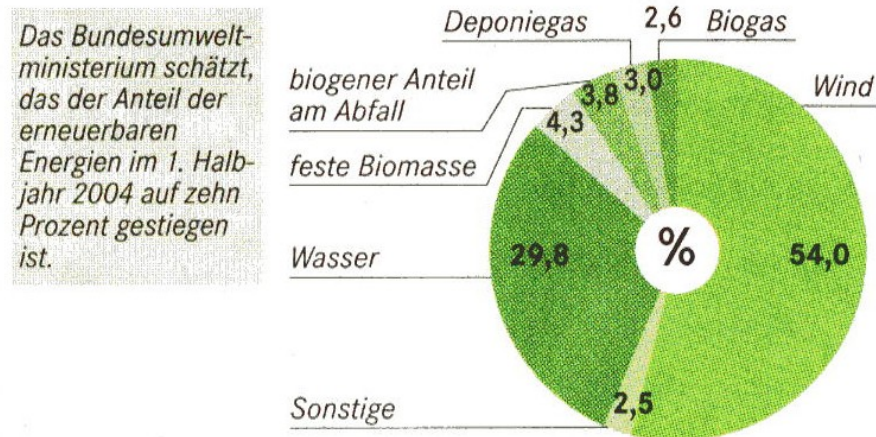
## Feste Größe: erneuerbare Energien

Netto-Stromerzeugung in Deutschland 2003\*

Gesamtvolumen: 560 Mrd. Kilowattstunden



Anteil der Stromversorgung nach Sparten der erneuerbaren Energien



\*einschließlich Einspeisungen von privaten Erzeugern;

\*\*beispielsweise Gichtgas, Raffineriegas;

\*\*\*regenerativer Anteil; Quellen: VDEW, BMU

HANDELSBLATT-GRAFIK

Abb. 1: Feste Größe: Erneuerbare Energien, aus: Handelsblatt vom 18.03.2004, S. 2

Als eine der vordringlichsten Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte ist die energiewirtschaftliche Aufgabe zu sehen, welche Energieeffizienz, Energiesparen und den Ersatz fossiler Ressourcen durch erneuerbare Energien kombiniert.

Grundsätzlich ist die energiewirtschaftliche Herausforderung nämlich aus mehreren Gründen erforderlich:

- Schonung der Ressourcen wegen der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Energieträger,
- Verringerung der Energieimportabhängigkeit der Industriestaaten,
- Schutz der Umwelt durch Verringerung des Verbrauches an fossilen Energieträgern.

Die Energienutzung ist längst keine nationale Aufgabe mehr. Sie umfasst inzwischen den europäischen, den internationalen und den globalen Bereich. Mit der Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Jahre 1992 wurde das Ziel einer "Nachhaltigen Entwicklung", d. h. wirtschaftliche und soziale Belange sowie die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlage miteinander in Einklang zu bringen, als Leitlinie für die zukünftige Entwicklung der Welt allgemein anerkannt. Vor dem Weltgipfel für "Nachhaltige Entwicklung" in Johannesburg im Jahre 2002 hat der 14. Deutsche Bundestag die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" eingesetzt und diese beauftragt, Antworten auf die Herausforderung der Sicherung der natürlichen Lebensgrundlage, der Bewältigung des globalen Wettbewerbs um die Energiereserven und der Schaffung humaner Lebensbedingungen für eine weiter wachsende Weltbevölkerung zu geben. Trotz beachtlicher Fortschritte in den letzten Jahren haben sich die Probleme, die zur Rio-Konferenz geführt haben, nicht grundlegend verändert: Der Zugang zu zuverlässiger und bezahlbarer Energie, der zwei Milliarden Menschen auf der Welt nicht verfügbar ist, stellt damit ein herausragendes Problem dar<sup>[4]</sup>.

Das globale Klima-Risiko, vorrangig durch CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Energieträgern verursacht, macht Maßnahmen zur Eindämmung des Treibhauseffektes zwingend erforderlich<sup>[5]</sup>. Zu diesen Maßnahmen ist auch das Umdenken des Endverbrauchers zu zählen, durch sein Verhalten einen Beitrag zur Energieeinsparung und zur CO<sub>2</sub>-Verminderung zu leisten.

Die Bundesregierung hat im Frühjahr 1991 den Ausstieg aus der Verwendung der FCKW bis zum Jahr 1995 beschlossen. Die FCKW-Halon-Verbotsverordnung ist am 1. August 1991 in Kraft getreten. Die Bundesregierung hat



ferner in zwei Kabinettsbeschlüssen im Juni und November 1990 ein umfangreiches Maßnahmenbündel zur CO<sub>2</sub>-Minderung auf den Weg gebracht. Bis zum Jahr 2005 könnten danach die CO<sub>2</sub>-Emissionen im ganzen Bundesgebiet um 25 bis 30 %, gemessen am Emissionsvolumen des Jahres 1987, reduziert werden<sup>[6]</sup>.

Parallel zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen werden auch die anderen Schadstoffemissionen vermindert, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt werden<sup>[7]</sup>.

Allein durch Erhöhung der Energieeffizienz, durch rationellere Energieverwendung sowie durch energiebewusstes Management und Verhalten kann bis zum Jahr 2005 ein CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential in der Größenordnung von insgesamt rund 20 % erreicht werden. Dazu wird man der Nutzung erneuerbarer Energien verstärkte Aufmerksamkeit schenken müssen<sup>[8]</sup>.

Interessant sind auch die folgenden Reduktionspotentiale, deren Ausschöpfung eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von etwa 10 % bis zum Jahre 2005 ermöglichen würde:

- Eine Verringerung des Anteils von Kohle und Erdöl und eine Erhöhung des Anteils an Erdgas, das im Vergleich zur Kohle nur etwa die Hälfte an CO<sub>2</sub> pro eingesetzte Energiemenge emittiert;
- Förder- und Anreizprogramme zur verstärkten Nutzung der erneuerbaren Energien.

Notwendige Veränderungen erfordern den Einsatz neuer Wärmeerzeugungsanlagen einschließlich der dazugehörenden Regelung sowie neuer Energieverteilungssysteme. Dadurch wird eine hohe Ausnutzung der Brennstoffe erreicht. Die Verbrennung und Regelung wird optimiert und die Energieausnutzung verbessert, das heißt: geringer Energieverbrauch bei verbesserten Wirkungsgraden.

Um diese Zielsetzungen zumindest annähernd zu erreichen, sind neue technologische Verfahren entwickelt worden, die sich in ihrem Nutzungsgrad viel-

schichtig darstellen. Kollektor- und Absorbertechnologie sowie der Einbau Photovoltaik wird durchgängig in der Bautechnologie eingesetzt. Hier liegt die Priorität in der Umwandlung von Solar- bzw. Umweltenergie in Bauteilen der Gebäudehülle in Wärme bzw. von Strom zur Nutzung in Gebäuden.

Die gesellschaftliche Anerkennung von Solarkollektoren auf dem Dach z. B. ist sehr hoch. Zwar werden sie von dem überwiegenden Teil der Bevölkerung als Bereicherung empfunden, der Großteil der Anlagen wird aber ohne Rücksicht auf gestalterische Fähigkeiten montiert. In der Literatur wird hervorgehoben, dass "die Prospekte der Kollektorhersteller ... von oftmals geringer Phantasie der Planer betreffs der Einbindung von Kollektorflächen in die Gesamtarchitektur (zeugen)"<sup>[9]</sup>. Es werden dafür mehrere Gründe angegeben:

- "Kollektorabmessungen sind bei den meisten Herstellern vorgegeben, individuelle Abweichung sind kaum ohne hohe Mehrkosten möglich.
- Aufgrund dessen müssen Solarflächen bereits im Vorentwurfsstadium inkl. der Maße festgelegt werden.
- Die Vorentscheidung für ein Produkt muss frühzeitig fallen und bei der Werkplanung und Ausschreibung konsequent beibehalten werden.
- Technische Probleme der Einbindung müssen im Zuge der Werkplanung geklärt und in die Ausschreibung einbezogen werden, sonst werden technisch einfachere Lösungen bei der Montage den gestalterisch befriedigenden Lösungen vorgezogen.
- Anlagen, die erst im nachhinein geplant oder auf bestehende Gebäude montiert werden, können gestalterisch nur in geringem Maß integriert werden."<sup>[9]</sup>

Dabei wird deutlich gemacht, dass der verschattungsfreie Einbau Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlichen Einsatz ist.

Ingenieure und Architekten sind in letzter Zeit verstärkt bemüht, Varianten zu entwickeln, regenerative Energiequellen an Gebäudeteilen zu nutzen. Die Industrie sowie das Bauhandwerk haben im Laufe des letzten Jahrzehnts eine

Menge an Möglichkeiten hervorgebracht, um die Forderung von Verwertung von regenerativer Energie an Gebäuden zu realisieren<sup>[10]</sup>.

Photovoltaik, Erdwärme, Windkraft, Sonnenwärme und Umgebungslufttemperaturen sind Begriffe, welche die Regenerativterminologie in unser Bewusstsein gebracht hat. Der Einsatz als Energiebeschaffer ist für alle Varianten, die uns die Natur und die Technik zur Verfügung stellt, denkbar, jedoch müssen wir mit unserem Wissensstand und unserer Kreativität Möglichkeiten finden, vielfältige Varianten einsetzen und prüfen zu können; dabei müssen wir, um eine objektive Bewertung des Baukörpers in seiner Gesamtheit zu ermöglichen, mit Hilfe der wissenschaftlichen Analyse prüfen, ob die planerischen Überlegungen zur stimmigen Konfiguration von Gestaltung, Konstruktion und energetischer Funktion den auf wissenschaftlicher Grundlage entwickelten Kriterien standhalten.

In der nachfolgenden Untersuchung sollen diese Kriterien ermittelt werden; auf der Grundlage dieser Kriterien werden anschließend exemplarisch zwei vorhandene Bau-Objekte untersucht und bewertet.

## 2. Aufgabenstellung

Das Thema Gestaltung in der Architektur und die Nutzung regenerativer Energien bewegen sich gegenwärtig in einem Spannungsverhältnis. Probate Nutzungsmöglichkeiten für energiesparende Anlagen finden zurzeit nicht immer eine entsprechende Kongruenz zur ästhetischen Gestaltung.

Einerseits werden vielfältige Nutzungsvarianten von Energiesparsystemen auf dem Markt angeboten und gehandelt; andererseits wurde das Verhältnis dieser Varianten zum Baukörper bislang jedoch eher oder ausschließlich funktional gesehen. Ansätze zu einer ästhetischen Verwendung von Energienutzungsträgern sind zwar zu erkennen, werden jedoch nicht immer genutzt. Zurzeit führt lediglich Experimentierfreude zu einer konkreten Anwendung.

Häufig unterbleibt die Einbeziehung energieorientierter Lösungen, weil der Architekt keine Integrationsmöglichkeit findet. Andere Architekten handeln nach der Maxime, dass energiesparende Maßnahmen nicht sichtbar im Gebäudeentwurf erscheinen dürfen. Hier gibt es eine Fülle von Varianten, die es zu bewerten gilt. Bei der Bewertung gebäudeintegrierter Nutzungssysteme ist von folgendem Grundsatz auszugehen: Ausgangspunkt aller planerischen Überlegungen einer Entwicklung und Nutzung der gebäudeintegrierten Systeme ist das Einfügen in die Gebäudehülle. Dabei sind vielfältige Anforderungen zu berücksichtigen. Diese vielfältigen Anforderungen verändern die Gebäudehülle in einen komplexen multifunktionalen Bauteil. Ihre Entwicklung fordert eine wirtschaftliche, gestalterische Auseinandersetzung, die zu einem Gesamtergebnis führt. Diese ursprünglichen Forderungen, die in der Gebäudehülle stecken, haben auch Gültigkeit für die Berücksichtigung der Energiegewinnungssysteme bei den planerischen Überlegungen. D. h. der bereits bestehende Integrationsprozess schließt Energiegewinnungsmaßnahmen mit ein. Die so entstehende Kombination lässt sich als Integration verstehen: als Integration von Konstruktion, Gestaltung und energetischen Funktionen.

Um es anders auszudrücken: die Integration, z. B. solarthermischer Systeme, ist nur dann erzielt, wenn die Energiegewinnungsmaßnahme nicht allein als Mittel zum Zweck eingesetzt wird; die Integration ist gestört durch die

Dominanz oder durch die Nichtberücksichtigung eines ihrer drei Bestandteile. Man kann in diesem Fall von Pseudo-Integration sprechen.

Die nachfolgenden Beispiele sollen die unterschiedlichen Graduierungen in der Bandbreite der Realisierung der Integrationsforderung verdeutlichen.

Bei den Abbildungen 2.1 und 2.2 handelt es sich jeweils um ein Gebäude mit einem Satteldach, bei dem die Elementarfunktionen des Daches bereits erfüllt sind. Photovoltaik-Panels sowie ein solarthermisches System sind in einfacher Form auf der geschlossenen Dachhaut befestigt. Die Energieerzeugungssysteme übernehmen weder eine konstruktive noch eine gestalterische Funktion.

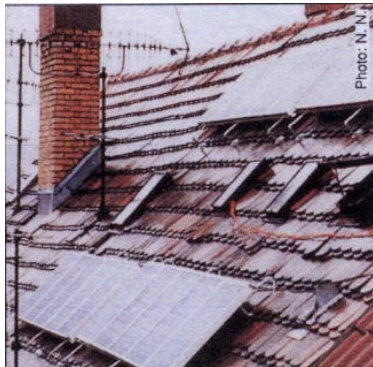


Abb. 2.1: Geneigte Dachfläche mit nachträglich montierten Photovoltaik-Elementen. Aus: Hagemann, S. 14



Abb. 2.2: wie 2.1

Bei Gebäuden mit Flachdächern ist eine Schrägaufstellung der Photovoltaikmodule erforderlich, um einen hohen Wirkungsgrad der Energieumwandlung zu erzielen ( $42^\circ$ ). Dies führt, wie z. B. in den Abbildungen 2,3-4 zu sehen, kaum zu Ergebnissen, welche die Komponenten Konstruktion und Gestaltung berücksichtigen.



Abb. 2.3: Flachdach mit Photovoltaik-Elementen, Foto: W. Wagner

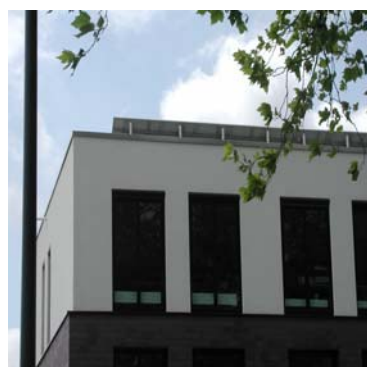


Abb. 2.4: wie 2.3

Die auf der Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten errichtete PV-Anlage (Abb. 3.1-6) ist auf einem Flachdach in geneigter Aufstellung versetzt worden. Die Trägerelemente wurden in loser Form auf die Flachdachfläche versetzt und mittels bekiester Modulträger fixiert. Vorteil dieser Montageart ist der Verzicht auf eine Befestigungsmöglichkeit, welche die Dachdichtung durchdringt. Die Anlage produziert aus ihrer Eigenschaft elektrischen Strom. Diese Anlagenform erfüllt ausschließlich den Zweck der Energiegewinnung. Weder konstruktive und gestaltende Aspekte finden bei dieser Lösung ihre Berücksichtigung.



Abb. 3.1: Gesamt-Ansicht des Verwaltungsgebäudes.



Abb. 3.2: Dachaufsicht mit PV-Modulen in geneigter Aufstellung.

Abb. 3.3: Bekieste Modulträger

2

3



Abb. 3.4: Seitenansicht der Träger mit montiertem Modul.

Abb. 3.5: Modulträger unbekiest

4

5



Abb. 3.6: Rückansicht der PV-Module in geneigter Aufstellung.

Abb. 3.1-6: Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, aus: Hagemann, S. 293

Die PV-Anlage ist lediglich als Mittel zur Gewinnung von (elektrischer) Energie installiert; wir sollten hier von einer Pseudo-Integration sprechen.

Anzumerken ist hier, dass die Förderungsbedingungen des Landes NRW für PV-Anlagen sich seit Anfang 2004 geändert haben: In Zukunft werden nur noch "fassadenintegrierte" und "dachintegrierte" Anlagen gefördert<sup>[10a]</sup>.

Das Hauptverwaltungsgebäude der Stadtwerke Pirmasens (Abb. 4.1-4) gliedert sich in das Bürogebäude und in einen seitlich stehenden Photovoltaik-Turm. Dieser Photovoltaik-Turm neben dem Haupteingang dient als städtebaulicher Orientierungspunkt für dieses halböffentliche Verwaltungsgebäude. In der oberen Hälfte sind PV-Module montiert, die über Eck den Turm verkleiden und ihn formal gestalten. Das Gestaltungsprinzip der gegliederten Fläche resultiert aus der Standardgröße der PV-Module. Diese Anlage erfüllt allerdings nur zwei Kriterien:

1. Durch die optimal ausgerichteten Photovoltaikflächen wird ein hohes Maß an Energiegewinnung ermöglicht.
2. Durch die Rechteckform der PV-Module ist eine orthogonale Gliederung des gesamten Baukörpers (Turm) erreicht. Die formale Gliederung zeigt durch ihre klare Struktur ein optisch ansprechendes Gestaltungsbild.

Die PV-Module haben keine konstruktive Aufgabe im Bereich der Fassade übernommen; weder Bewitterungsschutz noch Sonnenschutz sind durch die Montage gewährleistet. Die Forderung nach der Umsetzung der dritten Komponente zur vollwertigen Integration ist hier nicht erfüllt worden.



Abb. 4.1: Ansicht der Eingangsseite

1

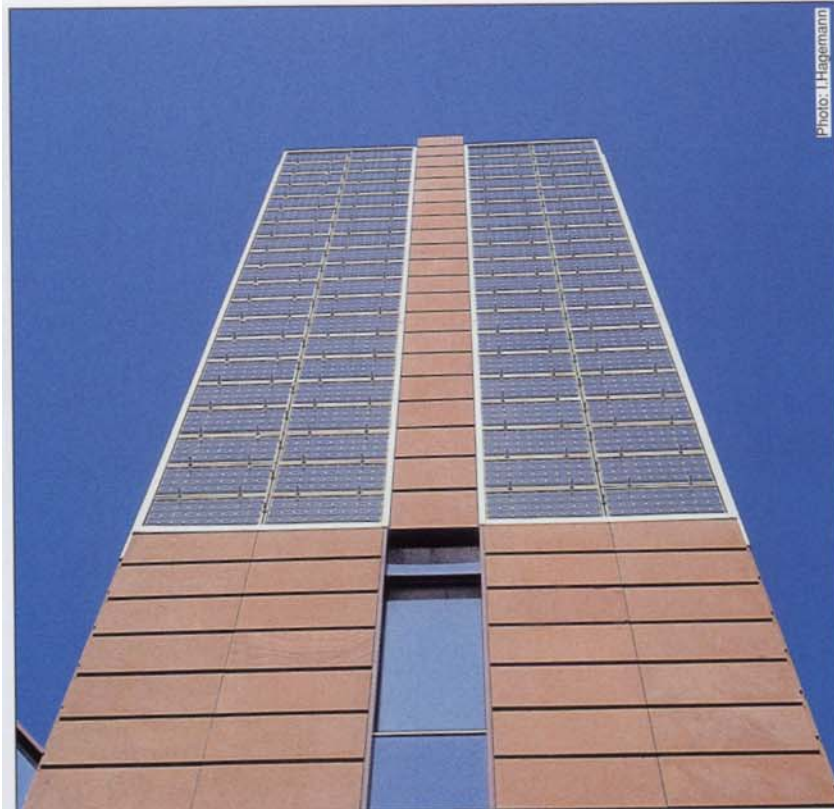


Abb. 4.2: Detailansicht des Photo voltaik-Turmes

2



Abb. 4.3 und 4.4: Eckdetail / Konstruktionsdetail

Abb. 4.1-4: Hauptverwaltung der Stadtwerke Pirmasens, aus: Hagemann, S. 327



Die bisherigen Beispiele zeigen einen objektiven Mangel in Bezug auf die Forderung der Integration. Die planerischen Überlegungen und deren Umsetzung haben jedoch in den nächsten beiden Beispielen bemerkenswerte Lösungen im Sinne der realen Integration von Gestaltung, Konstruktion und Energienutzung erreicht: Es handelt sich um die Akademie Mont-Cenis in Herne (Abb. 5.1-2) und das Düsseldorfer Stadttor (Abb. 6.1-4).

Der Gebäudekomplex der Fortbildungsakademie Mont-Cenis in Herne-Sodingen (Abb. 5.1-3), der im Rahmen der "Internationalen Bauausstellung Emscherpark NRW" realisiert wurde, ist so konzipiert, dass die Außenhülle einen Wetterschutz für die funktionalen Innenbauten bietet. Hotelähnliche Unterkünfte, Ausbildungseinrichtungen, Besprechungsräume, eine Bibliothek, ein Gymnasium und ein Restaurant sind als Einzelbaumaßnahmen innerhalb dieser Wetterschutzhülle errichtet. Diese Hülle ist mit den Ausmaßen 176 m Länge, 72 m Breite und 15 m Höhe als überdimensioniertes "Gewächshaus" umgesetzt<sup>[11]</sup>.



Abb. 5.1: Akademie Mont Cenis in Herne-Sodingen, Ansicht des Haupteingangs, aus: Hawkes / Forster, S. 101



Abb. 5.2: Tragwerkskonstruktion in Holzbauweise mit Dach- und Wand-Flächen (Innenseite), aus: Hawkes / Forster, S. 100

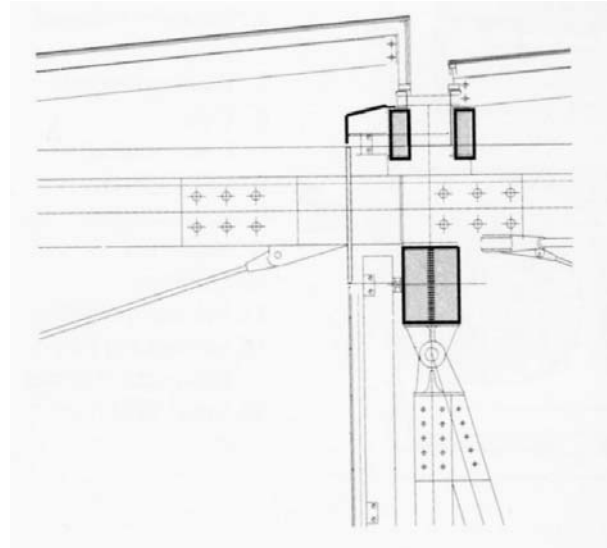


Abb. 5.3: Detail: Stützkopf (unmaßstäblich), aus: Hawkes / Forster, S. 100

Das Konzept der mikroklimatischen Hülle besteht aus einer gläsernen, gebäudegruppenüberspannenden Außenhaut. Innerhalb dieser Außenhaut wird eine klimatisch kontrollierte Umgebung geschaffen. Die von Regen und Wind freie Zone ermöglicht ein attraktives Umfeld für die funktionalen Aktivitäten des Komplexes. Sie wirkt als Pufferzone nach außen. Die Glashülle bewirkt quasi eine Klimaverschiebung von einem nordeuropäischen Klima zu einem eher als mediterran zu bezeichnenden Klima. Durch Lüftungsklappen in der Fassade lassen sich die inneren klimatischen Bedingungen kontrolliert verändern.

Die PV-Module sind in die Glasdachkonstruktion eingegossen. Eine unterschiedlich dichte Rasterstruktur der PV-Module sorgt für helle lichtdurchflutete Bereiche sowie für abgeschattete Zonen im Inneren. Die Dachfläche der Außenhaut bietet einen außergewöhnlichen Standort für eine PV-Installation; wir sprechen hier von einem PV-Generator. Es stehen ca. 12.000 m<sup>2</sup> photovoltaisch nutzbare Fläche zur Verfügung, die frei von Abschattung eine optimale Energieumwandlung ermöglicht. Der PV-Generator erzeugt eine elektrische Leistung von ca. 1 "MW<sub>p</sub>" (sog. "Peakleistung").

Diese Anlage erfüllt alle drei Kriterien einer realen Integration:

1. Die Anlage erzeugt elektrischen Strom, womit der Eigenbedarf gedeckt wird und der verbleibende Überschuss in die öffentliche Stromversorgung eingespeist wird.
2. Die PV-Module sind in die Glasdachflächen eingegossen und sorgen durch ihre unterschiedliche Rasterung für wechselnde Bereiche von Hell- und Dunkelzonen. Diese Zonen weisen unterschiedliche Funktionen auf. In den hellen Bereichen finden wir bepflanzte "Außenbereiche", die für den Wachstumsprozess der Pflanzen viel Licht benötigen. Die abgedunkelten Bereiche befinden sich über den Gebäudekomplexen und schützen diese vor Überhitzung. Die Glas-PV-Module (Structural Glazing) bilden zudem eine Dachhaut.
3. Der Gestaltungsansatz, PV-Module in unterschiedlicher Dichte über Funktionsbereichen zu installieren, bewirkt die Anmut eines wolkenartigen künstlichen Himmels.

Das Stadttor in Düsseldorf, ein zwanziggeschossiges Verwaltungsgebäude mit einer Gesamthöhe von ca. 70 m (Abb. 6.1-4), umfasst zwei parallel zueinander gestellte Bürotürme mit jeweils 16 Stockwerken und mit drei verbindende "Attikageschosse", die in ihrer Komplexität insgesamt ein Tor bilden. Innerhalb des Tores ist ein fünfzig Meter hohes Atrium entstanden. Der gesamte Gebäudekomplex ist mit Einfachverglasung aus 12 mm dickem Floatglas umhüllt, das die beiden Bürotürme gegen Schadstoffemissionen und Verkehrslärm schützt, der durch den Verkehr der Stadtautobahn auftritt, die durch das Gebäude überbaut worden ist.



Abb. 6.1: Stadttor Düsseldorf, Gesamtansicht des Modells, aus: Herzog, S. 125

Zwischen Außenhaut und Innengebäude entstand ein 95 cm bzw. 140 cm breiter Fassadenzwischenraum, in dem bewegliche Sonnenschutzlamellen platziert sind. Für die inneren Bürotürme wurde eine Außenhaut mittels Isolierglas montiert. Die natürliche Durchlüftung des Zwischenraums wird durch verschließbare Lüftungsklappen in der Außenhülle gewährleistet. Durch diese ausreichende natürliche Lüftung kann bei diesem völlig transparenten Bauwerk auf eine Vollklimatisierung verzichtet werden.



Abb. 6.2: Stadttor Düsseldorf, Fassadenausschnitt an einer Gebäudeecke, Glasaußenhaut-Trägersystem und Innengebäude; Foto: W. Wagner

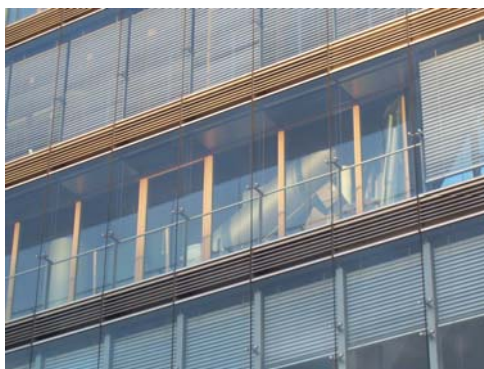


Abb. 6.3: Aktiver Sonnenschutz in Form von Jalousien zwischen Außenhaut und Innengebäuden; Foto: W. Wagner



Abb. 6.4: Fassadendetail der Glasaußenhaut, Planarbefestigungshalter tragen die äußere Glashaut; am unteren Rand sind Zuluftlamellen sichtbar. Foto: W. Wagner

Die Fassadenkonstruktion erfüllt alle drei Forderungen zur konkreten Integration:

1. Der Zwischenraum zwischen Außenhaut und den Verwaltungsgebäuden dient als Pufferzone. Im Winter wird der Wärmebedarf der Nutzbereiche erheblich reduziert. Der mathematische Nachweis stellt fest, dass während der Betriebszeiten lediglich ein Kältebedarf entsteht, der primär durch eine Grundwasserkühlung und ein Desorptionsverfahren den Primärenergiebedarf des Gebäudekomplexes um mehr als 50 % senkt<sup>[11a]</sup>.
2. Die Fassadenaußenhülle aus Glas und Stahl gewährleistet den aktiven Wetterschutz und schafft innen ein unabhängiges Mikroklima. Darüber hinaus gewährt die Fassadenkonstruktion eine natürliche Lüftung bei erhöhtem Lärmschutz.
3. Die Gestaltung des Gebäudekomplexes lässt für den Betrachter nicht erkennen, dass durch die Fassadenkonstruktion eine wirkungsvolle Primärenergienutzung ermöglicht wird. Die Tatsache, dass dieser klimatische Effekt nicht offensichtlich zu erkennen ist, stuft diesen Komplex als integrierte Maßnahme ein.

Die bisher vorgestellten Beispiele beziehen sich in der Regel auf Neubauten<sup>[12]</sup>. Zu untersuchen bleibt die Besonderheit, ob sogar im Sanierungsfall, auch unter den Forderungen der Denkmalpflege, die planerischen Überlegungen auf der bautechnischen, gestalterischen und energetischen Bezugsebene den besonderen Kriterien entsprechen. Im konkreten vorliegenden Fall handelt es sich um die Sanierung des Hauptverwaltungsgebäudes der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (Bauteil Turm, Abb. 7.1-8).

Das kommunale Versorgungsunternehmen DEW hat im Jahre 2003 die Generalsanierung der Hauptverwaltung, Bauteil Turm, entschieden. Das im Jahre 1954 errichtete Gebäude wurde in seinen inneren Funktionen neu geordnet. Da die gesamte Gebäudehülle, bedingt durch die bautechnischen Forderungen der 60er Jahre, ungedämmt ausgeführt wurde, musste nach der ENEV und der Vorgabe der Bauherren ein energiesparendes Gebäudekonzept entwickelt werden.



Abb. 7.1: DEW-Hauptverwaltung, Bauteil Turm, 1959-2003 (vor der Sanierung), aus: Heinmann, S. 7



Abb. 7.2: DEW-Hauptverwaltung, Bauteil Turm, (nach der Sanierung), Foto: W. Wagner

Nach den Forderungen der Denkmalpflege sowie nach der Vorgabe der Bauherren, energiesparend zu sanieren, wurde folgende Konzeption entwickelt:

1. Die Charakteristik der durch die Vertikallisenen gegliederten Fassade sollte in seiner Wirkung erhalten bleiben und durch die Sanierungsmaßnahme nicht zerstört werden. Der formale Anspruch der Fassadenstruktur sollte im vollen Umfang erhalten bleiben. Daraus resultierte die Entwicklung einer Doppelfassade, zwischen den Vertikallisenen (Gebäudestützen) ausgeführt (Abb. 7.1 und 7.2).
2. Die nahezu ungedämmten Stahlbetonlisenen aus dem Jahre 1954 wurden dreiseitig nach den derzeitigen Forderungen der ENEC gedämmt (Abb. 7.3). Vakuumierte Dämmstoffe wurden zur seitlichen Verkleidung eingesetzt, um den Schlankheitsgrad der Lisenen erhalten zu können (Abb. 7.4). Die Kopfseite erhielt eine konventionelle Dämmung. Die ursprünglichen, mit Fensterflächen versehenen Zwischenräume der Lisenen sind mit einer Doppelfassade geschlossen worden. Die Innenfassade besteht aus einem Aluminium-Glaselement (PAD-Fenster / Parallel-Aufstell-Dreh-Fenster) mit Doppelverglasung. Der Fensterflügel ist, motorisch betrieben, parallel aufzustellen. Die Aufstellung erreicht durch die parallele Öffnung des Flügels zum Blendrahmen eine umlaufende Lüftungsfuge von 15 mm. Diese Parallelöffnung wird durch den Einsatz eines rechnergestützten Bus-Systems gesteuert, dass zu vorgegebenen Zeiten die Belüftung des Gebäudes übernimmt. Die kontrollierte Lüftung des gesamten Gebäudes wird durch diese Voraussetzungen ermöglicht. Zudem besteht bei abgeschalteter Elektronik die Möglichkeit, den Fensterflügel manuell zu öffnen.

Die zu öffnende Außenfassade besteht aus einer um die Vertikalachse zu drehenden Zwei-Scheiben-Sicherheitsverglasung. Diese Verglasung ist umlaufend mit einem Lüftungsschlitz  $\geq 5$  cm ausgeführt worden. Dieser Schlitz ermöglicht die Hinterlüftung der Außenfassade. Zwischen der Innen- und Außenfassade befindet sich das aktive Sonnenschutzsystem (Abb. 7.5-8).







Abb. 7.6: Innenaufnahme des Parallel-Aufstell-Dreh-Fensters (PAD-Fenster) sowie des außen liegenden Drehflügels. Foto: W. Wagner

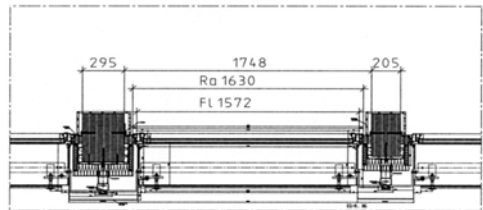
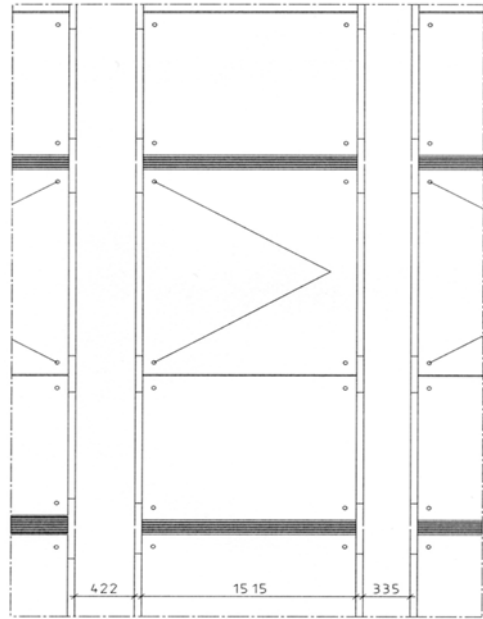


Abb. 7.7 (oben): Detailzeichnung:  
Ansicht der Außenverglasung  
zwischen den Lisenen mit darunter  
liegendem Horizontalschnitt  
(unmaßstäblich).  
Hochbauabteilung DEW

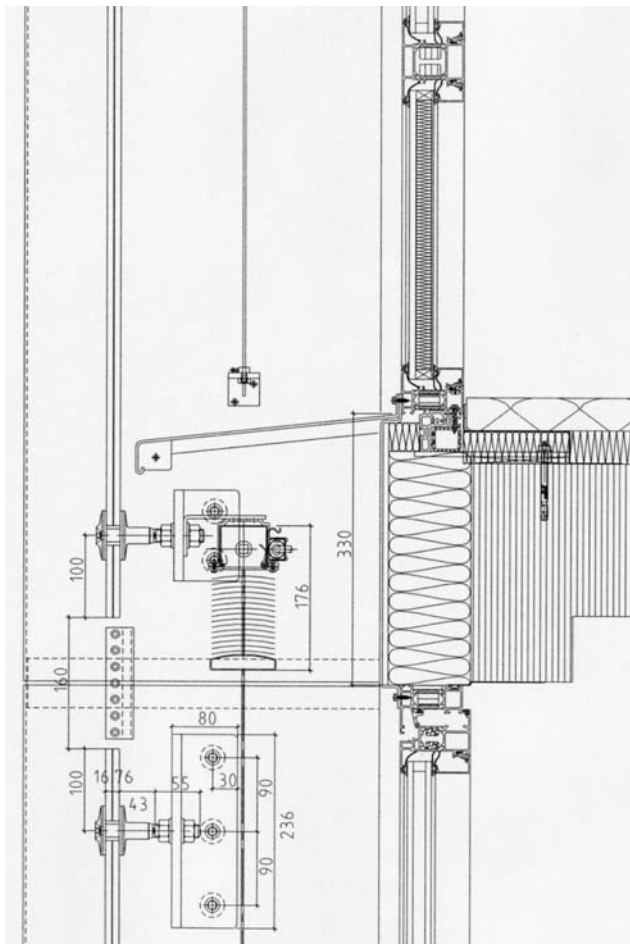


Abb. 7.8 (links): Detailzeichnung:  
Vertikalschnitt durch die Doppelfassade  
im Deckenbereich, mit aktivem  
Sonnenschutz (unmaßstäblich).  
Hochbauabteilung DEW

Um das Charakteristikum der Fassade zu erfassen, ist hervorzuheben, dass sich neben dem zentralen, durch die Lisenen und Fensterflächen geprägten Mittelfeld verlinkerte Wandscheiben befinden. Diese Flächen wurden mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Die Bewitterungsschicht besteht aus Klinkerriemchen, die dem ursprünglichen Klinkerstein nachempfunden wurde.

3. Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen führen für das Bauteil Turm zu folgenden Verbesserungen auf der energetischen Bezugsebene: Der Transmissionswärmeverlust wird um ca. 48 % gesenkt. Der Lüftungswärmebedarf bleibt konstant. Der spezifische Wärmebedarf pro m<sup>2</sup> hat sich somit um 36% verbessert<sup>[12]</sup>. Bei den hier genannten Werten ist anzumerken, dass am Verwaltungsgebäude bereits in den Jahren 1982/83 eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt worden ist; bei dieser Sanierungsmaßnahme sind die Fenster aus dem Jahre 1984 (Einscheibenglasfenster) gegen thermopaneverglaste Aluminiumfenster ausgetauscht worden.

Die hier dargestellte Bandbreite von unterschiedlichen Realisierungen der Integrationsforderung hat dazu beigetragen, die These der Integration von Gestaltung, Konstruktion und Energienutzung an konkreten Beispielen explizit vorzustellen<sup>[13]</sup>. Dabei hat sich herausgestellt, dass diese These in den vorliegenden Fällen durchaus eine Basis der objektiven Beurteilung darstellt. Die lässt sich wie folgt formulieren: Um eine objektive Bewertung zu ermöglichen, ist die Integration von bautechnischen Funktionen (Konstruktion), von ästhetischen Forderungen (Gestaltung) und energetischen Funktionen (Verwendung regenerativer Energien) zu gewährleisten. An dieser Stelle bedarf die Darstellung zum Zwecke der weiteren Differenzierung der Analyse und Bewertung über die Zusammenfassung hinaus einer weiteren Vertiefung.

Im allgemeinen deutschen Sprachgebrauch wird der Begriff "Integration" definiert als "Einbeziehung in ein größeres Ganzes oder als Zusammenschluss zu einem größeren Ganzen". Erreicht wird dies in der Architektur durch die

vielfältige Verknüpfung und Verbindung der einzelnen Bau- und Gestaltungselemente zu einem übergeordneten Ganzen. Die Qualität der Integration zeigt sich in der Vielfalt und Mannigfaltigkeit eines solchen Beziehungsgefüges, das auf den unterschiedlichen Bezugsebenen zwischen dem Einzelnen und dem Ganzen erreicht wird. Bei der Integration gilt es, eine Abstimmung zu finden zwischen den energetischen Erfordernissen eines Systems, den konstruktiven Funktionen, die von einem Gebäude und seiner Hülle erfüllt werden müssen, und den gestalterischen Anforderungen, die an das Innere und Äußere des Gebäudes gestellt werden.

Eine gelungene Integration zeichnet sich demnach dadurch aus, dass die nachfolgenden drei Bezugsebenen gleichwertig und gleichrangig berücksichtigt werden und als Ergebnis zu einem harmonischen Ganzen führen. Es handelt sich um die

- bautechnische
- energetische
- gestalterische Bezugsebene.

Im Folgenden wird an zwei Beispielen auf die verschiedenen Aspekte der Integration auf allen drei Bezugsebenen eingegangen. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung und Darstellung der konkreten Verschränkung der drei Bezugsebenen zum Zwecke der Integration. Es werden auch Kostenüberlegungen und -berechnungen in die Bewertung mit aufgenommen.

### **3. Begründung der Auswahl von Beispielen aus dem Bereich der VEW-Regionalzentren**

Die VEW-Bezirksdirektion unterhielt im Netzbetrieb der elektrotechnischen Versorgung der Stadt Dortmund 13 elektrotechnische Regionalzentren; es sind drei Regionalzentren mit einer Anlage zur Gewinnung von regenerativer Energie ausgerüstet worden<sup>[14]</sup>.

Das erste Regionalzentrum liegt in Dortmund-Mitte und wird mit einer Erdwärmepumpe beheizt. Die Anlage bot naturgemäß keine Möglichkeit, die Faktoren Konstruktion und Gestaltung umzusetzen.

Das zweite Regionalzentrum mit dem Anspruch der regenerativen Energiegewinnung wurde in Dortmund-Brechten errichtet. Dieses Zentrum erhielt eine Attikablende als Dachrandabschluss. Diese Attikablende dient als Absorberfläche. Das Material Kupfer wurde eingesetzt, um einen hohen Wirkungsgrad bei der Absorption der Umgebungswärme zu erreichen. Mittels einer Elektro-Wärmepumpe wird die nötige Wärme für die Beheizung dieses Regionalzentrums erreicht. Als Verteilersystem dient eine Warmwasserfußbodenheizung.

Das dritte Regionalzentrum in Dortmund-Wambel wurde umgebaut und erweitert. Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über eine elektrisch betriebene Warmwasser-Zentralheizung. Die Besonderheit dieses Gebäudes liegt darin, dass neben der konventionellen Elektro-Zentralheizung eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung über eine EWP eingesetzt ist.

Die Regionalzentren Brechten und Wambel boten sich im Rahmen dieser Untersuchung als innovative Beispiele an, da für beide Regionalzentren schon in einem sehr frühen Planungsstadium Entscheidungen getroffen worden sind, die Gebäude nach der Auflage der Bauherren über energiesparende Maßnahmen zu beheizen und kontrolliert zu belüften.

In beiden Planungsaufträgen erhoben die Bauherren nämlich die Forderung, mit einer Elektrowärmepumpe (EWP) die Voraussetzungen für die Beheizung des jeweiligen Projekts zu unterstützen. Das Unternehmen VEW wollte beispielhaft Möglichkeiten aufzeigen, Varianten von Heizungssystemen unter der Nutzung einer EWP sinnvoll zu ergänzen.

An beiden Beispielen, die unter der besonderen Auflage der Bauherren geplant und errichtet wurden, soll nun im weiteren Verlauf der Darstellung untersucht werden, ob die oben formulierte Forderung der Integration der Faktoren Konstruktion, Gestaltung und Energiegewinnung nachweisbar umgesetzt worden ist.

Bevor diese Überprüfung an Hand der wissenschaftlichen Kriterien durchgeführt wird, erscheint es auch vor dem Hintergrund der Intentionen der Bauherren sinnvoll und zweckmäßig, die Effizienz, die Einsatzbedingungen und Marktsituation von Elektrowärmepumpen im Allgemeinen kritisch zu untersuchen.

## **4 Zum allgemeinen Einsatz von Elektrowärmepumpen: Effizienz, Einsatzbedingungen und Marktsituation**

Grundsätzlich ist Wärme eine Energieform, deren Nutzbarkeit völlig unabhängig von ihrem aktuellen Temperaturniveau ist. In der Luft sowie dem Erdreich und in Gewässern, aber auch in der Abluft aus Gebäuden sowie in Abwässern aller Art steckt ein Wärmepotential, das für uns nutzlos erscheint, weil wir die Wärme, z. B. zum Heizen, auf höherem Temperaturniveau benötigen.

Aus allen diesen Wärmequellen kann Wärme gewonnen und mit der Wärmepumpe unter Zuführung eines Bruchteils an hochwertiger Energie auf ein für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau angehoben werden.

Voraussetzung für eine effiziente Nutzung ist hierbei ein möglichst konstantes Temperaturniveau über den gesamten Jahresgang, ebenso eine hohe und gesicherte Verfügbarkeit sowie ein möglichst geringer Temperaturabstand zum Nutztemperatur-Niveau = Verhältnis zwischen Umgebungstemperatur und der Warmwasservorlauftemperatur (Fußbodenheizung: Vorlauf ca. 30 – 40 °C; statische Heizflächen: Vorlauf ca. 50 – 60 °C).

### **4.1 Effizienz**

Allgemein ist unstrittig, dass Elektrowärmepumpen (EWP) seit den 80er-Jahren verbessert wurden und ihr Effizienzpotential noch nicht erschöpft ist. Dies belegen diverse, vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderte Studien. Entscheidend sind jedoch die Jahresarbeitszahlen, die sich durch die jeweiligen Bedingungen im praktischen Einsatz ergeben und auch nur dort gemessen werden können. Es gibt allerdings wenige wissenschaftliche Ergebnisse über die Effizienz von Wärmepumpensystemen unter Praxisbedingungen. Allein der Verweis auf gestiegene Leistungsziffern unter Prüfstandsbedingungen reicht nicht aus.

Durch das gestiegene Energiebewusstsein sind in den zurückliegenden Jahren Entwicklungen auf dem Gebiet der Gebäudedämmung ausgelöst worden, die zu einer stetigen Reduzierung des Energiebedarfs im Wohnungsbau führten. Diese deutliche Herabsetzung der Transmissionswärmeverluste wurde hierbei nicht zuletzt durch strengere Richtwerte der Wärmeschutzverordnung forciert.

Ein Beispiel hierfür ist das so genannte Niedrigenergiehaus. Der Beweis für die Machbarkeit dieses Standards wurde in einer Vielzahl von Modell- und Förderprojekten erbracht, in denen der reduzierte Heizenergieverbrauch nachgewiesen wurde und in naher Zukunft mit vertretbaren Aufwendungen realisierbar ist. Vergleichbare Praxistests für Elektrowärmepumpen sind die Ausnahme.

Die in der Literatur aufgeführten Werte für Jahresarbeitszahlen neuer Systeme basieren häufig auf Annahmen oder Berechnungen (s. S. 27, zu 1. Theoretische Bestwerte). Die wenigen empirischen Werte zeigen, dass die optimistischen Zielwerte unter den heutigen Praxisbedingungen noch nicht erreicht werden (s. S. 27, zu 2. Gemessene Werte).



Aktuelle Jahresarbeitszahlen von monovalenten Heizungswärmepumpen (zusammengestellt aus verschiedenen Quellen)<sup>[15]</sup>

**Tabelle 1**

<b>Wärmequelle</b>				<b>Bemerkungen, Literatur</b>
Erdreich	Grundwasser	Massiv-Absorber	Luft	
<b>1.) Theoretische Bestwerte (aus Studien oder Einzelaussagen)</b>				
4,5 – 4,6	4,9	---	3,2 – 3,4	für 5 – 16 kW Leistung (gerechnet für deutsches Klima auf Basis der sieben besten Schweizer EWP)
2,6 – 3,2	---	---	---	Klein-EWP für NEH ca. 8 kW <sub>th</sub>
4 – 5	5 – 6	---	> 3	
4	4,5	---	3	
3,8	4,2	---	3,4	An das BAW gerichtete Förderanträge 1997
4,2	---	---	3,3	
4	---	---	---	Wert im Programm HEIKO der RWE Energie
<b>2.) Gemessene Werte</b>				
3,2 – 4,2	3,5 – 3,8	3,2	3,3	
3,6	---	---	---	
3,0 – 3,7	---	---	---	Siedlungsversorgung; Höchstwert erst nach Aggregataustausch
1,9 – 3,4	---	2,8 – 3,5	---	Arbeitszahlen von 40 Wärmepumpenanlagen
2,1 – 2,7	---	---	---	
3,4	---	---	---	
5,0 <sup>1)2)</sup>	---	---	2,0 – 2,7	3 aktuelle Neubauprojekte in der Schweiz
---	3,0 <sup>1)</sup>	---	2,2 <sup>1)</sup>	Schweizer Messwerte von 1989

1) Bivalentes EWP

2) Sehr guter Wert bei bivalentem Betrieb und hochdimensionierter Erdsondenauslegung, Vorlauftemperatur 27 °C.

## 4.2 Einsatzbedingungen der Aggregate

Neben der verbesserten Effizienz der Aggregate selbst, wie z. B. durch eine Leistungsanpassung mittels Drehzahlregelung bzw. eine indirekte Anpassung der Leistung über die Wärmequellentemperatur, sind hohe Jahresarbeitszahlen ( $>4,0$ ) auch von folgenden Bedingungen und Kriterien abhängig<sup>[16]</sup>:

- sorgfältige Planung aller Komponenten,
- Abstimmung von Gebäudewärmebedarf und EWP-Leistung,
- fachgerechter Einbau,
- niedriges Temperaturniveau der Heizungsverteilung,
- geringe Stromverbräuche der Hilfsantriebe,
- Anteil und Art der Warmwasserbereitung.

Wie eingangs bereits erwähnt, hat die Vorlaufwassertemperatur großen Einfluss auf die Jahresarbeitszahl. EWP-Anlagen ohne Fußbodenheizung sind daher nicht sinnvoll und sollten der Vergangenheit angehören. Damit sind jedoch auch die Einsatzmöglichkeiten im Gebäudebestand stark eingeschränkt.

Der Einsatz von Elektrowärmepumpen wird seit März 1999 durch das Bundeswirtschaftsministerium mit 153,39 €/kW Heizleistung (Neubau und Altbau) gefördert<sup>[16a]</sup>. Im Bereich der Eigenheime (Ein- und Mehrfamilienhaus) erschweren nach wie vor die relativ hohen Investitionskosten, im Vergleich zu anderen Heizsystemen wie z. B. Ölkessel, Gasbrennwertkessel etc., zumindest den Marktzugang. Angesichts der Mehrkosten muss die Effizienz augenfällig nachgewiesen sein.

Des Weiteren sind Wärmepumpenheizungsanlagen für den Einsatz im Mietwohnungsbau ungeeignet, da die Mehrinvestition kaum auf die Miete umgelegt werden kann und der Nutzen nur beim Mieter entsteht. Diese Einschätzung teilt auch die VDEW.

Eine Studie des 'bremer energie-instituts' berechnet auf der Basis ermittelter Investitionskosten und Bestwertannahmen bei den Jahresarbeitszahlen (4,5 – 4,9) künftige Nutzwärmekosten ohne Förderung und ohne Wärmepumpen-Sondertarife. Die Annahmen begründen sich damit, dass in einer volkswirtschaftlichen Betrachtung Förderungen stets auszuklammern sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass erst, wenn die heute übliche Förderung eingerechnet wird, auf den Pufferspeicher verzichtet und mit den subventionierten Tarifpreisen gerechnet wird, die Nutzwärmekosten der EWP auf gleicher Höhe mit den Kessellösungen liegen.

Die zukünftige Entwicklung kann jedoch auf der Grundlage gegenwärtiger Sondertarife kaum als realistisch angesehen werden. Im Zuge der Liberalisierung des Strommarktes war zunächst eine Degression hinsichtlich der Strompreisentwicklung festzustellen. Nach einer Phase der Stagnation ist die Entwicklung zurzeit als rückläufig einzustufen, da viele Energieversorger zwischenzeitlich die Strompreise wieder angehoben haben. Über die mittel- und langfristige Entwicklung der Strompreise in Deutschland wird in dem Bericht des 'bremer energie instituts' aus dem Jahre 2004 sogar folgende Prognose formuliert:

"Mit dem Kapazitätsrückgang in der Stromerzeugung in Deutschland tritt die Liberalisierung in eine neue Phase ein. Während zu Beginn die Ansicht vorherrschte, der Erfolg der Liberalisierung des Strommarktes sei an sinkenden Strompreisen zu messen, ist nun zu erwarten, dass auf Grund der knapper werdenden Kapazitäten am Großhandelsmarkt für Strom Preiserhöhungen einsetzen. Diese sind bis zu einem Niveau erforderlich, bei dem sich auch neue Erzeugungsanlagen wirtschaftlich tragen können. Grundsätzlich kann der Markt das Investitionsproblem auf diese Weise lösen. Voraussetzung ist

allerdings, dass keine regulierenden Eingriffe zur Einschränkung der Preishöhe und der Preisbewegungen erfolgen"<sup>[17]</sup>.

Der Zusammenhang zwischen Strommarkt, Neubau von Kraftwerken und Kostendeckung wird in dem Bericht des 'bremer energie instituts' wie folgt skizziert:

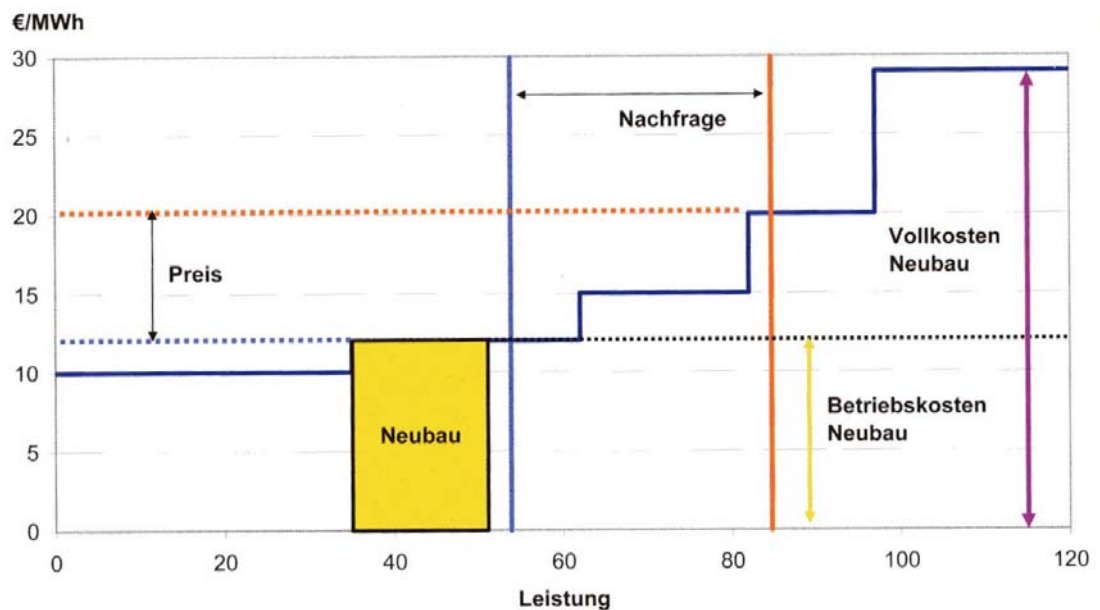


Abb. 8 Strommarkt mit Neubau / Prinzipdarstellung, aus: Pfaffenberger / Hillen, S. 3-22, Abb. 3-16

"Eine Kostendeckung neuer Anlagen ist zurzeit nicht gegeben, es existiert die in Abbildung 3-16 (s. oben) schematisch skizzierte Situation: die Fixkosten eines neu gebauten Kraftwerks liegen über dem erzielbaren Deckungsbeitrag. Würde ein solches Kraftwerk gebaut, so könnte es zwar die laufenden Kosten aus den jeweiligen Marktpreisen decken und je nach Nachfragesituation auch einen Deckungsbeitrag über die laufenden Kosten hinaus erwirtschaften, dieser würde aber nicht reichen, um die vollen Kosten des Kraftwerks zu decken. In einer solchen Lage ist ein Neubau daher nicht zu erwarten"<sup>[18]</sup>.

Diese Entwicklung hat zwangsläufig auch Auswirkungen auf die Sondertarife für Elektrowärmepumpen.

### 4.3 Marktsituation

Die von den Energieversorgern propagierte "Zukunft" der Heizungs-Elektro-Wärmepumpe spiegelt sich nicht in den tatsächlichen Verkaufszahlen wieder. Während um 1980 – Höhepunkt der ersten Wärmepumpenkonjunktur – 14.000 Anlagen pro Jahr installiert wurden, sind es heute 3.000 – 3.500 mit leicht steigender Tendenz. Nur rund 1 – 2 % der neu gebauten Einfamilien- und Reihenhäuser werden mit EWP ausgerüstet. Die Entwicklung des Gesamtbestandes war bisher rückläufig, da immer noch Altanlagen stillgelegt werden. Heute existieren in Deutschland rund 47.000 Alt- und Neuanlagen. Diese Zahl müsste allein jährlich hinzukommen, will man die heutigen Wärmepumpen-Installationszahlen der Schweiz anstreben. Die Schweiz hat jedoch eine andere Energieträgerstruktur in der Stromerzeugung und ein eigenes Wärmepumpen-Prüfinstitut. Sie hat zudem die Installationserfordernisse jahrelang in entsprechenden Impuls-Programmen geschult. Ähnliches existiert in Deutschland nicht. Auch zusätzliche Kraftwerkskapazitäten sind vor diesem Hintergrund nicht notwendig. Maximal 100 MW elektrische Leistung würde jährlich gebunden, wenn Deutschland ähnlich hohe Installationsraten wie die Schweiz hätte (34 % der neu gebauten Einfamilienhäuser). Hiervon sind wir in der BRD jedoch noch weit entfernt<sup>[19]</sup>.

## **5. Heizsysteme in den ausgewählten Regionalzentren**

### **5.1 Zielsetzung des Energiekonzeptes**

Zielsetzung bei der Realisierung der Heizungs- und Lüftungssysteme der zwei VEW-Regionalzentren war der Schutz des Klima-Ökosystems durch rationelle Energieverwendung (Wärme/Strom) zur Schonung der natürlichen Ressourcen sowie der Einsatz erneuerbarer Energieträger zum Schutz unseres Klima-Ökosystems (Emissionsreduzierung). Dabei sollte nach der Vorgabe der Bauherren der Einbau einer EWP in jedem Fall erfolgen.

In den ausgewählten Regionalzentren Dortmund-Brechten und Dortmund-Wambel wurde die Zielsetzung über unterschiedliche Heizsysteme erreicht.

### **5.2 Das Resultat der planerischen Überlegungen**

In dem VEW-Regionalzentrum Dortmund-Brechten wurde diese Zielsetzung durch den Einsatz eines energiesparenden Wärmepumpen-Heizsystems in Verbindung mit funktionsgebundenen Bauteilen als gestaltende Elemente und unter Nutzung von regenerativen Energiequellen verfolgt.

Hier wurde eine Warmwasser-Fußbodenheizung verlegt, die aus einem Warmwasser-Pufferspeicher (700 l) versorgt wird. Das warme Wasser wird über eine Wärmepumpe (21 kW) aufbereitet. Ein Elektroheizflansch (9 kW) sichert die Aufbereitung des Heizwassers bei Versagen der Wärmepumpe bzw. bei Absinken der Außentemperatur  $\geq -15^{\circ}\text{C}$ . Absorberflächen dienen der Gewinnung von Energie, die mittels einer Soleflüssigkeit zur Wärmepumpe transportiert wird.

Für das Regionalzentrum Wambel wurde ein anderes Konzept verfolgt. Die Entscheidung viel zu Gunsten einer Radiatorenheizung, die ihre Wärmeenergie aus drei Warmwasser-Pufferspeichern mit je 700 l Inhalt bezieht. Jeder Speicher wird über einen Elektroheizflansch (9 kW) ebenfalls zur Nachheizung gesichert. Eine Luft / Wasser-Wärmepumpe (3,5 kW) bereitet die Wärme für die Warmwasser-Pufferspeicher auf, die umweltfreundliche Ener-

gie über erhitzte und verbrauchte Abluft bezieht. Eine kontrollierte Raumlüftung sollte unter Verwendung der Luft / Wasser-Wärmepumpe ein optimales Raumklima sicherstellen.

Unter dem Aspekt der Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse ist hier anzumerken, dass es sinnvoll ist, das Konzept jeder einzelnen Anlage individuell zu planen. Die Begründungen liegen in der Unterschiedlichkeit verschiedener Bedingungsfelder, z. B.

- in individuellen Forderungen der Bauherren,
- in planungsrechtlichen Vorgaben,
- in topographischen Bedingungen,
- in der Eigenart der Grundstückslage,
- in der Preisentwicklung von Heizöl und Gas und
- insbesondere in der Kostenstruktur für die Bereitstellung von elektrischem Strom für die Funktion von EWPs.

Im Folgenden werden die unter der Zielsetzung getroffenen Entscheidungen und Maßnahmen unter den Aspekten Wärmeerzeugung, Heizungsanlagen und Flächenwärmetauscher erläutert.

### **5.3 Wärmeerzeugung**

In beiden Regionalzentren wurde ein monovalentes, kein bivalentes Heizsystem festgelegt. Die VEW als Energieerzeuger und Verteiler wünschte aus nahe liegenden Gründen jedoch den Einsatz von elektrischem Strom.

Bei gleichen Voraussetzungen hinsichtlich Wärmedämmung und Heizwasservorlauftemperatur ist ein monovalenter Heizbetrieb unter vorwiegender Nutzung der Wärmequelle Außenluft technisch unproblematisch, wobei ein herkömmlicher Heizkessel als Zusatzheizung an Tagen mit tieferen Außenlufttemperaturen nicht erforderlich ist. Stattdessen sind Wärmespeicher zu

installieren und Elektrowärmepumpen mit vergleichsweise höheren Anschlussleistungen erforderlich.

Im Regionalzentrum Brechten werden 95% des gesamten Heizungsenergiebedarfes über die installierte EWP erreicht. Lediglich 5 % des notwendigen Heizbedarfs werden zusätzlich über den Einsatz von elektrischem Strom abgedeckt.

Im Regionalzentrum Wambel werden über 100% des Lüftungswärmebedarfs über die eingesetzte EWP erreicht. Der Überschuss wird in die Warmwasser-Aufbereitung der Heizung eingespeist.

Das bivalente System arbeitet unter Nutzung der Energie, z. B. aus der Umgebungsluft bei Temperaturen bis zu  $-5^{\circ}\text{C}$ , wirtschaftlich mit einer Wärmepumpe. Bei tieferen Außentemperaturen übernimmt die Wärmeerzeugung ein herkömmlicher Heizkessel, mit Heizöl, Kohle oder Erdgas gefeuert. Voraussetzung dafür ist, dass das Gebäude gut wärmegeklämt ist, also der spezifische Wärmebedarf bei einer Außentemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  (Klimazone II) maximal  $80 \text{ W/m}^2$  beträgt<sup>[20]</sup>. Eine weitere Voraussetzung besteht darin, dass das wärmeverteilende System eine ausreichende Beheizung der Räume bei einer Vorlauftemperatur von  $45^{\circ}\text{C}$  und Außenlufttemperaturen bis  $-5^{\circ}\text{C}$  sicherstellt.

## **5.4 Heizungsanlagen**

Eine übliche Wohnhausheizung besteht aus der Kesselanlage mit einem Öl- oder Gasbrenner und dem wärmeverteilenden System, d. h. Radiatoren, Konvektoren oder einer Warmwasserfußbodenheizung sowie den notwendigen sicherheits-, regel- und steuertechnischen Einrichtungen.

Bei der neuen Heiztechnik zur Gewinnung von Heizenergie aus der Außenluft in Brechten ist die Entscheidung für eine Warmwasserfußbodenheizung gefallen; denn sie erfüllt einerseits die an ein Niedertemperaturheizsystem zu



stellenden Forderungen und vermittelt andererseits ein wünschenswertes Behaglichkeitsempfinden in den beheizten Räumen. Hinzu kam eine EWP, die speziell für die Gewinnung von Wärmeenergie aus Außenluft konzipiert ist<sup>[20a]</sup>. Des Weiteren wurde als ganz entscheidendes Bauteil ein Außenluft-Wärmetauscher geplant, der als Rippenrohr- bzw. Lamellenverdampfer oder aber als großflächiger Wärmetauscher ausgebildet sein kann.

Großflächig ausgebreitete Wärmetauscher werden an Gebäudeaußenflächen angebracht oder stellen sogar selbst die Außenfläche bzw. Außenhaut dar. Sie verarbeiten nicht nur das Energieangebot von Luft und Sonne, sondern auch anfallende Globalstrahlung, Kondensatwärme aus der Luftfeuchte sowie zusätzliche Energie aus Niederschlägen. Als Energie-Dach und -Wand eingesetzt, dienen sie zugleich als Witterungsschutz.

Mit diesen im Folgenden als "Flächenwärmetauscher" bezeichneten Bauteilen wird Energie aus Außenluft teils direkt, teils indirekt über die EWP zu Heizzwecken verwendet. Bei direkter Nutzung der Außenluft (in diesem Falle unmittelbar unterstützt durch Sonnenenergie) wandeln die Flächen einen Teil der einfallenden solaren Strahlungsenergie durch Absorption in thermische Energie um. Dabei steigt die Temperatur der Absorberoberfläche über die der Außenluft, maximal bis auf ca. 85 °C an (vgl. Abb. 9.1).

Die so erzeugte Wärme wird durch das in den Strömungskanälen fließende Wärmetransportmedium zum Wärmeverbraucher geführt. Da das Strahlungsangebot der Sonne in den mitteleuropäischen Breiten großen jährlichen Schwankungen unterworfen ist und die tatsächliche Zahl der Sonnenscheinstunden von einer Vielzahl klimatischer Faktoren abhängt, bleibt eine Direktnutzung der Sonnenenergie für Heizzwecke auf verhältnismäßig wenige Tage im Jahr beschränkt.

Wird dagegen mit Hilfe des Kältemittel-Kreisprozesses einer Kaltdampfmaschine (EWP) das Wärmetransportmedium (Sole) und somit die wärmeübertragende Dach- oder Fassadenfläche unter Außentemperatur abgekühlt, so kann der Außenluft als externer regenerativer Wärmequelle Wärmeenergie für Heizzwecke entzogen werden. Diese indirekte Nutzung der Außenluft ü-

ber Flächenwärmetauscher erfolgt im Gegensatz zur Direktnutzung auch bei stark bewölktem Himmel und / oder nachts.

Da das Temperaturgefälle von Außenluft zum Wärmeträgermedium durch den thermodynamischen Kreisprozess bei entsprechender Auslegung der EWP auch in kalten Jahreszeiten (selbst unter 0°C) aufrechterhalten werden kann, eignet sich das System Flächenwärmetauscher - Wärmepumpe hierzu-lande hervorragend zur umweltfreundlichen und sparsamen Beheizung von Gebäuden.

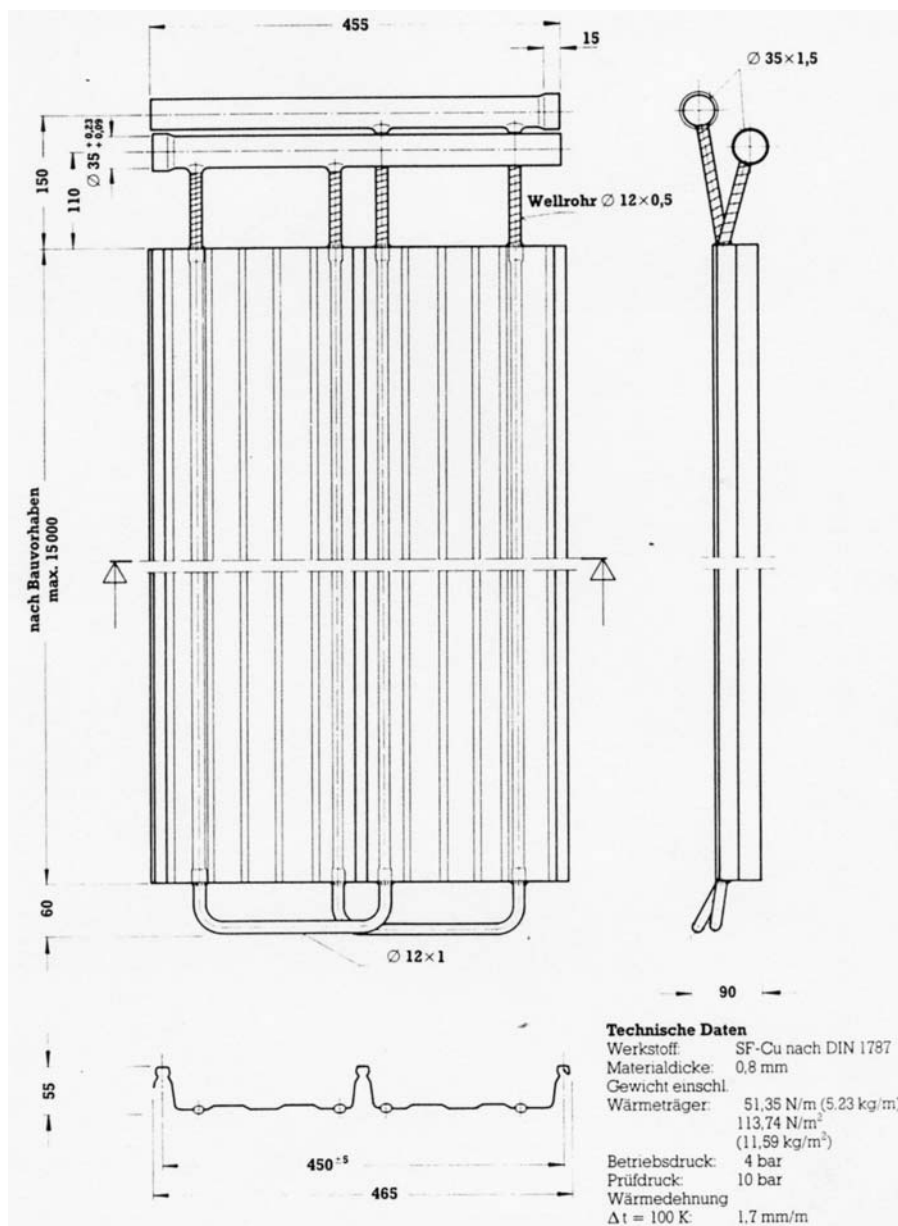


Abb. 9.1: VEW-Regionalzentrum Brechten: Flächenwärmetauscher, Maßblatt konfektioniertes Element, aus: Kabel- und Metallwerke, S. 8

Im Vergleich zu konventionellen, mit Öl, Kohle oder Erdgas betriebenen Heizungsanlagen sind zwar bei Wärmepumpenheizungen mit Flächenwärmetauschern die Investitionskosten höher, die Betriebskosten jedoch niedriger. Mit steigenden Öl- und Gaspreisen wächst die Wirtschaftlichkeit.

Sowohl für den Wohnungsbau (auch für Einfamilienhäuser) als auch für große kommunale und industrielle Bauvorhaben wie Kliniken, Verwaltungsgebäuden und Industriehallen bietet der Markt alle erforderlichen Bauelemente zur Wärmegewinnung aus der Außenluft an – eine praktikable und rentable Alternative zu herkömmlichen Heizmethoden somit ein überzeugender Beitrag zum Umweltschutz<sup>[21]</sup>.

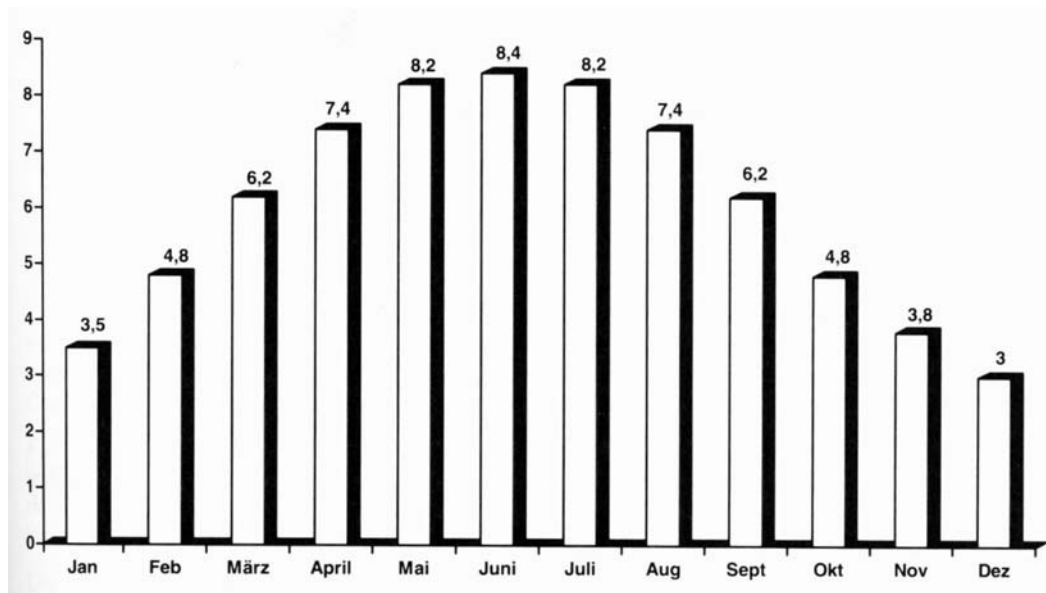


Abb. 9.2: Maximale tägliche Einstrahlung je m<sup>2</sup> Kollektorfläche bei klarem Himmel und einer Kollektorneigung von 30° nach Süden, Angabe in kWh / m<sup>2</sup>d. Aus: Schulze Darup, S. 353

Die überzeugenden Vorteile zum Einbau eines Flächenwärmetauschers werden in der folgenden Darstellung (Punkt 5.5) ergänzt durch die Vorteile bei der Materialauswahl von Kupfer.

Strahlungsleistung	Maximale Strahlungsli. auf senkrecht bestrahlter Fläche	ca. 1 kW/m <sup>2</sup>
	Dunstig, durchscheinende Sonne, schwüler Sommertag	
	Dunstiger Himmel, Wintertag	
	Diffuse Strahlung, bewölkter Himmel, vollständig verdeckte Sonne	0,02-0,25 kW/m <sup>2</sup>
	Sehr dichte Bewölkung	0,02 kW/m <sup>2</sup>
Eingestrahle Energie	Maximalwert der täglichen Einstrahlung (sehr klares Sommerwetter)	ca. 8 kWh/m <sup>2</sup> d
	Minimalwert der täglichen Einstrahlung (sehr trübes Winterwetter)	ca. 0,1 kWh/m <sup>2</sup> d
	Mittelwert täglicher Einstrahl. an 100 besten Sonnentagen des Jahres	5,5 kWh/m <sup>2</sup> d
	Mittelwert täglicher Einstrahl. an 100 ungünstigsten Tagen des Jahres	< 1 kWh/m <sup>2</sup> d
	Jährl. Einstr. auf horizontale bzw. 45° südl. geneigte Fläche, BRD	900-1200 kWh/m <sup>2</sup> a
Sonnenscheindauer	Jährliche Sonnenscheindauer in Deutschland	1300-1900 h/a
	Sonnenscheindauer April - September (Sommerhalbjahr)	1000-1400 h
	Sonnenscheindauer Oktober - März (Winterhalbjahr)	300-500 h

Abb. 9.3: Charakteristische Sonneneinstrahlungsdaten, aus: RWE AG, Energie Bau-Handbuch, S. 17/5

## 5.5 Flächenwärmetauscher aus Kupfer

Kupfer hat mit ca.  $393 \text{ W/mK}^{[22]}$  im Vergleich zu allen anderen Gebrauchsmetallen die beste Wärmeleitfähigkeit. Diese Eigenschaft kommt selbstverständlich nur dann voll zur Wirkung, wenn der Wärmetauscher eine Konstruktion aufweist, welche die Strömungskanäle für das Wärmeträgermedium in die wärmeleitende Metallfläche integriert. Im Vergleich zu einer Konstruktion, bei der Rohre und Wärmeleitbleche lediglich mechanisch, d. h. durch eine Klemmtechnik miteinander verbunden sind, zeigen diese Wärmetauscher einen wesentlich effizienteren Wärmeübergang.

Kupfer weist außerdem eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf, die sich über Jahrzehnte hin bei Dächern und Fassaden hervorragend bewährt hat.

Wird das metallisch blanke Kupfer der Witterung ausgesetzt, verändert sich seine Farbe allmählich über rotbraun, dunkelbraun zu Anthrazit und nach sehr langer Zeit auf flachen und geneigten Dächern zum typischen Grün der Patina, dem Farbsignal für die außerordentliche Korrosionsbeständigkeit dieses Bauwerkstoffes an der Atmosphäre. Alle diese Verfärbungen treten bei stumpf-matter Oberfläche in Erscheinung.



Abb. 9.4: VEW-Regionalzentrum Brechten, Attikablende als Wärmetauscherfläche, Foto: W. Wagner

Die Wahl des Werkstoffes Kupfer erweist sich hier auch als die beste Voraussetzung für eine unaufwendige und sichere Montage. Kupfer ist ein flexibler Werkstoff. Er kann mit einfachen Werkzeugen gebogen, geschnitten und genietet werden, ohne dass dadurch eine Korrosionsschutzschicht ge- oder zerstört würde. Kupfer lässt sich u. a. sehr leicht löten. Im Heizungsbereich wird die Hartlötung aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugt.

In Zukunft ist der Einsatz von Mehrschichtverbundrohren abzusehen; die Verbindung der Rohre erfolgt im Pressverfahren. Diese Konsequenz ergibt sich aus der begrenzten Verfügbarkeit des Rohstoffs Kupfer.

## **6 Bautechnischer Einsatz von anlagentechnischen Komponenten zur Verwendung regenerativer Energie**

### **6.1 Dach-Attikablende in dem Regionalzentrum Brechten**

Zur optimalen Funktion gelangt ein Flächenwärmetauscher dann, wenn er allseitig von Außenluft umströmt werden kann. Daher sollte ein Energie-Dach grundsätzlich als Kaltdach ausgeführt werden. Oberhalb der üblichen Gebäude-Dachwärmedämmung befindet sich ein Luftraum, welcher der Abfuhr der aus dem Gebäude aufsteigenden Feuchtluft (Wasserdampf) dient. Dieser Entlüftungsraum sollte bei geneigten Dächern über ausreichende Zuluftöffnungen im Traufenbereich und Abluftöffnungen im Firstbereich verfügen, um Tauwasserbildung auszufällen (s. Abb. 9.10).

Der zweite darüberliegende Belüftungsraum ist von dem ersten durch eine wasserundurchlässige, wärmedämmende Schicht getrennt. Diese Schicht hat zwei Funktionen. Sie verhindert einmal das Eindringen des an der Unterseite der Flächenwärmetauscher entstehenden, abtropfenden Kondensates und anfallenden Schmelzwassers in die Wärmedämmung, andererseits steht sie mit der Unterseite der Wärmetauscherfläche im Strahlungsaustausch und verhindert durch ihre wärmedämmende Eigenschaft ein Absinken der Lufttemperatur unter die Außentemperatur im zuerst genannten Belüftungsraum (vgl. Abb. 9.5-7).

Die Entwässerung des kondens- und schmelzwasserführenden Belüftungsraumes erfolgt zur Dachrinne hin. Die oberhalb der wasserundurchlässigen, wärmedämmenden Schicht aufgebrachten Bauteile aus Holz, nämlich Konter- und Dachlattung, bestehen aus kesseldruckimprägnierten Kanthölzern bzw. Latten, die mit Holzschrauben aus rostfreiem Edelstahl bzw. Bronze befestigt sind.

Auf der Dachlattung werden die der Befestigung der Dachflächenwärmetauscherelemente dienenden Haltebügel, thermisch von diesen durch eine Wärmedämmplatte getrennt, mit Holzschrauben auf den vorerwähnten Werkstoffen befestigt.

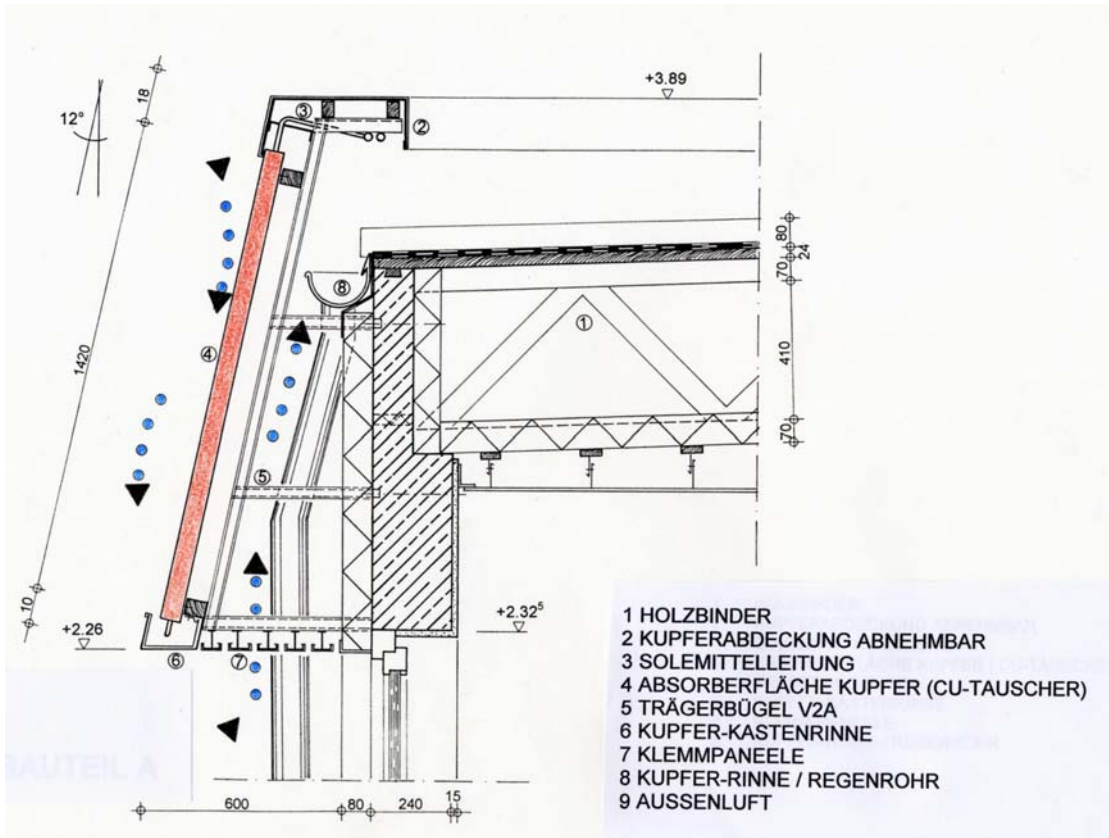


Abb. 9.6.: Dachattikablende, Detailzeichnung: Querschnitt der Blende mit Dachkonstruktion (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

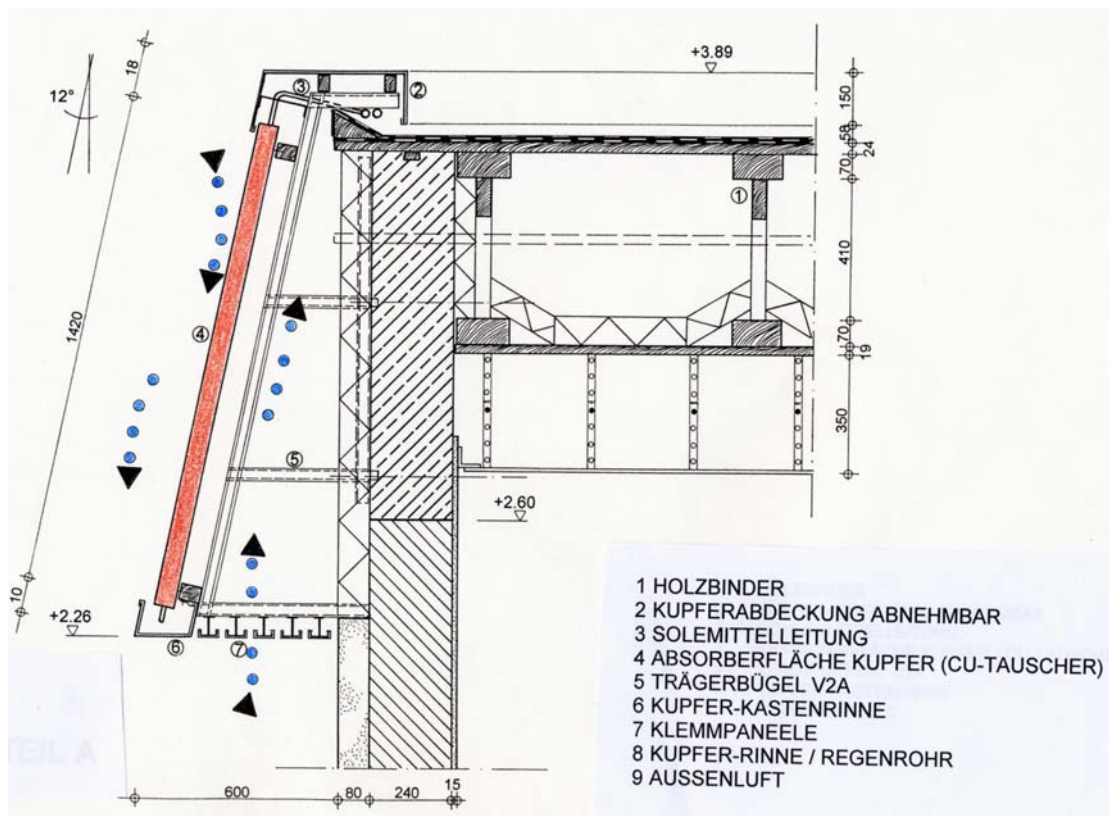


Abb. 9.7.: Längsschnitt der Blende mit Dachkonstruktion (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik



Abb. 9.5 (links): VEW-Regionalzentrum Brechten, Detailaufnahme. Am unteren Attikarand ist die Traufwasser-Auffangrinne zu erkennen. Foto: W. Wagner

Der Zusammenbau von Kupfer mit anderen Baumetallen, ausgenommen Blei und Edelstahl, verbietet sich aus Korrosionsgründen. In Fließrichtung des Regen-, Schmelz- und Kondenswassers gesehen, dürfen nur nichtmetallische Werkstoffe sowie Blei und Edelstahl, insbesondere aber Kupfer selbst, verarbeitet werden. Das bezieht sich im wesentlichen auf Rinnen und Fallrohre der Dachentwässerung.

Die Standfestigkeit gegenüber Wind, insbesondere Windsog, ist im einzelnen nachzuprüfen. Anschlüsse an höhergelegenes Mauerwerk, Schornsteine, Dachflächenfenster sowie die Ausbildung des Ortgangs erfolgen nach den bekannten handwerklichen Regeln.

Für die Unterkonstruktion des kabelmetal-Energiedaches liegt ein Prüfbericht des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik vor:

"Die Konstruktion genügt den gestellten Forderungen zur Sicherheit gegen schädliche Wasserdampfkondensation infolge von Dampfdiffusion. Eine Beeinträchtigung der Isolierwirkung ist nicht zu erwarten. Die zulässigen Höchstmengen bei Tauwasserausfall werden nicht erreicht"

(Auszuq aus Prüfbericht GW 106/81) I241



## 6.2 Einsatz von Flächenwärmetauschern im Regionalzentrum Brechten

Die konstruktive Integration der Flächenwärmetauscher erfolgte als notwendiges Attikaelement im Randbereich der Kaltdachentlüftungszone. Eine weitere Verblendung dieser Attika war somit nicht erforderlich (s. Abb. 9.9-11).

Die Unterkonstruktion besteht aus einem Edelstahlträgerrahmen. Diese Rahmenkonstruktion ist am konstruktiv erforderlichen Dachrähm aus Stahlbeton mittels Edelstahlgewindestangenverschraubungen fixiert.

Zur kontaktlosen Trennung zwischen Trägerkonstruktion aus V2A-Material und dem Tauscherelement aus Kupfer dienen einfache Dachlatten. Durch diese Trennung ist gewährleistet, dass keine elektro-chemische Reaktion der unterschiedlichen Metalle erfolgen kann (s. Abb. 9.8 und 9.9).

Die Tauscherelemente sind in einen Winkel von 12° Neigung zur senkrechten Fassade, im Abstand von  $\geq 60$  cm, auf die Dachlatten geschraubt. Die festgelegte Distanz ermöglicht eine optimale Be- und Entlüftung des Kaltdachraumes (hier Flachdach) und bewirkt eine allseitige Luftumspülung der Tauscherelemente.



Abb. 9.8: VEW-Regionalzentrum Brechten, Montage der Attika-Konstruktion, Phase 1.  
VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik



Abb. 9.9: VEW-Regionalzentrum Brechten, Montage der Attika-Konstruktion, Phase 2.  
VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

Der belüftete Kaldachraum wird durch die Verlustwärme der darunterliegenden Nutzflächen zusätzlich aufgeheizt, was zu einer weiteren Positivbilanz des Absorptionsgrades der Tauscherelemente führt.

Das gesamte Attikaelement überdeckt die außenliegende Dachrinne des Hauptdaches. Nur ein Fallrohr ist für den Betrachter zu erkennen, dass vor der Fassade aus der Attikakonstruktion vertikal herausgeführt wird. Dieses Fallrohr dient der Oberflächenentwässerung der Dachfläche.

Das Temperaturgefälle zwischen den Tauscherelementen und der Außenluft bewirkt auf der Oberfläche der Elemente eine Kondensatwasserbildung. Dieses Kondensat wird über eine zweite offenliegende Kastenrinne aufgefangen und dem erkennbaren Regenwasserfallrohr zugeleitet (s. Abb. 9.6).

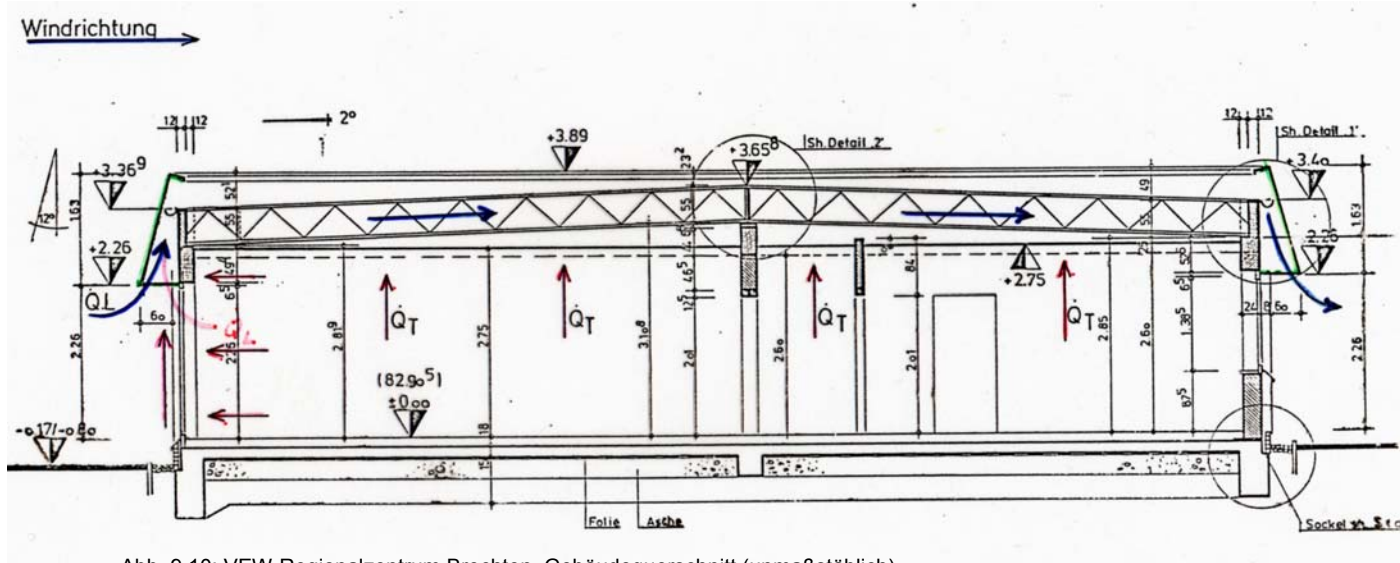


Abb. 9.10: VEW-Regionalzentrum Brechten, Gebäudequerschnitt (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

Diese Art der technischen und sichtbaren Installation gewährleistet zwei Primärfunktionen. In technischer Hinsicht erreicht man die erforderliche Kaldachabschottung und eine vollfunktionsfähige Be- und Entlüftung des Kaldachraumes; die erwärmte Luft des Kaldachraumes wird die Rückwand der Tauscherelemente erreichen und den Absorptionseffekt positiv beeinflussen. In formaler Hinsicht wird eine Attikablende formuliert, die in ihrer optischen Qualität, objektiv betrachtet, jeder anderen Verkleidungsvariante standhält.

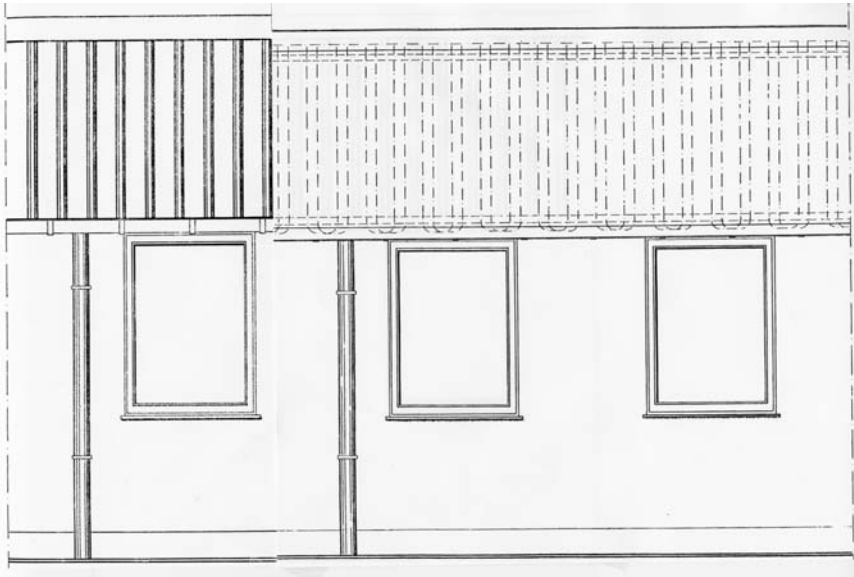


Abb. 9.11: VEW-Regionalzentrum Brechten, linke Seite: Ansichtsdetail; rechte Seite: systematische Darstellung der Sole Mittelleitungen im Flächenabsorber (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

### 6.3 Zielkonflikt zwischen Energieeinsparung und Raumluftqualität für die Gestaltung des Regionalzentrums Wambel

Ziele der kontrollierten Lüftung sind das Bereitstellen von frischer und unverbrauchter Luft zum Erhalt gesunder und komfortabler Raumbedingungen für den Nutzer sowie das gleichzeitige Abführen von Gerüchen, Schadstoffen, Wärmelasten und Kondensatfeuchte aus den Räumen. Die von außen zugeführte Frischluft muss unter Energieeinsatz auf Raumlufttemperaturniveau gebracht werden, während die abgeführte verbrauchte Fortluft im Regelfall Energieverlust bedeutet. Bei einer kontrollierten Lüftung, über eine Wärmerückgewinnung geführt, wird der Energieverlust reduziert. Die Auswahl eines Lüftungssystems führt stets zu einem Kompromiss zwischen einer Minimierung des notwendigen Energieeinsatzes, einer Herabsetzung der Infiltration und dem Erzielen einer für Hygiene und Komfort ausreichenden Qualität. Die kontrollierte Lüftung ist der gezielte Austausch von erwärmter Abluft durch frische Außenluft mittels dafür vorgesehener Öffnungen. Diese können Fenster, Schächte und Lüftungsöffnungen sein, die in einem Zeitfenster gezielt genutzt werden. Die kontrollierte Lüftung kann jedoch auch über eine

mechanische Außenluft-Ansaugung erfolgen. Kontrollierte Lüftung beschreibt einen durch Personen bzw. Anlagen beeinflussbaren Luftaustausch über dafür vorgesehene Öffnungen (Fenster bzw. regelbare Ansaugöffnungen), während Infiltration einen unkontrollierten über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle stattfindenden Luftaustausch meint (Fugenrisse, Fensterspalt).

Welche Entscheidungen zur Gestaltung einer kontrollierten Lüftung im Regionalzentrum Wambel unter den eben erläuterten Voraussetzungen und Zielvorstellungen getroffen worden sind, wird im folgenden Unterkapitel 6.4 dargestellt.

#### **6.4 Anwendung der Zuluftführung zur kontrollierten Lüftung im Regionalzentrum Wambel**

Um die kontrollierte Nutzraumlüftung effektiv nutzen zu können, ist eine sorgsame Zeitfenstereinteilung zur Belüftung über die Fensterflächen der Nutzräume erforderlich. Diese manuell geprägte Lüftungsform ist im privaten Wohnbereich als probat anzusehen, im gewerblichen Bereich jedoch unpraktikabel. Die Unpraktikabilität zwingt zu einer alternativen Entwicklung, die zu einem permanenten Frischluftzustrom führt, ohne ein unangenehmes Temperaturgefälle zum Innenbereich zu verursachen.

Der Lösungsansatz liegt in einer permanent nutzbaren Zuluftöffnung durch die Außenfassade. Die Zuluftöffnung kann mechanisch zeitlich aktiviert bzw. deaktiviert werden. Im Bereich der Fensterflächen ist die Stellung der Heizkörper sinnvoll, um eine optimierte Raumluftkonvektion zu erzielen. Damit ist der Standort für die permanent zu nutzende Lüftungsöffnung im Bereich der Heizkörper prädestiniert. Eine Bohrung mit einem  $\varnothing$  von 160 mm ist unter jedem Fenster eingerichtet. In diese Durchdringung ist ein axiallaufender Ventilator montiert. Dieser erzeugt einen leichten Überdruck zum Innenraum. Die durch den Ventilator angesaugte Außenluft wird durch einen speziellen Heizkörper geführt, dessen Warmwasserflächen hintereinander gestellt sind, mit wechselnder Öffnung im oberen und unteren Bereich. Die kalte Außenluft wird meanderförmig an den Warmwasserflächen entlang geführt und er-

wärmt, tritt im Fensterbankbereich aus einer Gitteröffnung in den Innenraum aus. Die austretende Luftgeschwindigkeit liegt im tolerablen Bereich von ca. 0,15 m pro Sekunde. Die Quantität der notwendigen Zuluft wird u. a. über die Raumtemperatur geregelt (VEW / DO VKA 1990). Die verbrauchte Wärme des Innenraumes wird über Decken- und Wandtellerventile abgesaugt, dann über ein Rohrsystem der Luft / Wasser-Wärmepumpe zugeführt (s. Abb. 9.12).

Die Zuluftöffnung in der Fassade stellt sich als Problemstelle in der formalen Gestaltung der Außenansicht dar. Durch die Standortfestlegung der Heizkörper und der damit zusammenhängenden Zuluftöffnung bietet der Fensterbankbereich idealen Schutz vor natürlicher Bewitterung. Eine Aluminiumblende in der Frontalansicht überdeckt als hängende Blende die eingebrachte Zuluftöffnung für den Ventilator.

Die gesamte Abwicklung aus Fensterbank und Vertikalblende wird zu einem Lufttank ausgebildet, der letztlich zum Axialventilator führt, wobei die Zuluftführung über einen austauschbaren Fliesfilter gegen Stäube und Insekten geschützt wird.

Durch eine einheitliche Farbgebung von Fenster, Fensterbank und Lufttank ist ein zusammenhängendes Fassadenbauteil gestaltet. Die optische Wahrnehmung eröffnet lediglich eine auffällige Fensterbank. Die entstandenen Proportionen verleihen durch die Gestaltung des Fensterelementes der Fassade eine verstärkte Gliederung (s. Abb. 11.15 und 12.2).

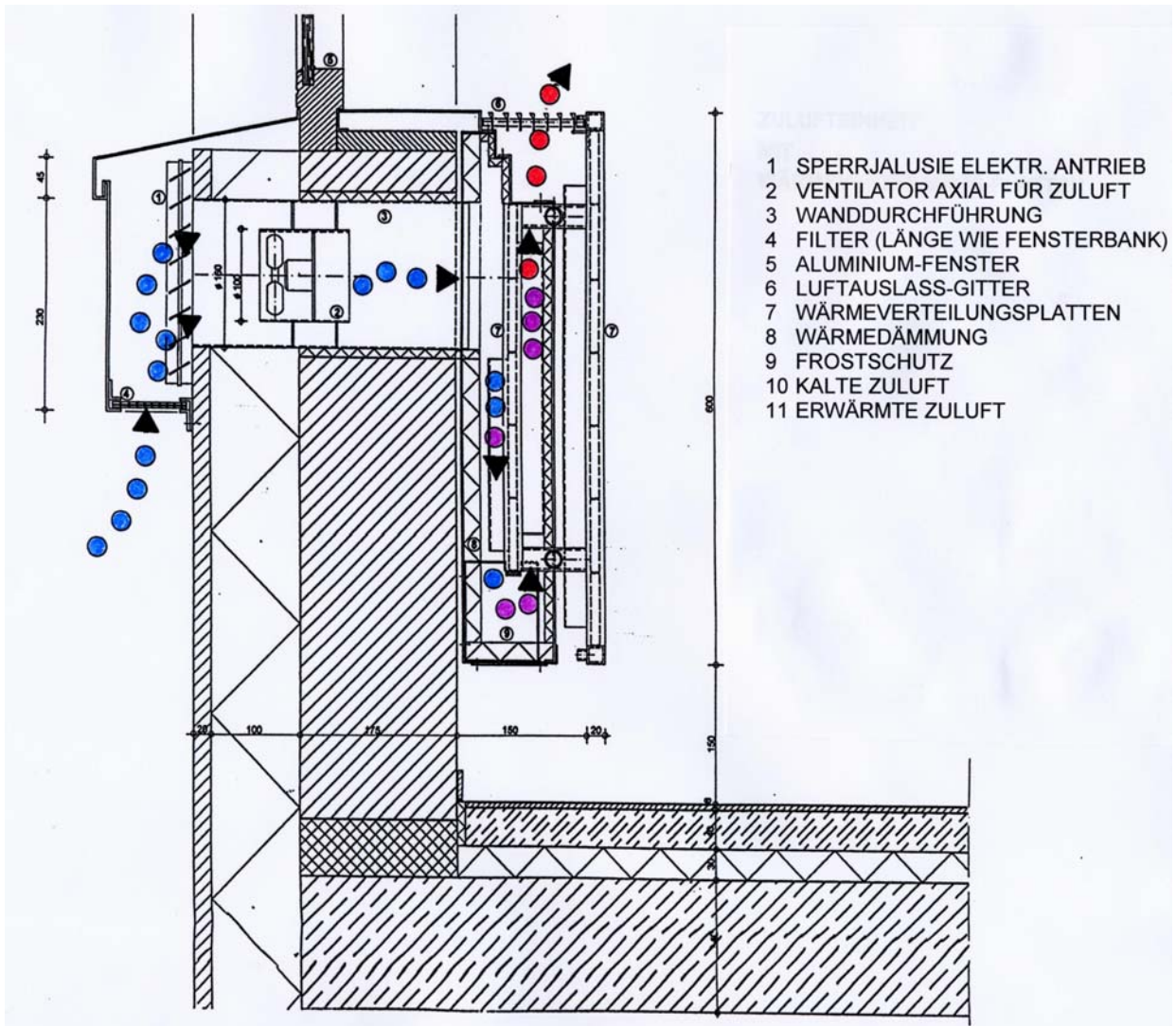


Abb. 9.12: Regionalzentrum Wambel, Detail: Zuluftventilator mit angeschlossenem Heizungsradior.  
 VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

## 7 Analyse und Bewertung des Regionalzentrums Brechten unter den Aspekten Energieverbrauch, Umweltbelastung und Kosten

### 7.1 Anlagenspezifikation

Die Wärmeerzeugungsanlage besteht aus folgenden Bestandteilen:

- einer elektrisch angetriebenen Sole/Wasser-Wärmepumpe in Kompaktbauweise (EWP),
- einem Pufferspeicher mit einem Wasserinhalt von 700 Litern,
- einer Wärmequellen-Anlage, bestehend aus großflächigen Wärmetauschern (Absorbern) und zwischengeschaltetem Solekreislauf.

Die Wärmeverteilung erfolgt durch eine Fußbodenheizung mit einer zu beheizenden Fläche von ca. 240 m<sup>2</sup> (VEW / DO BT). Des Weiteren ist ein TWW-Speicher mit einem Inhalt von 1.000 Liter vorhanden, der über ein Soleheizregister mit dem Gesamtsystem verbunden ist.



Abb. 10.1: VEW-Regionalzentrum Brechten, EWP, Solespeicher, Pufferspeicher (von links); (s. auch Abb. 10.2), Foto: W. Wagner

Der Betrieb der Wärmepumpenanlage ist monoenergetisch. Nur an wenigen sehr kalten Tagen im Jahr übernimmt eine im Pufferspeicher angeordnete elektrische Zusatzheizung (E-Heizstab) die Deckung des Wärmebedarfs. Eine elektrische Steuerung stellt sicher, dass die Zusatzheizung nicht länger als unbedingt erforderlich in Betrieb ist.

Beide Wärmeerzeuger werden mit einer Energieform (Strom) betrieben.

Die Regelung der Gesamtanlage erfolgt vollautomatisch mit einer witterungsabhängigen Vorlauftemperaturregelung der nachgeschalteten Heizkreise sowie einem entsprechenden Heizprogramm für Nacht- und Wochenendbetrieb.

Bis zu einer Außenlufttemperatur von ca.  $-3^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$  deckt das Wärmepumpen-System mit Pufferspeicher den gesamten Wärmebedarf der Betriebsstelle. Dies entspricht einem Deckungsanteil am jährlichen Wärmeverbrauch von ca. 95 %.

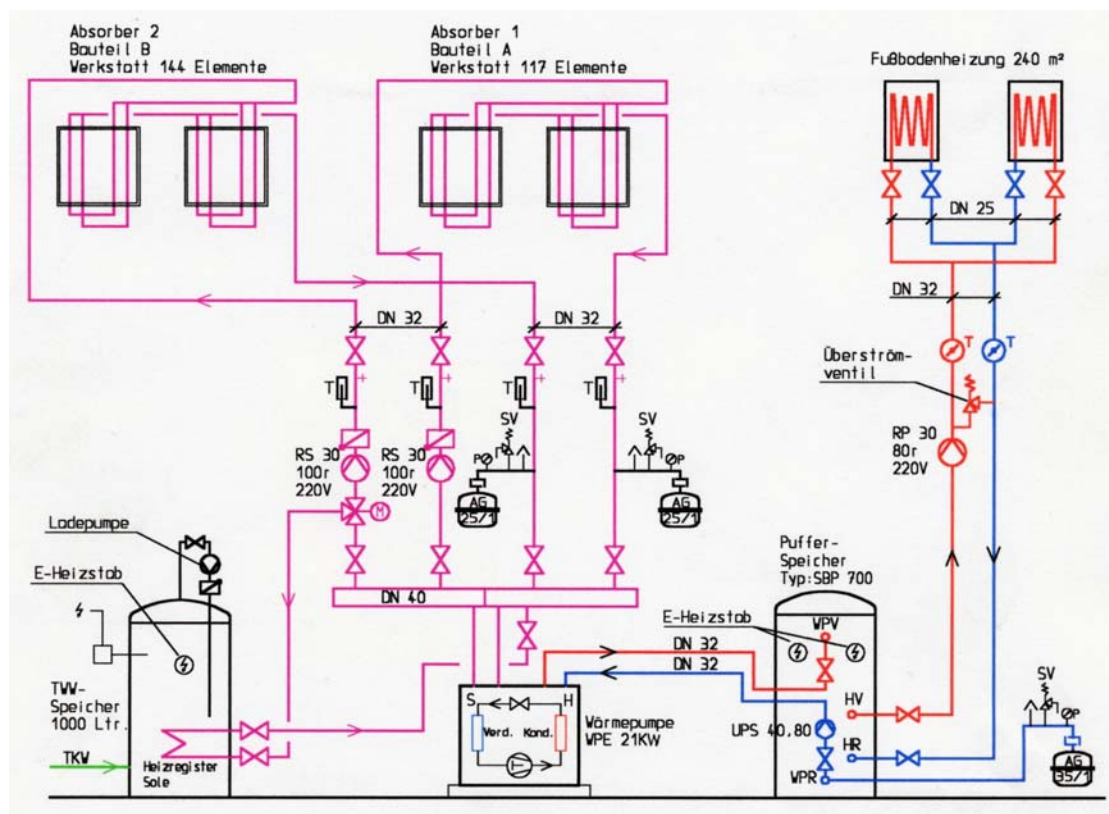


Abb. 10.2: Anlagenschema des VEW-Regionalzentrums Brechten (s. auch Abb. 10.1), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik



Der Pufferspeicher erhöht das Wasservolumen im nachgeschalteten Verteilungssystem und verhindert somit ein häufiges Ein- und Ausschalten (Takten) der EWP.

Die Wärmeleistung einer EWP wird von den Temperaturen der Wärmequelle und des Heizungssystems bestimmt, die Leistungszahl ist abhängig von der Differenz dieser beiden Temperaturen. Von daher ist die Fußbodenheizung optimal für den Betrieb der EWP geeignet, da sie mit niedrigen Vorlauftemperaturen (30°C bis 40°C) auskommt. Weiterhin trägt sie zur Verbesserung des Raumklimas bei und benötigt keinen zusätzlichen Platzbedarf, wie z. B. statische Heizflächen<sup>[20a]</sup>.

Die Flächenwärmetauscher (Absorber) bestehen aus einzelnen vorgefertigten Elementen, die zu einer Fläche zusammengesetzt sind. Durch integrierte Strömungskanäle in den Elementen, die im Traufbereich miteinander verbunden und im Firstbereich an die Sammelvor- und rücklaufleitung angeschlossen sind, fließt als Wärmeträgermedium Sole.

Zur Deckung des Wärmebedarfs dienen als Wärmequellen regenerative Energieträger in Form von Außenluft, Sonnenstrahlung, Regen und Wasserdampf. Hierbei ist jedoch die Nutzung der Solarenergie als primäre Wärmequelle zu sehen, da aufgrund der Solarstrahlung der Energieinhalt am größten ist.

Die für die Wirksamkeit der EWP maßgebliche Vorlauftemperatur der Sole liegt ca. 3 bis 5 K<sup>[23]</sup> unterhalb der Wärmquellenbezugstemperatur. Somit wird der Umwelt bis zum Einschaltzeitpunkt der Zusatzheizung dauerhaft Wärme entzogen.

Die als umlaufende Blende bzw. Attika ausgeführten Flächenwärmetauscher aus Kupfer dienen neben der Wärmeerzeugung auch als gestaltendes, funktionsgebundenes Element für den Dachabschluss und sind somit integrativ zum bestehenden Baukörper zu sehen.

In den Sommermonaten werden die Absorber mit zwischengeschaltetem Solekreislauf als thermische Solaranlage zur TWW-Bereitung genutzt. Die thermische Beladung des Solarspeichers erfolgt über ein Sole-Heizregister, welches sich im unteren Speicherbereich befindet. Ein E-Heizstab, der am oberen Speicher angeordnet ist, ermöglicht die Nacherwärmung des Brauchwassers für den Fall, dass die Solarenergie nicht ausreicht, um die gewünschte Wassertemperatur zu erreichen. Als Regelung für die Kollektoranlage wird eine einfache Temperaturdifferenzregelung eingesetzt. Eine solche Regelung vergleicht die Temperatur am Kollektor mit der im unteren Speicherbereich. Sobald es im Kollektor einige Grad heißer als im Speicher ist, wird durch die Regelung die thermische Solaranlage mittels Umschaltventil und Umwälzpumpe in Betrieb genommen. Die Einschaltsschwelle ist wählbar. Üblicherweise liegt die Einschaltsschwelle bei einer Temperaturdifferenz von 6°C und die Ausschaltsschwelle bei 3°C.

## **7.2 Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emission**

### **7.2.1 Vorbemerkungen<sup>[27]</sup>**

Vergleicht man den Primärenergiebedarf für den Betrieb einer EWP mit dem einer konventionellen Ölheizung, so muss der gesamte Energieaufwand, und zwar von der Gewinnung des Energieträgers bis zum Zielprozess der Beheizung eines Gebäudes, berücksichtigt werden.

Bevor der Energieträger Heizöl, dem Endverbraucher zur Verfügung gestellt wird, muss Energie aufgewandt werden für:

- die Exploration und Förderung,
- den Transport des Rohöls,
- die Aufbereitung in der Raffinerie und
- die Verteilung.

Demnach können nur 86,3 % der Primärenergie, die für die Bereitstellung von Heizöl benötigt werden, dem Endverbraucher in chemisch gebundener Form geliefert werden. Kessel und Brenner nutzen das eingesetzte Öl im Jahresmittel mit einem Wirkungsgrad von 83 %, so dass schließlich  $0,863 \times 0,83 = 0,716$  bzw. ca. 72 % des ursprünglichen Primärenergieeinsatzes zur Heizung des Gebäudes dienen. Außerdem benötigt eine Ölheizung elektrische Energie zum Betrieb des Brenners und der Heizungsumwälzpumpe<sup>[24]</sup>.

Der Primärenergiebedarf zur Bereitstellung von Strom ist aus thermodynamischen Gründen noch deutlich höher. Dem Verbrauch stehen nur 32 % der ursprünglich eingesetzten Energie zur Verfügung. Trotz des schlechten Energieumsatzes bei der Verstromung kann eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe zur Minderung des Primärenergiebedarfs beitragen, wenn die Leistungsziffer über ca. 2,2 liegt.

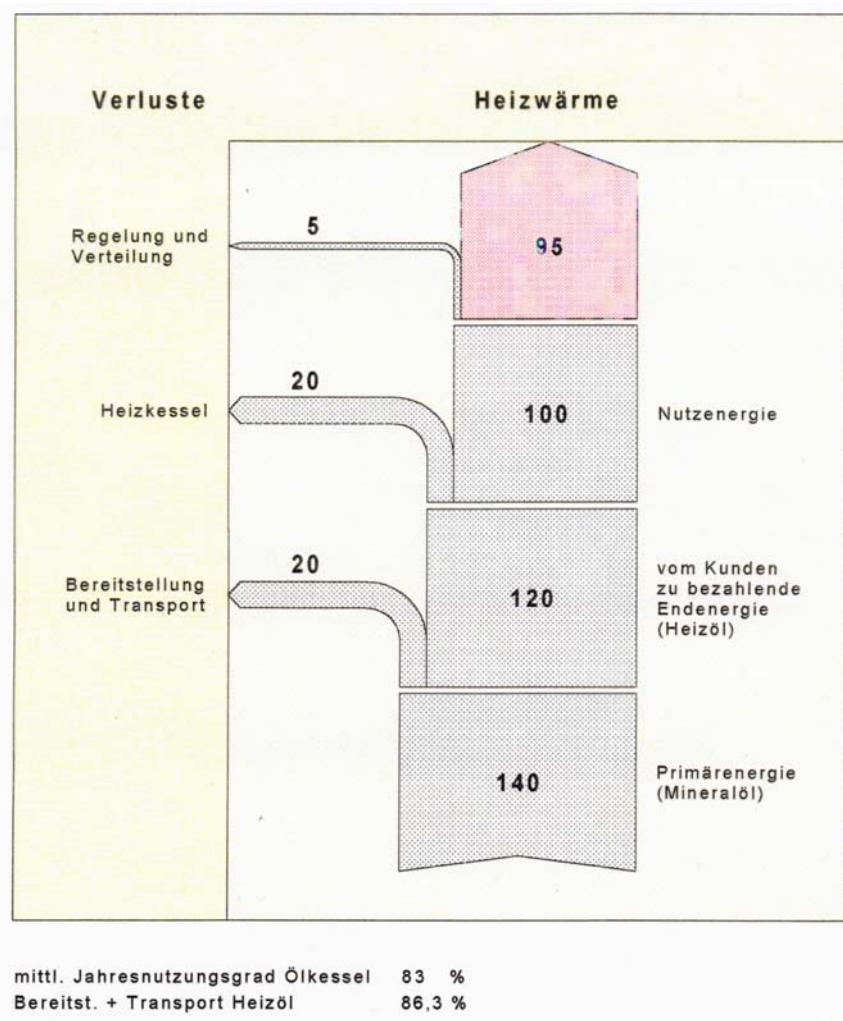


Abb. 10.3: Energiefluss in einer Öl-Zentralheizung. Schema: W. Wagner

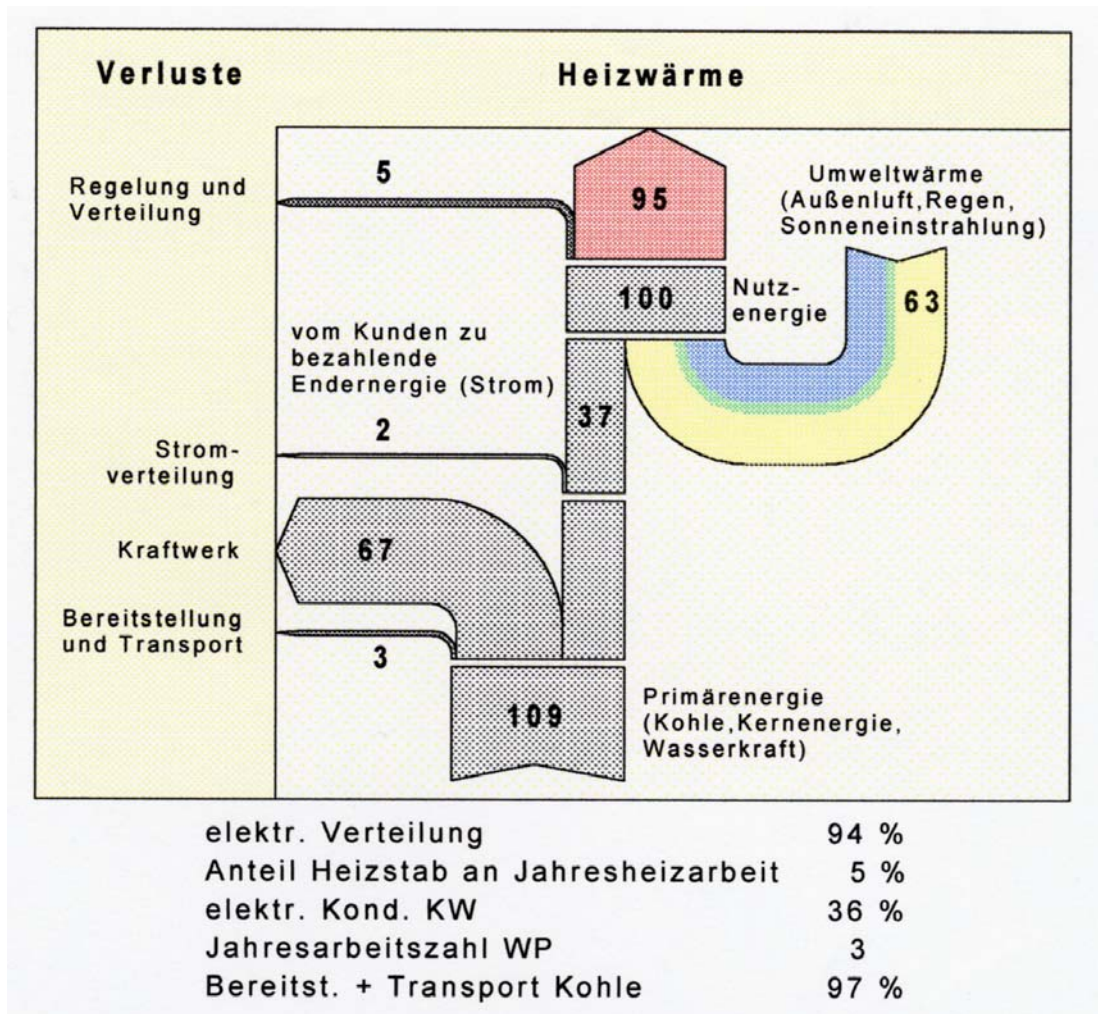


Abb. 10.4: Energiefluss einer EWP (monoenergetisch), Schema: W. Wagner

## 7.2.2 Vergleichende Bilanzierung zwischen einer konventionellen Ölheizung und der eingesetzten Elektrowärmepumpenanlage

### 7.2.2.1 Zugrundegelegte Parameter

Nachfolgend aufgeführte Parameter werden bei der Bilanzierung zugrunde gelegt:

- beheizte Fläche 240 m<sup>2</sup>
- spez. Jahreswärmeverbrauch 53,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)
- Jahreswärmeverbrauch gesamt 12.816 kWh/a  
(VEW / DO VKA)<sup>[25]</sup>

Die konventionelle Ölheizung arbeitet im Jahresmittel mit einem Anlagenwirkungsgrad von 83 %. Meteorologische Daten, die über einen Zeitraum von 20 Jahren erfasst und ausgewertet wurden, weisen für Dortmund eine mittlere Lufttemperatur aller Heiztage von  $+6,1^{\circ}\text{C}$  aus (vgl. Abb. 10.5) <sup>[28]</sup>.

Die Jahresarbeitszahl (mittlere Leistungszahl über den Zeitraum der Betriebsperiode) der Wärmepumpenanlage beträgt demnach 3,0 (vgl. Übersicht S. 28).

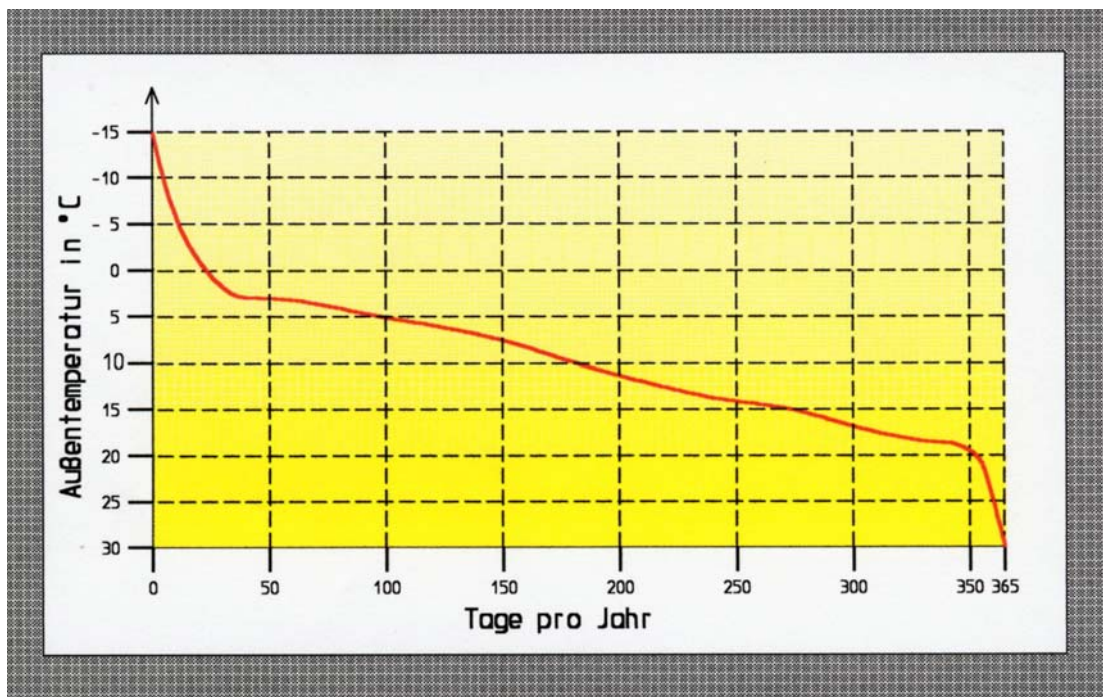


Abb. 10.5: Geordnete Jahresdauerlinie der mittleren Außentemperaturen in Dortmund

### 7.2.2.2 Berechnung für eine konventionelle Ölheizung

Primärenergieeinsatz:  $Q_{Pr} = \frac{12.816 \text{ kWh/a}}{0,83 \times 0,863}^{[24]}$

$$Q_{Pr} = \underline{17.892 \text{ kWh/a}}$$

Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen: Die spez. CO<sub>2</sub>-Emission von Erdöl EL beträgt 0,26 kg/kWh und ist bezogen auf den Brennstoffeinsatz.

$$CO_2 = 15.441 \text{ kWh/a} \times 0,26 \text{ kg/kWh}$$

$$CO_2 = \underline{4.105 \text{ kg/a}}$$

### 7.2.2.3 Berechnung für die eingesetzte Wärmepumpenanlage (EWP)

Anteilige Deckung am jährlichen Wärmeverbrauch:

WP:  $0,95 \times 12.816 = 12.175 \text{ kWh/a}$

E-Heizstab:  $0,05 \times 12.816 = 641 \text{ kWh/a}$

Primärenergieeinsatz: Beide Wärmeerzeuger werden mit Strom betrieben (monoenergetisch).

$$Q_{Pr} = \frac{12.175 \text{ kWh/a} + 641 \text{ kWh/a}}{3 \times 0,36 \times 0,94 \quad 0,36 \times 0,94}^{[33]}$$

$$Q_{Pr} = \underline{13.887 \text{ kWh/a}}$$

Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen: Die spez. CO<sub>2</sub>-Emission beträgt beim Strom-Mixwert für die alten Bundesländer 0,57 kg/kWh<sub>el</sub>

Dieser gewichtete Wert ist bezogen auf die Nutzenergie und berücksichtigt die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern sowie den Einsatz der Kernenergie und Wasserkraft.

$$Q_{\text{Nutz}} = 13.887 \text{ kWh/a} \times 0,32^{[26]}$$

$$Q_{\text{Nutz}} = \underline{4.444 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}}$$

$$\text{CO}_2 = 4.444 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a} \times 0,57 \text{ kg/kWh}_{\text{el}}$$

$$\text{CO}_2 = \underline{2.533 \text{ kg/a}}$$

#### **7.2.2.4 Ergebnis der vergleichenden Bilanzierung**

Durch die Umsetzung der Maßnahme wird eine Primärenergieeinsparung von 22 % erreicht. Das Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission beträgt 37 %.

## 7.3 Kostenanalyse

**Tabelle 2.1: Kostenanalyse VEW-Regionalzentrum Brechten, Teil 1**

1. Allgemeine Angaben		VEW Regionalzentrum Brechten		
		Jährlicher Heizwärmebedarf (ohne Warmwasserbereitung)	12.816,00 kWh/a	
		Beheizte Gebäudefläche	244,00 m <sup>2</sup>	
		Wärmebedarf nach DIN 4701	16,90 KW	
			Öl-Zentralheizung	Sole-Wasser Wärmepumpen-Anlage (monoenerg.)
		<u>Einheit</u>		WP (95 %) Heizst. (5 %)
2. Verbrauchswerte				
Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers <sup>1)</sup>			0,83	
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe <sup>1)</sup>				3,0
Verbrauch Öl		kWh/a	15.441	
Strom Hochtarif (HAT) 70 %		kWh/a		3.289
Strom Niedertarif (NT) 30 %		kWh/a		1.410
<b>Summe Endenergieverbrauch</b>		<b>kWh/a</b>	<b>15.441</b>	<b>4.699</b>
3. Investitionskosten (Nutz-Dauer) <sup>3)</sup>				
Heizungsraum	50 a	€	3.068	2.045
Tank	20 a	€	1.534	---
Schornstein	50 a	€	1.790	---
Flächen WT/Absorber	40 a	€	---	62.378
Kesselanlage	20 a	€	1.636	---
Brenner	35 a	€	2.659	---
Wärmepumpe und Zubehör <sup>1)</sup>	18 a	€	---	8.539
Elektr. Installation mit Steuerung	20 a	€	511	1.278
Wärmeverteilung und Zubehör	20 a	€	9.459	9.459
Bodenkonstruktion	50 a	€	3.323	3.323
<b>Gesamte Investitionskosten</b>		<b>€</b>	<b>23.980</b>	<b>87.022</b>

Alle Preise rein netto, Herstellerangaben bzw. Angebote.

<sup>1)</sup> Verteilungswirkungsgrad unberücksichtigt, da bei allen Systemen gleich.

<sup>2)</sup> staatl. Förderung nicht berücksichtigt.

<sup>3)</sup> VDI 2067/1 + 6.



**Tabelle 2.2: Kostenanalyse VEW Regionalzentrum Brechten, Teil 2**

	Einheit	Öl-Zentralheizung	Sole-Wasser Wärmepumpen-Anlage (monoenerg.) (HT/NT)
<b>4. Verbrauchsgebundene Kosten</b>			
Energiepreis <sup>3)</sup>	€/kWh	0,23	0,07/0,05
Energiekosten	€/a	355,35	227,00/68,51
Messpreis/Grundpreis	€/a	---	56,24
Stromkosten Hilfsantriebe	€/a	71,58	51,13
<b>Summe verbrauchsgeb. Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>426,93</b>	<b>402,90</b>
<b>5. Betriebsgebundene Kosten</b>			
Schornsteinfeger	€/a	51,13	---
Wartung und Reinigung	€/a	158,50	---
Ersatzteile und Reparaturen <sup>4)</sup>	€/a	175,88	---
Wärmepumpenanlage 12,8 Pf/kWh <sub>el</sub> <sup>5)</sup>	€/a	---	307,29
<b>Summe betriebsgeb. Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>385,51</b>	<b>307,29</b>
<b>6. Kapitalgebundene Kosten</b> Annuität <sup>6)</sup> (Zinssatz 8 %)			
Heizungsraum	8,17 % €/a	250,66	167,08
Tank	10,19 % €/a	156,31	---
Schornstein	8,17 % €/a	146,24	---
Flächen WT/Absorber	8,39 %	---	5.233,59
Kesselanlage	10,19 % €/a	166,71	---
Brenner	13,27 % €/a	352,85	---
Wärmepumpe und Zubehör	10,67 % €/a	---	911,11
Elektr. Installation mit Steuerung	10,19 % €/a	52,07	130,23
Wärmeverteilung und Zubehör	10,19 % €/a	963,87	963,87
Bodenkonstruktion	8,17 % €/a	271,49	271,99
<b>Summe kapitalgeb. Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>2.360,61</b>	<b>7.677,87</b>
<b>7. Gesamtkosten (4 + 5 + 6)</b>	<b>€/a</b>	<b>3.173,05</b>	<b>8.388,06</b>
<b>8. Verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>812,44</b>	<b>710,19</b>
<b>9. Spezifische Gesamtkosten</b>	<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>13,22</b>	<b>34,95</b>
<b>10. Spezifische verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten</b>	<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>3,39</b>	<b>2,96</b>
<b>11. Spezifische verbrauchsgebundene Kosten</b>	<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>1,78</b>	<b>1,68</b>

<sup>3)</sup> Zurzeit marktübliche Energiepreise, rein netto.

<sup>4)</sup> 1,00 % aus Anschaffungskosten ohne bauliche Maßnahmen.

<sup>5)</sup> Erfahrungswert.

<sup>6)</sup> VDI 2067/1.

#### 7.4 Bewertung unter ökologischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten

Der ökologische Vergleich zeigt, dass durch den Einsatz von Elektro-Wärmepumpen (EWP) ein nicht unerheblicher Beitrag zur Energieeinsparung und somit zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Heizungssektor geleistet worden ist. Die vergleichende Bilanzierung (siehe Punkt 7.2.2) hat eine Primärenergieeinsparung von 22 % ergeben sowie ein Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission von 37 %. Es bleibt festzustellen, dass die Wärmepumpe eine mögliche Alternative darstellt, jedoch nicht als einziges und bestes System in CO<sub>2</sub>-Fragen zu betrachten ist.

Der betriebswirtschaftliche Vergleich beider Heizsysteme (s. Kostenanalyse Punkt 7.3) zeigt, dass sich hinsichtlich der "jährlichen verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten" (ebda.) wie auch der "*spezifisch* verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten" (ebda.) ein deutlicher Vorteil zugunsten der Wärmepumpenanlage ergibt.

Unter Berücksichtigung des Investments (das 3,7fache gegenüber einer Öl-Zentralheizung) und des daraus resultierenden jährlichen Kapitaldienstes (s. Kapitalgebundene Kosten) verändert sich jedoch diese zunächst positive Darstellung grundlegend. Es bleibt festzustellen, dass "die spezifischen jährlichen Gesamtkosten" der Wärmepumpenanlage im Vergleich zur konventionellen Ölheizung das rund 2,6fache betragen und somit die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage mehr als in Frage gestellt werden muss.

## 8 Analyse und Bewertung des Regionalzentrums Wambel unter den Aspekten Energieverbrauch, Umweltbelastung und Kosten

### 8.1 Anlagenspezifikation



Abb. 11.1: VEW-Regionalzentrum Wambel, Südansicht, Foto: W. Wagner

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt durch eine elektrisch betriebene Warmwasser-Zentralheizung.

Diese Wärmeerzeugungsanlage besteht aus drei, mit Wasser gefüllten Standspeichern. Jeder Speicher hat einen Inhalt von 700 Litern und ist mit einem eingebauten Heizflansch ausgestattet. Die elektrische Anschlussleistung ist wählbar und hat einen Maximalwert von 9 kW (s. Abb. 11.11).

Eine automatische Aufladesteuerung berücksichtigt die geforderte Betriebsart des EVU und gibt dem Nutzer die Möglichkeit, die Wärmeversorgung den jeweiligen Bedürfnissen anzupassen. Die Aufladung des Systems erfolgt primär zu Niedertarifzeiten, in Abhängigkeit der Außentemperatur und unter Berücksichtigung der in den Wärmespeichern noch vorhandenen Restwär-

me. Der Einschaltzeitpunkt bzw. die Freigabedauer und der Ausschaltzeitpunkt der Anlage werden durch die Steuerung vorgegeben.

Die Wärmeverteilung erfolgt durch statische Heizflächen, die für eine Systemtemperatur von 55°C / 45°C ausgelegt sind. Die zu beheizende Fläche beträgt insgesamt rund 234 m<sup>2</sup> (VEW / DO VKA 1990).

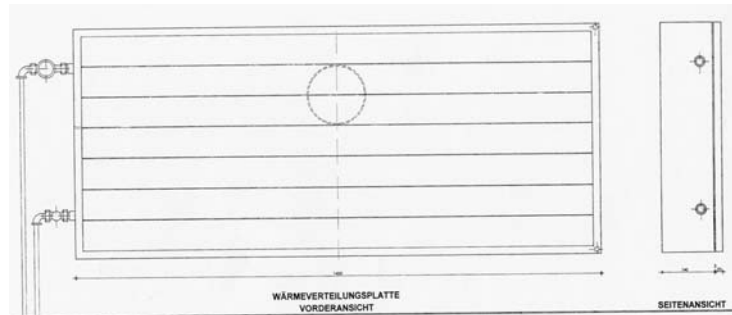


Abb. 11.3: VEW-Regionalzentrum Wambel, Zulufteinheit mit Radiator, (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik

Abb. 11.2 (links): VEW-Regionalzentrum Wambel, belüfteter Flächenheizkörper, Foto: W. Wagner

Eine Entladung der Wärmespeicher wird mittels nachgeschaltetem Regelkreis vorgenommen. Dieser Regelkreis besteht aus einem Heizungsregler, einer Umwälzpumpe sowie einem motorgetriebenen, hydraulischen Stellglied. Die Regelung der Gesamtanlage erfolgt vollautomatisch, mit einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung des nachgeschalteten Heizkreises und einem entsprechenden Heizprogramm für Nacht- und Wochenendbetrieb.

Des Weiteren ist ein TWW-Speicher mit einem Inhalt von 1.000 Litern vorhanden, der ebenfalls mit einem eingebauten Heizflansch ausgestattet ist. Die elektrische Anschlussleistung hat auch hier einen Maximalwert von 9 kW.



Abb. 11.4: VEW-Regionalzentrum Wambel, TWW-Speicher, Inhalt 1.000 Liter, mit eingebauten Heizflanschen. Foto: W. Wagner

Als Besonderheit in diesem Gebäude ist zusätzlich, neben der konventionellen Elektro-Zentralheizung, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt.

Das Wärmerückgewinnungssystem besteht im wesentlichen aus einer elektrisch angetriebenen, zweistufigen Luft / Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Ventilator sowie einem Regelspeicher mit einem Wasserinhalt von 700 Litern.

Die gesamte Lüftungsanlage setzt sich aus einer zentralen Abluftanlage und sechs dezentralen Zuluftseinheiten zusammen.



Abb. 11.5: VEW-Regionalzentrum Wambel, Wärmepumpenanlage, Leistung: 3,5 kW, Foto: W. Wagner



Abb. 11.6: VEW-Regionalzentrum Wambel. Links ist das Fortluftrohr der Wärmepumpenanlage zu erkennen. Foto: W. Wagner



Abb. 11.7: VEW-Regionalzentrum Wambel. Lichtflur mit der zentralen Absaugöffnung der Abluftanlage. Foto: W. Wagner



Abb. 11.8: VEW-Regionalzentrum Wambel, Sozialbereich Duschraum.  
Über den Duschen ist die Absaugung zu sehen (Tellerventile). Foto: W. Wagner

Zur Wärmerückgewinnung wird die Abluft aus den Umkleide-, Wasch- und WC-Räumen als Wärmequelle genutzt.

Diese warme, feuchte und geruchsbelastete Luft gelangt über ein entsprechendes Rohrkanalsystem zum Direktverdampfer der EWP.

Im Verdampfer befindet sich das flüssige Arbeitsmittel bei niedrigem Druck. Die dem Druck entsprechende Siedetemperatur des Arbeitsmittels ist niedriger als die Temperatur der Wärmequelle. Durch dieses Temperaturgefälle kommt es zu einer Wärmeübertragung von der Wärmequelle auf das Arbeitsmittel. Das Arbeitsmittel siedet und verdampft. Die dazu erforderliche Verdampfungswärme wird der Abluft entzogen, die dadurch abkühlt.



Abb. 11.10: VEW-Regionalzentrum Wambel, 3 Pufferspeicher je 700 l mit 9 kW Elektroheizflansch. Foto: W. Wagner

Abb. 11.9: Regelung der Wärme-Verteilung. Foto: W. Wagner

Im Verflüssiger erfolgt die Wärmeauskoppelung mittels Wärmetauscher, Rohrleitungen und Umwälzpumpe. Die an das Heizungswasser übertragene Wärme wird im Regelspeicher gepuffert. Der Speicher ist durch entsprechende Rohrleitungsanschlüsse mit dem nachgeschalteten Wärmeverteilsystem verbunden. Die Entladung geschieht ebenfalls über den Regelkreis der statischen Heizung (s. Abb. 11.11).

Dieser zusätzliche Wärmespeicher erhöht das Wasservolumen im Verteilsystem und dient somit auch zur Laufzeitverlängerung der EWP. Weiterhin können damit eventuelle EVU-Sperrzeiten kurzfristig überbrückt werden.

Ein weiteres, zusätzliches Rohrleitungssystem mit Umwälzpumpe, welches zwischen dem Regelspeicher und dem TWW-Speicher installiert ist, ermöglicht die Erwärmung des Brauchwassers.

Sowohl für den Betrieb der EWP, als auch für die Erwärmung des Trinkwassers ist eine Differenztemperatur-Regelung eingesetzt.

Die Inbetriebnahme und Abschaltung der Wärmepumpenanlage geschieht in Abhängigkeit von regelungstechnisch definierten Temperaturdifferenzen innerhalb des nachgeschalteten Wärmespeichers. Gleiches gilt auch für die Warmwasserbereitung. Hierbei sind jedoch Temperaturdifferenzen zwischen dem Regelspeicher und dem TWW-Speicher maßgebend.

Reicht die Wärmeauskopplung zur Deckung des TWW-Bedarfs in Spitzenzeiten nicht aus, so erfolgt eine Nacherhitzung mittels des eingangs erwähnten Elektro-Heizflansches.

Der Betrieb der Umschichtungspumpe am TWW-Speicher ist so geregelt, dass nur in der NT geschalteten Nacherhitzung eine Umschichtung des Brauchwassers erfolgt.

Zur Warmwasserbereitstellung an den Zapfstellen ist eine zeit- und temperaturabhängig gesteuerte Zirkulationspumpe eingesetzt.



Während der normalen Betriebszeit, von 6:00 Uhr bis 16:00 Uhr, ist der Ventilator der Luft / Wasser-Wärmepumpe in großer Stufe geschaltet. Der Abluftvolumenstrom beträgt dann rund 400 m<sup>3</sup>/h (VEW / DO VKA).

Außerhalb des vorgenannten Zeitraumes wird der Ventilator in kleiner Stufe, mit einem Abluftvolumenstrom von rund 200 m<sup>3</sup>/h, betrieben. Somit wird in den Betriebsräumen auch außerhalb der Arbeitszeit ein Mindestluftwechsel sichergestellt.

Die Verdichter- und Ventilatorstufen der Wärmepumpenanlage werden über entsprechende Zeitglieder und durch interne Verriegelungen geschaltet.

Die Abluft wird nach der Wärmerückgewinnung und dem damit verbundenen Wärmeentzug durch zwei Edelstahlrohre als Fortluft ins Freie abgeführt (s. Abb. 11.6).

Die dezentralen Zuluftseinheiten sind in den Büro- und Aufenthaltsräumen eingebaut.

Hierbei handelt es sich um Spezial-Heizplatten mit Zuluftteil, die durch entsprechende Ansaugstutzen und durch ein Luftleitsystem mit der Außenluft in Verbindung stehen. Weitere Einbauteile sind Wetterschutzgitter, Außenluftfilter, Ventilatoren, Frostschutzthermostate und motorbetriebene Jalousieklappen.

Im Betriebszustand fördern diese Ventilatoren einen Außenluftvolumenstrom von insgesamt rund 350 m<sup>3</sup>/h, über die Heizplatten erwärmt, in die einzelnen Räume (s. Abb. 9.12).

Die Betriebszeit der Ventilatoren ist über eine Zeitsteuerung der Nutzung der Räume angepasst.

Bei extrem tiefen Außentemperaturen werden mittels der Frostschutzüberwachung die Jalousieklappen in den Ansaugöffnungen geschlossen.

Auf Grund eines Abluftüberschusses in einer Größenordnung von ca. 5 – 10 % strömt die Zuluft durch die im Deckenbereich der Büro- und Aufenthaltsräume angeordneten Lüftungsventile in den Flurbereich über und gelangt von dort in die Umkleide-, Wasch- und WC-Räume. Von hier wird sie als Abluft zur EWP zurückgeführt und anschließend als Fortluft ins Freie geleitet.

Durch ein wirtschaftlich rationelles Zusammenwirken aller Anlagenteile wird eine kontrollierte Lüftung einschließlich Wärmerückgewinnung in den gewerblichen Räumen der Geschäftsstelle erreicht.

Ein Teil des Luftleitsystems ist in Form von Fensterbänken gestalterisch in die Fassaden integriert. Somit sind diese Elemente auch als gestaltendes, funktionsgebundenes Integrativ zum bestehenden Baukörper zu sehen (s. Abb. 11.15).

Abschließend ist noch zu erwähnen, dass die Garagen und sonstigen Nebenräume des Altbaus sowie die Kellerräume des Neubaus mit Elektro-Direktheizgeräten ausgerüstet sind.

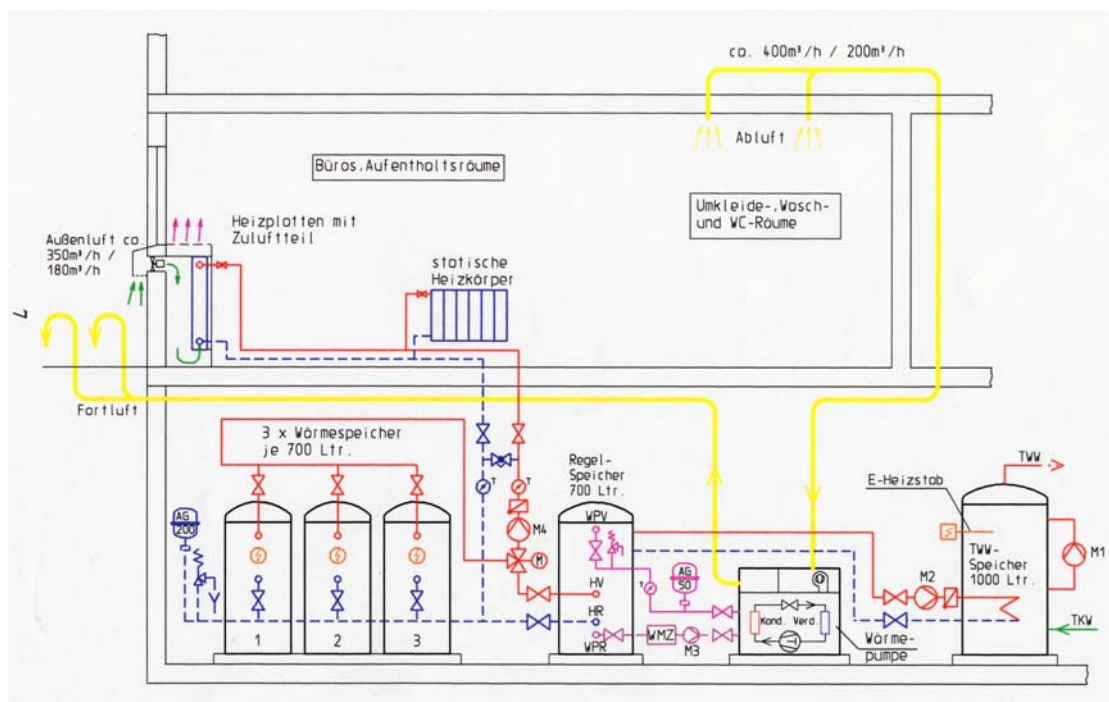


Abb. 11.11: VEW-Regionalzentrums Wambel, Anlagenschema, VEW AG, BD/DO, Abt. Energieverwendung

## 8.2 Primärenergieeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emission

### 8.2.1 Vorbemerkung<sup>[27]</sup>

Vergleicht man den Primärbedarf für den Bereich einer Wärmepumpe mit dem einer konventionellen Ölheizung, so muss der gesamte Energieaufwand, und zwar von der Gewinnung des Energieträgers bis zum Zielprozess der Beheizung eines Gebäudes, berücksichtigt werden.

Bevor der Energieträger Heizöl, dem Endverbraucher zur Verfügung gestellt wird, muss Energie aufgewandt werden für:

- die Exploration und Förderung,
- den Transport des Rohöls,
- die Aufbereitung in der Raffinerie und
- die Verteilung.

Demnach können nur 96,3 % der Primärenergie, die für die Bereitstellung von Heizöl benötigt werden, dem Endverbraucher in chemisch gebundener Form geliefert werden. Kessel und Brenner nutzen das eingesetzte Öl im Jahresmittel mit einem Wirkungsgrad von 83 %, so dass schließlich  $0,863 \times 0,83 = 0,716$  bzw. ca. 72 % des ursprünglichen Primärenergieeinsatzes zur Heizung des Gebäudes dienen. Außerdem benötigt eine Ölheizung elektrische Energie zum Betrieb des Brenners und der Heizungsumwälzpumpe<sup>[17/18]</sup>. Der Primärenergiebedarf zur Bereitstellung von Strom ist aus thermodynamischen Gründen noch deutlich höher. Dem Verbrauch stehen nur noch 32 % der ursprünglich eingesetzten Energie zur Verfügung. Trotz des schlechten Energieumsatzes bei der Verstromung kann eine elektrisch angetriebene Wärmepumpe zur Minderung des Primärenergiebedarfs beitragen, wenn die Leistungsziffer über ca. 2,2 liegt.

## 8.2.2 Vergleichende Bilanzierung zwischen einer konventionellen Ölheizung und der eingesetzten Elektrowärmepumpenanlage (EWP)

### 8.2.2.1 Zugrundegelegte Parameter

Nachfolgend aufgeführte Parameter werden bei der Bilanzierung zugrunde gelegt:

- Die konventionelle Ölheizung arbeitet im Jahresmittel mit einem Anlagenwirkungsgrad von 83 %.
- Meteorologische Daten, die über einen Zeitraum von 20 Jahren erfasst und ausgewertet wurden, weisen für Dortmund eine mittlere Lufttemperatur aller Heiztage von + 6,1°C aus<sup>[28]</sup>.
- Die Anzahl der jährlichen Arbeitstage wird mit 248 d/a festgelegt<sup>[29]</sup>.
- Während der normalen Betriebszeit, von 6:00 bis 16:00 Uhr, arbeitet die maschinelle Lüftung mit einem Zuluftvolumenstrom von rund 350 m<sup>3</sup>/h bei einem Abluftüberschuss von ca. 5 – 10 %.
- Außerhalb des vorgenannten Zeitraumes beträgt der Zuluftvolumenstrom rund 180 m<sup>3</sup>/h bei einem Abluftüberschuss von ebenfalls ca. 5 – 10 %.
- Gemäß der DIN 4701, Teil 1 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, lässt sich somit ein jährlicher Lüftungswärmebedarf in Höhe von 9.717 kWh/a für die Betriebsstelle Wambel errechnen<sup>[30]</sup>.

### 8.2.2.2 Berechnung für eine konventionelle Ölheizung

Primärenergieeinsatz:  $Q_{Pr} = \frac{12.150 \text{ kWh/a}}{0,83 \times 0,863}^{[28]}$

$Q_{Pr} = \underline{16.962 \text{ kWh/a}}$

Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen: Die spez. CO<sub>2</sub>-Emission von Erdöl EL beträgt 0,26 kg/kWh und ist bezogen auf den Brennstoffeinsatz.

$CO_2 = 14.639 \text{ kWh/a} \times 0,26 \text{ kg/kWh}$

$CO_2 = \underline{3.806 \text{ kg/a}}$

### 8.2.2.3 Berechnung für die eingesetzte Wärmepumpenanlage (EWP)

Primärenergieeinsatz:  $Q_{Pr} = \frac{12.150 \text{ kWh/a}}{2,6 \times 0,36 \times 0,94} = Q_{Pr} \underline{13.809 \text{ kWh/a}}^{[26]}$

Bewertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen: Die spez. CO<sub>2</sub>-Emission beträgt beim Strom-Mixwert für die alten Bundesländer 0,57 kg/kWh<sub>el</sub><sup>[31]</sup>

Dieser gewichtete Wert ist bezogen auf die Nutzenergie und berücksichtigt die Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern sowie den Einsatz der Kernenergie und Wasserkraft.

$Q_{Nutz} = 13.809 \text{ kWh/a} \times 0,32$

$Q_{Nutz} = \underline{4.419 \text{ kWh}_{el}/a}$

$CO_2 = 4.419 \text{ kWh}_{el}/a \times 0,57 \text{ kg/kWh}_{el}$

$CO_2 = \underline{2.519 \text{ kg/a}}$

### 8.2.2.4 Ergebnis der vergleichenden Bilanzierung

Durch die Umsetzung der Maßnahme wird eine Primärenergieeinsparung von 19 % erreicht. Das Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission beträgt 34 %.

### 8.3 Kostenanalyse

**Tabelle 3.1: Kostenanalyse VEW-Regionalzentrum Wambel, Teil 1**

1. Allgemeine Angaben		VEW Regionalzentrum Wambel		
		Jährlicher Heizwärmebedarf (ohne Warmwasserbereitung)	12.150,00 kWh/a	
		Beheizte Gebäudefläche	234,00 m <sup>2</sup>	
			Öl-Zentralheizung	Luft-Wasser Wärmepumpen-Anlage (monoenerg.)
		Einheit		
2. Verbrauchswerte				
Jahresnutzungsgrad des Wärmeerzeugers <sup>1)</sup>			0,83	
Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe <sup>1)</sup>				2,6
Verbrauch Öl		kWh/a	14.639	
Strom Hochtarif (HAT) 70 %		kWh/a		3.271
Strom Niedertarif (NT) 30 %		kWh/a		1.402
<b>Summe Endenergieverbrauch</b>		<b>kWh/a</b>	<b>14.639</b>	<b>4.673</b>
3. Investitionskosten (Nutz-Dauer) <sup>3)</sup>				
Heizungsraum		50 a	€	3.068
Tank		20 a	€	1.534
Schornstein		50 a	€	1.480
Kesselanlage u. Zubehör		20 a	€	3.587
Lüftungsleitungen u. Zubehör		35 a	€	---
Wärmepumpe und Zubehör <sup>1)</sup>		18 a	€	---
Elektr. Installation mit Steuerung		20 a	€	511
Wärmeverteilung und Zubehör		20 a	€	4.830
Bodenkonstruktion		50 a	€	3.125
<b>Gesamte Investitionskosten</b>			<b>€</b>	<b>18.135</b>
				<b>23.294</b>

Alle Preise rein netto, Herstellerangaben bzw. Angebote.

<sup>1)</sup> Verteilungswirkungsgrad unberücksichtigt, da bei allen Systemen gleich.

<sup>2)</sup> staatl. Förderung nicht berücksichtigt.

<sup>3)</sup> VDI 2067/1 + 6.

**Tabelle 3.2: Kostenanalyse VEW-Regionalzentrum Wambel, Teil 2**

	Einheit	Öl-Zentralheizung	Luft-Wasser Wärmepumpen- Anlage (monoenerg.) (HT/NT)
<b>4. Verbrauchsgebundene Kosten</b>			
Energiepreis <sup>3)</sup>	€/kWh	0,23	0,07/0,05
Energiekosten	€/a	336,70	228,97/70,10
Messpreis/Grundpreis	€/a	---	56,24
Stromkosten Hilfsantriebe	€/a	71,58	51,13
<b>Summe verbrauchsgeb. Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>408,28</b>	<b>406,44</b>
<b>5. Betriebsgebundene Kosten</b>			
Schornsteinfeger	€/a	51,13	---
Wartung und Reinigung	€/a	158,50	---
Ersatzteile und Reparaturen <sup>4)</sup>	€/a	173,20	---
Wärmepumpenanlage 12,8 Pf/kWh <sub>el</sub> <sup>5)</sup>	€/a	---	305,18
<b>Summe betriebsgeb. Kosten</b>	<b>€/a</b>	<b>382,83</b>	<b>305,18</b>
<b>6. Kapitalgebundene Kosten</b>			
	Annuität <sup>6)</sup> (Zinssatz 8 %)		
Heizungsraum	8,17 %	€/a	250,66
Tank	10,19 %	€/a	156,31
Schornstein	8,17 %	€/a	120,92
Kesselanlage	10,19 %	€/a	356,52
Lüftungsleitung u. Zubehör	8,58 %	€/a	---
Wärmepumpe und Zubehör	10,67 %	€/a	---
Elektr. Installation mit Steuerung	10,19 %	€/a	52,07
Wärmeverteilung und Zubehör	10,19 %	€/a	492,18
Bodenkonstruktion	8,17 %	€/a	255,31
<b>Summe kapitalgeb. Kosten</b>		<b>€/a</b>	<b>1692,97</b>
<b>7. Gesamtkosten (4 + 5 + 6)</b>		<b>€/a</b>	<b>2.484,08</b>
<b>8. Verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten</b>		<b>€/a</b>	<b>711,62</b>
<b>9. Spezifische Gesamtkosten</b>		<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>10,62</b>
<b>10. Spezifische verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten</b>		<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>3,38</b>
<b>11. Spezifische verbrauchsgebundene Kosten</b>		<b>€/m<sup>2</sup>a</b>	<b>1,74</b>

<sup>3)</sup> Zur Zeit marktübliche Energiepreise, rein netto.

<sup>4)</sup> 1,00 % aus Anschaffungskosten ohne bauliche Maßnahmen.

<sup>5)</sup> Erfahrungswert.

<sup>6)</sup> VDI 2067/1.

## 8.4 Bewertung unter ökologischen und betriebswirtschaftlichen Aspekten

Hauptziel und Schwerpunkt der neuen WSCHVO ist die rasche Verminderung des Ausstoßes energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen, die als Hauptverursacher des Treibhauseffektes gelten<sup>[32]</sup>.

Bis zum Jahr 2005 soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 25 – 30 %, bezogen auf das Emissionsvolumen des Jahres 1987, reduziert werden.

Unter diesen Gesichtspunkten gewinnt eine rationelle Energieverwendung (Wärme/Strom) zur Schonung der natürlichen Ressourcen sowie der Einsatz erneuerbarer Energieträger zum Schutze unseres Klima- und Ökosystems in nahezu allen Bereichen immer mehr an Bedeutung.

Mit der Novellierung der neuen Wärmeschutzverordnung hat sich der wärmetechnische Standard im Wohnungsbau dahingehend geändert, dass zukünftig bestimmte Anforderungen hinsichtlich der Raumluftqualität, Lüftungswärmeverluste etc. ohne eine kontrollierte Lüftung nicht mehr erfüllt werden können.

Der hygienisch und bauphysikalisch notwendige Luftaustausch muss gewährleistet sein und soll, bezogen auf das Raumvolumen, 0,5 bis 0,8-mal pro Stunde erfolgen.

Die insbesondere in Umkleide-, Wasch- und WC-Räumen anfallende Feuchtigkeit muss durch ausreichende Lüftung abgeführt werden, sonst kondensiert dieser Wasserdampf an den kalten Außenwänden, hinter Schränken und in den Raumecken. Durchfeuchtete Wände, gesundheitsschädliche Schimmelpilzbildung und eine starke Vermehrung der Hausstaubmilben ist die Folge.

Hinzu kommt ein weiteres Problem, das nicht übersehen werden darf. Die aus Möbeln, Kunststoffen, Teppichen, Spanplatten, Farben, Tabakrauch, Putz- und Reinigungsmitteln freiwerdenden Schadstoffe werden ebenfalls kaum noch abgeführt und führen in einigen Fällen zu so hohen Schadstoff-



konzentrationen, dass dadurch auftretende gesundheitliche Schäden und Allergien nicht mehr auszuschließen sind.

Um den Heizenergieverbrauch zu senken und gleichzeitig den erforderlichen Luftaustausch in Nutzräumen zu gewährleisten, bot sich eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung als Lösungsmöglichkeit an.

Hierbei handelt es sich um Systeme, die den Räumen mit Hilfe von Ventilatoren kontinuierlich die notwendige Luftmenge zu- und abführen. Die Wärmerückgewinnung sorgt dafür, dass gegenüber der Fensterlüftung erhebliche Energieeinsparungen möglich sind. Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass die Fenster ständig geschlossen bleiben können, was in lärm- und staubbelasteten Gebieten ebenfalls von großer Bedeutung ist.

Zusammenfassend lassen sich die Anforderungen an eine kontrollierte Nutzraumlüftung wie folgt darstellen:

- dauerhafter hygienischer Luftwechsel, unabhängig von Witterungseinflüssen und Nutzerverhalten,
- ständige Frischluftzufuhr,
- Begrenzung der Raumluftfeuchte zur Vorbeugung von Feuchte- und Schimmelschäden,
- geringe Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft,
- Absaugen von geruchsbelasteter Luft,
- geringe Belästigung durch Lärm, Abgase und Insekten,
- Herausfiltern von Stäuben, Pollen, Allergenen,
- Verminderung der Lüftungswärmeverluste, durch Wärmerückgewinnung,
- allgemeine Komfortverbesserung.

Das vorliegende Anlagenbeispiel zeigt, dass durch den Einsatz von Elektro-Wärmepumpen ein nicht unbedeutender Beitrag zur Energieeinsparung und somit zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem Heizungs- und Lüftungssektor geleistet wird. Durch die Umsetzung der Maßnahme wird eine Primärenergieeinsparung von 19 % erreicht. Das Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission beträgt, wie die vergleichende Bilanzierung unter Punkt 8.2.2 ausweist, 34 %.

Die EWP stellt eine mögliche Alternative dar, ist jedoch nicht als einziges und bestes System in CO<sub>2</sub>-Fragen zu betrachten. Mit der Novellierung der neuen Wärmeschutzverordnung haben sich die Anforderungen an die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle jedoch erheblich verschärft. Beispielsweise darf sich zukünftig nach DIN V 4108-7 beim Blower-Door-Test (bei 50 Pa Druckunterschied) im Einfamilienhaus kein größerer Außenluftwechsel als 1,0-mal pro Stunde einstellen<sup>[33]</sup>. Umgerechnet auf normal mittlere Bedingungen entspricht dies einem "natürlichen" Außenluftwechsel (je nach Gebäudelage) von 0,04 bis 0,10-mal pro Stunde. Das ist nur etwa ein Zehntel des hygienisch und bauphysikalisch erforderlichen Außenluftwechsels. Lüftungstechnische Einrichtungen zur ausreichenden Versorgung der Räume mit Frischluft werden somit zwingend notwendig. Die damit verbundenen Lüftungswärmeverluste gewinnen bei immer besser werdendem Wärmeschutz immer mehr an Gewicht.

Das Ziel einer rationellen Energieverwendung und die Forderung rascher Verminderung des Ausstoßes energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordern jedoch zusätzliche Investitionen in allen Bereichen.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ergibt sich, dass das Investment und der damit verbundene Kapitaldienst ursächlich dafür verantwortlich sind, dass der Einsatz einer EWP mit höheren Gesamtkosten behaftet ist. Obwohl die "verbrauchs- und betriebsbedingten Kosten" sowie die "*spezifischen* verbrauchs- und/oder betriebsbedingten Kosten" gleich hoch oder niedriger sind, kann man nun bei den EWP-Anlagen im Vergleich zur Öl-

Zentralheizung unter ausschließlich wirtschaftlichen Aspekten von kostenintensiveren Anlagen sprechen.

Wie eingangs bereits erwähnt, verfügt das Regionalzentrum Wambel über eine elektrisch betriebene Warmwasser-Zentralheizung. Durch die Wärmepumpe, werden an das nachgeschaltete Wärmeverteilsystem insgesamt 12.150 kWh/a an Wärmeenergie übertragen, wobei der Lüftungswärmebedarf zu 100% gedeckt wird (s. Punkt 8.2.2).

## 9 Vergleich der Energiekonzepte für die Betriebsstellen Brechten und Wambel

### 9.1 Vergleich bezüglich der Wärmequellen

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Heizungssysteme in Brechten und Wambel liegt in der Nutzung von verschiedenen Wärmequellen.

Die Gebäudebeheizung erfolgt im Regionalzentrum Brechten durch eine elektrisch angetriebene Sole/Wasser-Wärmepumpe in Kompaktbauweise.

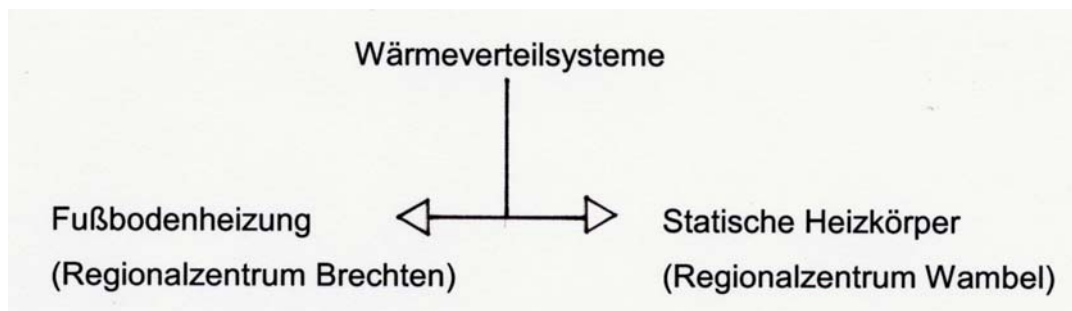
Die Wärmequellenanlage besteht, neben den Fördereinrichtungen für den Wärmeträger (Sole), dem Rohrleitungssystem und den Regelsystemen, aus großen, gut absorbierenden Flächen. Dieser Absorber ist der Sonnenstrahlung, aber auch Wind und Wetter ausgesetzt, so dass bei einer Kühlung unter Umgebungstemperatur Umgebungswärme aus verschiedensten Quellen (Luft, Sonnenstrahlung, Regen) einströmen kann (4 – 5 K unter Umgebungstemperatur) <sup>[34]</sup>. Die Wärmequellenanlage hat bestimmte Betriebseigenschaften (Wärmeleistung, Energieverbrauch, Strömungswiderstände), welche unabhängig von der Wärmepumpe sind. Aufgrund der Nutzung von verschiedenen Wärmequellen bietet dieses System deutliche Vorteile gegenüber einer Anlage bei der ausschließlich Raumluft als Wärmequelle genutzt wird.

Die Gebäudebeheizung im Regionalzentrum Wambel erfolgt primär durch eine konventionelle Elektro-Zentralheizung. Zusätzlich ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert.

Das WRG-System besteht im Wesentlichen aus einer elektrisch angetriebenen, zweistufigen Luft/Wasser-Wärmepumpe mit integriertem Ventilator, sowie einem Regelspeicher. Zur thermischen Aufbereitung der Lüftungswärme dient ausschließlich die Verwendung von Raumluft aus bestimmten Bereichen des Gebäudes. Es handelt sich bei diesem System somit um eine Anlage, die vorrangig zur Energieeinsparung hinsichtlich des Lüftungswärmebedarfs genutzt wird.

## 9.2 Vergleich bezüglich der Wärmeverteilungssysteme

Ebenso ist zu berücksichtigen, dass in den Betriebsstellen unterschiedliche



mit daraus resultierenden Vorlaufwassertemperaturen installiert wurden.

Dies hat ebenfalls starke Einflüsse auf die Leistungszahl bei Wärmepumpen, denn je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und der Wärme-Nutzungsanlage ist, desto höher ist die Leistungszahl. Hierbei handelt es sich um einen thermodynamischen Grundsatz, der für jede Wärmepumpe gilt<sup>[35]</sup>.

Das Wärmeverteilungssystem im Regionalzentrum Brechten wurde in Form einer Fußbodenheizung ausgeführt. Der Vorteil dieses Systems liegt in dem niedrigen Vorlauftemperaturniveau und hat somit großen Einfluss auf die Jahresarbeitszahl. Insofern ist eine Fußbodenheizung optimal für den Einsatz einer durch die EWP betriebenen Anlage.

Meteorologischen Daten zufolge, die über einen Zeitraum von 20 Jahren erfasst und ausgewertet wurden, ist für Dortmund eine mittlere Außenlufttemperatur aller Heiztage von + 6,1 °C ausgewiesen<sup>[28]</sup>. Daher kann die EWP nahezu ganzjährig betrieben werden. Es wird ein Deckungsanteil, gemessen am jährlichen Heizwärmebedarf der Betriebsstelle, in Höhe von etwa 95 % erreicht. Der Betrieb ist monoenergetisch (monoenergetisch bedeutet:

Zwei Wärmerezeuger, aber nur einen Energieträger). Nur an wenigen, sehr kalten Tagen im Jahr übernimmt eine im Pufferspeicher angeordnete elektrische Zusatzheizung (E-Heizstab) die Deckung des Wärmebedarfs (monovalent bedeutet: nur einen Wärmerezeuger; bivalent bedeutet: grundsätzlich 2 Wärmerezeuger unterschiedlicher Energieträger). Es bleibt somit festzustellen, dass durch eine den Rahmenbedingungen angepasste Auslegung und Abstimmung aller Komponenten eine EWP in dem Regionalzentrum Brechten errichtet wurde, die ein in technischer Hinsicht sehr effizientes System zur Nutzung der Primärenergieträger darstellt.

Der Forderung einer rationellen Energieverwendung und der damit verbundenen Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen wird somit in hohem Maße Rechnung getragen. Ein Nachteil dieser Anlage besteht jedoch u. a. in dem zeitlich inkohärenten Verhalten von Bedarf und Verfügbarkeit. So besteht bei hohem Wärmebedarf in der Regel eine niedrigere Außenlufttemperatur, was aufgrund der hohen Temperaturspreizung zwischen Wärmequelle und Wärmesenke zu einer hohen Leistungsaufnahme der Verdichter führt. Entsprechend umgekehrte Verhältnisse bestehen bei geringem Bedarf an Nutzwärme.

Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Wärmepumpe unter bestimmten Voraussetzungen eine mögliche Alternative zu konventionellen Heizsystemen darstellt, jedoch nicht als einziges und bestes System zu betrachten ist.

Das Wärmeleitungssystem im Betriebszentrum Wambel wird über Warmwasserradiatoren betrieben. Die Radiatoren erwärmen die mechanisch angesaugte Außenluft.

### 9.3 Vergleich bezüglich der Effizienz

Aufgrund der nahezu unbegrenzt zur Verfügung stehenden Außenluft, die zudem in unseren Breitengraden selten unter  $-15^{\circ}\text{C}$  absinkt, ist die Effizienz des Anlagensystem im Regionalzentrum Brechten kaum, d. h. nur unter außergewöhnlichen Bedingungen, begrenzt.

Für das Anlagensystem im Regionalzentrum Wambel bleibt jedoch festzustellen, dass die Effizienz eines solchen Systems aufgrund der gegebenen Rahmenbedingungen, wie z. B. Raumluft als Wärmequelle, stationärer Heizflächen als Wärmeverteilanlage, geringer Luftvolumenströme, zeitlich variabler Volumenströme, geringer spezifischer Wärme und Dichte der Luft etc., stark begrenzt ist.

Dies wird auch durch die entsprechenden Herstellerangaben dokumentiert. So liegt beispielsweise die Jahresarbeitszahl (Verhältnis von Nutzheizwärmeabgabe zur Aufnahme an Elektrizität [total]) der Wärmepumpenanlage deutlich unter  $3,0^{[36]}$ .

Es zeigt sich weiterhin, dass die Reduzierungen des Wärmebedarfs ausschließlich durch Reduzierungen der Transmissionswärmeverluste erreicht wurden, wogegen die Lüftungswärmeverluste praktisch unverändert blieben. Als Folge des reduzierten Wärmebedarfs durch Transmission ergibt sich bei gleich bleibend hohem Luftaustausch jedoch ein erhöhter Anteil des Lüftungswärmebedarfs<sup>[36]</sup>.

### 9.4 Vergleich bezüglich der ökologischen Wirkung

Der ökologische Vergleich zwischen einer konventionellen Ölheizung und einer EWP-Anlage zeigt, dass durch den Einsatz von EWP im Regionalzentrum Brechten ein nicht unerheblicher Beitrag zur Energieeinsparung und somit zur Verminderung von  $\text{CO}_2$ -Emission im Heizungssektor geleistet werden kann. Die vergleichende Bilanzierung (siehe Gliederungspunkt 7.2.2) hat ei-

ne Primärenergieeinsparung von 22% ergeben sowie ein Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission von 37%. Es bleibt festzustellen, dass die Wärmepumpe eine mögliche Alternative darstellt.

Durch den Einsatz von Elektrowärmepumpen in dem Regionalzentrum Wambel wird ebenfalls ein nicht unbedeutender Beitrag zur Energieeinsparung und somit zur Verminderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen auf dem Heizungs- und Lüftungssektor geleistet. Auch hier bleibt festzustellen, dass durch die Umsetzung der Maßnahme eine Primärenergieeinsparung erreicht wird, nämlich von 19%. Das Minderungspotential auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emission beträgt, wie die vergleichende Bilanzierung unter dem Gliederungspunkt 8.2.2 ausweist, 34%.

## **9.5 Vergleich bezüglich der Wirtschaftlichkeit**

Der betriebswirtschaftliche Vergleich beider Heizsysteme für das Regionalzentrum Brechten (vgl. Punkt 7.3) zeigt, dass sich hinsichtlich der "jährlichen verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten" wie auch der "*spezifisch* verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten" ein deutlicher Vorteil zugunsten der Wärmepumpenanlage ergibt.

Unter Berücksichtigung des Investments (das 3,7fache gegenüber einer Öl-Zentralheizung) und des daraus resultierenden jährlichen Kapitaldienstes (siehe "Kapitalgebundene Kosten") verändert sich jedoch diese zunächst positive Darstellung grundlegend. Es bleibt festzustellen, dass "die spezifischen jährlichen Gesamtkosten" der Wärmepumpenanlage im Vergleich zur konventionellen Ölheizung das rund 2,6fache betragen und somit die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage mehr als in Frage gestellt werden muss.

Für das Regionalzentrum Wambel ergibt sich aus betriebswirtschaftlicher Sicht (vgl. Punkt 8.3), dass das Investment und der damit zusammenhängende Kapitaldienst ursächlich dafür verantwortlich sind, dass der Einsatz der EWP mit höheren Gesamtkosten behaftet ist. Obwohl die "verbrauchs- und betriebsbedingten Kosten" sowie die "*spezifischen* verbrauchs- und/oder



betriebsbedingten Kosten" gleich groß oder niedriger sind, kann man bei den EWP-Anlagen im Vergleich zur Öl-Zentralheizung unter Rentabilitätsaspekten von eindeutig kostenintensiveren Anlagen sprechen.

## 10. Zusammenfassung

An dieser Stelle ist es sinnvoll und zweckmäßig, auf den Ausgangspunkt unserer Überlegungen zurückzublicken und nach der Darstellung der Untersuchung das Ergebnis zusammenzufassen. Wir sind von der Notwendigkeit der Gewinnung regenerativer Energien ausgegangen und haben daran für die Verwendung regenerativer Energien folgende Forderungen angeknüpft:

"Der Einsatz als Energiebeschaffer ist für alle Varianten, die uns die Natur zur Verfügung stellt, grundsätzlich denkbar, jedoch müssen wir mit unserem Wissensstand und unserer Kreativität Möglichkeiten finden, vielfältige Varianten zur Verwendung regenerativer Energien einsetzen und prüfen zu können; dabei müssen wir, um eine objektive Bewertung des Baukörpers in seiner Gesamtheit zu ermöglichen, mit Hilfe der wissenschaftlichen Analyse prüfen, ob die planerischen Überlegungen zur stimmigen Konfiguration von Gestaltung, Konstruktion und energetischen Funktion den auf wissenschaftlicher Grundlage entwickelten Kriterien standhalten" (S. 6).

Die in Kapitel 2 dargestellte Bandbreite von unterschiedlichen Realisierungen der Integrationsforderung hat dazu beigetragen, die These der Integration von Gestaltung, Konstruktion und Energienutzung an konkreten Beispielen explizit vorzustellen. Dabei hat sich herausgestellt, dass diese These in den vorliegenden Fällen durchaus eine Basis der objektiven Beurteilung darstellt. Die lässt sich wie folgt formulieren: "Um eine objektive Bewertung zu ermöglichen, ist die Integration von bautechnischen Funktionen (Konstruktion), von ästhetischen Forderungen (Gestaltung) und energetischen Funktionen (Verwendung regenerativer Energien) zu gewährleisten... . Die Qualität der Integration zeigt sich in der Vielfalt und Mannigfaltigkeit eines solchen Beziehungsgefüges, das auf den unterschiedlichen Bezugsebenen zwischen dem Einzelnen und dem Ganzen erreicht wird. Bei der Integration gilt es, eine Abstimmung zu finden zwischen den energetischen Erfordernissen eines Systems, den konstruktiven Funktionen, die von einem Gebäude und seiner Hülle erfüllt werden müssen, und gestalterischen Anforderungen, die an das Innere und Äußere des Gebäudes gestellt werden.

Eine gelungene Integration zeichnet sich demnach dadurch aus, dass die drei Bezugsebenen

- die bautechnische,
- die energetische und
- die gestalterische

gleichwertig und gleichrangig berücksichtigt werden und als Ergebnis zu einem harmonischen Ganzen führen" (S. 21f.).

### **10.1 Konstruktion / Bautechnische Bezugsebene**

Die Konstruktion für das Regionalzentrum Brechten erfüllt die Forderung, den Bewitterungsschutz zu sichern. In Brechten wird dies durch die Kaltdach-Konstruktion ausgeführt. Der belüftete Dachraum wird zum nutzbaren Innenraum im unteren Bereich der Dachbinder gedämmt. Um diese eingebrachte Wärmedämmung vor Bewitterungseinflüssen (z. B. durch seitlich einfallenden Regen/Schnee) zu schützen, ist eine seitliche Blende erforderlich (Attika). Für die Begründung der ausgewählten Materialien der Blende wird hier auf die Darstellung in Kapitel 5.5 verwiesen. Die hier angewandte Schrägverstellung in Höhe von 75° hat erhebliche Vorteile. Diese zeigen sich erstens in der besseren Hinterlüftung der Blende durch die entstehende Kaminwirkung und zweitens in der optimierten Nutzung der direkten Sonnenstrahlen, vor allem im Winterhalbjahr.

Um im Regionalzentrum Wambel den für die Außenluftzuführung notwendigen Ventilator zu installieren, wurde eine Mauerdurchführung im Brüstungsbereich hergerichtet.

In diese Durchführung wurde der elektromotorisch betriebene Ventilator montiert. Die angesaugte Außenluft wird über die Wärmeplatten des Heizungsradiators erwärmt und in den Innenraum geführt. Um den Belüftungsschutz und den Schutz vor Insekten zu gewährleisten, wurden Filter und Absperrjalousien

sien unterhalb der Außenfensterbank montiert. Die Fensterbank wurde vertikal mit einer Blende zur Überdachung der Filter verlängert.

## 10.2 Verwendung regenerativer Energie / Energetische Bezugsebene

In Brechten erfüllt die Dachabschlussblende (Attika) den Wärmegewinnungsprozess: Erster Schritt des Wärmegewinnungsprozesses. Die Dachrandblende nimmt die Außenlufttemperatur an. Die oben bereits beschriebene (s. Kapitel 10.1) Schrägstellung der seitlichen Attikablende erhöht die Wirkungsweise der Absorberflächen. Die Schrägstellung von 75° ergibt sich v. a. durch die direkte Sonnenstrahlung der Wintersonne.

Durch die Sole, welche die Absorber durchfließt, wird die aus der Außenluft gewonnene Wärme zur EWP transportiert. Die EWP entzieht der Sole die Wärme. Diese wird zur Aufheizung des Heizungswassers für die Fußbodenheizung genutzt.

In Wambel wird die erwärmte und verbrauchte Innenraumlufte durch ein Abluftsystem abgesaugt und der EWP zugeführt. Die gewonnene Abluftwärme wird durch den Einsatz einer EWP zur Aufheizung des Heizungswassers genutzt. Die durch die Ventilatoren angesaugte Außenluft wird mittels des aufbereiteten Heizungswassers erwärmt und in den Innenraum geführt.

## 10.3 Gestaltung / Gestalterische Bezugsebene

Das zu belüftende Kaltdach Regionalzentrum Brechten zwingt den Planer zu einer Abdichtung der seitlichen Konstruktion des Dachaufbaus einschließlich der Unterkonstruktion. Im vorliegenden Fall fiel die Entscheidung zu Gunsten einer umlaufenden Blende aus Kupfer. Diese Blende wurde in ein proportionales Verhältnis zum Außenmauerwerk des eingeschossigen Gebäudekörpers gesetzt. Diese Proportionierung kann nach verschiedenen Schnittmustern erfolgen (s. Lehre der Proportionen<sup>[37]</sup>). Hier wurde das Verhältnis 1:2 gewählt. Die Formgebung dieser Blende erfolgt zunächst aus konstruktiven

und energetischen Gründen (wie unter 10.1 und 10.2 beschrieben). Sie verleiht dem Gebäude zudem eine eigenständige Charakteristik.



Abb. 11.12: Standardisierte Attikablende eines Kaldaches mit einer Eternit-Verblendung in verschraubter Ausführung, in Dortmund. Foto: W. Wagner



Abb. 11.13: Standardisierte Attikablende eines Kaldaches mit einer Kupferblende in Stehpfalzausführung, in Dortmund. Foto: W. Wagner



Abb. 11.14: VEW-Regionalzentrum Brechten: Attikaelement der Fa. Kabelmetal mit Sole-Mittel-Flussrohrbahnen als Absorberelement und Kaldachblende. Foto: W. Wagner

Die nachdunkelnden und Patina ansetzenden Kupferbleche geben die Vorgabe für die weitere farbliche Gestaltung des Gebäudes. Die Farbgestaltung der Fassadenrahmen und des Außenputzes wurde so angepasst, dass ein harmonisches Farbbild entstand: Kupferbraun-Weinrot-Cremeweiss.

Der Standort der eingesetzten Lüfter im Bereich der Fensterbrüstung wird im Regionalzentrum Wambel bestimmt durch die Steuerung der innenliegenden Heizkörper; deren Position ist wiederum abhängig von der Lage der Fenster in der Fassade.

Um eine mit Löchern versehene Fassade zu vermeiden, wurden Maßnahmen ergriffen, um den Schutz vor Bewitterung und Insektenbefall zu gewährleisten. Zu diesem Zweck wurden Blechkästen im Anschluss an die Außenfensterbank montiert.

Fenster, Fensterbank und Abdeckkasten bilden optisch eine Einheit. Dieses Element ermöglicht die Strukturierung der Fassade (Abb. 11,15).



Abb. 11.15: VEW-Regionalzentrum Wambel: Fensterelement mit Zulufffensterbankkasten. Foto: W. Wagner

#### **10.4 Integration von Gestaltung, Konstruktion und energetischer Funktion**

Die drei Funktionen sind, wie die Detailanalyse ergeben hat, miteinander verschränkt. Die planerischen Überlegungen und Entscheidungen in einem dieser drei Sektoren, haben die Funktionen der anderen beiden mit berücksichtigt. Die Qualität der o. a. Verschränkung ergibt sich daraus, dass kein Bereich dominant ist oder fehlt. Die Entscheidungen in den drei Bezugsebenen sind so gefallen, dass sie alle gleichwertig und gleichrangig berücksichtigt worden sind.

Der Anspruch der Integration ist somit nachgewiesenermaßen in den Beispielen Brechten und Wambel erfüllt.

## 11. Konsequenzen für die Planung

### Zur Übertragbarkeit: Individuelle Lösungsansätze und Stufen der Prozessbegleitung

Die Anwendung von unterschiedlichen Energiegewinnungsträgern ist immer möglich, wenn sie in ein frühes Planungsstadium zur jeweiligen Maßnahme impliziert wird. Universal gültige Lösungen sind nicht existent; es sind individuelle Lösungsansätze unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen eines Planungskonzeptes zu entwickeln. Neue und erweiterte ästhetische Akzente an Baustrukturen sind sinnvoll zu einzubeziehen.

Die Begründung dafür, dass es sinnvoll und zweckmäßig ist, das Konzept jeder einzelnen Anlage individuell zu planen, liegt in der Unterschiedlichkeit der verschiedenen Bedingungsfelder, z. B.

- in individuellen Forderungen der Bauherren,
- in planungsrechtlichen Vorgaben,
- in topographischen Bedingungen,
- in der Eigenart der Grundstückslage,
- in der Preisentwicklung von Heizöl und Gas und
- insbesondere in der Kostenstruktur für die Bereitstellung von elektrischem Strom für die Funktion von EWPs.

Da es immer - wie mehrfach betont - um individuelle Lösungen geht, wird der Schwerpunkt der Darstellung auf den Planungsprozess gelegt.

Der Planer sollte sich in seinem Entwurfsprozess über mögliche Alternativen zur ökologischen Verwendung von Energieträgern ein Szenario entwickeln, das die bautechnischen, gestalterischen und energetischen Forderungen reflektiert und nach Möglichkeiten sucht, die integrative Konfiguration der drei Bestandteile deutlich werden zu lassen.

Nach der Organisation aller funktionalen Forderungen, die in einem ersten Entwurf Niederschlag gefunden haben, sollte in einem nächsten Schritt der energetische Bedarf des Gebäudes ermittelt werden, um abfolgend unterschiedliche Energiegewinnungsvarianten, die in das Planungskonzept passen könnten, zu prüfen. Daraus ergeben sich konstruktive und gestalterische Erfordernisse, die eine Systemvariante präferieren können.

Im Einklang dieser Grundentwicklung lässt sich dann ein regeneratives Energiegewinnungsverfahren entwickeln, das sowohl in ökologischer Hinsicht als auch in Anbetracht der ästhetischen und konstruktiven Forderungen zu einem ansprechenden Gesamtbauwerk beitragen kann.

Um den Prozess der Planung zu strukturieren, ist als Checkliste folgender Fragenkatalog hilfreich:

- Welche Faktoren begründen bzw. bestimmen die bisherige Planung?
- Bestehen Randbedingungen, die eine häufigere und effektivere Verwendung von Nutzmöglichkeiten verhindern?
- Ermöglichen andere Verfahrensweisen bzw. Alternativen im Umgang mit dieser Problematik einen "besseren" bzw. angemesseneren Leistungsansatz?
- Wie hoch ist der energetische Bedarf des Gebäudes?
- Welche unterschiedlichen Energiegewinnungsvarianten sind zu prüfen, die in das Planungskonzept passen?
- Welche Indikatoren ermöglichen Planungsvarianten auf der bautechnischen, gestalterischen und energetischen Bezugsebene?



- In welcher Weise sind die gestalterischen Forderungen mit den bautechnischen und energetischen Funktionen konkret aufeinander abgestimmt worden?
- Inwieweit hält die Planung der Prüfung stand, ob einer der Faktoren der Integration (Gestaltung / Konstruktion / Energienutzung) bei der planerischen Überlegung dominant ist oder vollständig fehlt? Sind alle drei Bezugsebenen gleichwertig oder gleichrangig berücksichtigt worden?

Alle individuellen Lösungsansätze sind von allgemeinen Entwicklungen abhängig. Eine Vergleichbarkeit in gewissen Grenzen ergibt sich immer dann, wenn die Eckpunkte der Lösungsansätze vergleichbar sind. Hier stellt sich die Frage, welche Entwicklungstendenzen sich für diese Eckpunkte in den nächsten beiden Jahrzehnten voraussichtlich abzeichnen könnten. Diese Prognose soll im letzten Kapitel annäherungsweise dargestellt werden.

## 12 **Ausblick: Die weitere Entwicklung in der Wirtschaft, der Gesellschaft, der Politik und der Forschung**

Als eine der vordringlichsten Herausforderungen der nächsten Jahrzehnte ist die energiewirtschaftliche Aufgabe zu sehen, welche das Energiesparen, den Einsatz fossiler Ressourcen durch erneuerbare Energien sowie die Energieeffizienz kombiniert<sup>[38]</sup>. Diese Aufgabe wird nicht nur durch freiwillige Vereinbarungen von Seiten der Industrie und des Endverbrauchers auf Einsparungen, sondern auch durch gesetzliche Regelungen beeinflusst; sie hängt ebenso von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, von strukturellen Veränderungen, von technischen Einsparpotentialen und Innovationen und nicht zuletzt von den Energiepreisen ab<sup>[39]</sup>, die im Extremfall dazu führen können, dass die gesetzten Ziele nicht oder nur mit erheblichem zusätzlichem Aufwand erreicht werden können<sup>[40]</sup>. Diese Unsicherheiten und Unwägbarkeiten resultieren nicht aus der energiewirtschaftlichen Entwicklung oder aus umweltpolitischen Maßnahmen allein, sondern sind im Wesentlichen das Ergebnis weltwirtschaftlicher<sup>[41]</sup> oder binnenwirtschaftlicher<sup>[42]</sup> Einflussfaktoren. Damit wird deutlich, dass die energiewirtschaftliche Herausforderungen nicht nur eine nationale Problemlösung erfordern<sup>[43]</sup>, sondern zu regionalen, internationalen und globalen Regelungen führen und hinführen müssen<sup>[44]</sup>.

Zudem hat seit dem Bericht der Bruntland-Kommission 1987 die Diskussion in der nationalen und internationalen Politik um einen wesentlichen Aspekt zugenommen: um die "Nachhaltigkeit" der Entwicklung des Energiesystems<sup>[45]</sup>. Der Begriff umfasst nach heutigem Verständnis drei Dimensionen: Die Erhaltung und schonende Nutzung der natürlichen Lebensgrundlagen sowie die wirtschaftlich und sozialverträgliche Entwicklung. Ziel einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung ist es, die lebensnotwendigen Funktionen und den immateriellen Wert von Natur auf Dauer zu erhalten. Dies schließt ein, dass die wirtschaftlichen und sozialen Lebensbedingungen heute und zukünftig lebender Menschen auf der Erde abgesichert bzw. entsprechend ihrer jeweiligen Bedürfnisse verbessert werden können. Die wirtschaftliche Dimension hat für das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung die besondere Bedeutung, die Grundbedürfnisse und den Wunsch nach einem besseren

Leben einer wachsenden Weltbevölkerung<sup>[46]</sup> befriedigen zu können. In der sozialen Dimension des Nachhaltigkeitskonzeptes kommt dem normativen Prinzip der Gerechtigkeit eine besondere Bedeutung zu. Dabei bilden die Absicherung von Grundbedürfnissen und ein gesichertes Existenzminimum zentrale Elemente. Die Lösungsansätze und -wege sind in der Diskussion, die Realisierung ist ein langfristiger Prozess.

Derzeit geben die Umweltauswirkungen der Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen wie Metalle, Mineralien und fossile Brennstoffe mehr Anlass zur Sorge als ihre mögliche Knappheit. So sind bei fossilen Brennstoffen heutzutage eher die aus ihrer Nutzung resultierenden Treibhausgase ein akutes Problem als die Gefahr der Erschöpfung der Vorkommen<sup>[47]</sup>. Die Umsetzung neuer Politiken und die Anpassung bestehender Konzepte zur Erreichung der notwendigen Entkoppelung von ressourcenbezogenen Umweltauswirkungen und Wirtschaftswachstum ist nach Meinung der EU-Kommission ein langfristiger Prozess<sup>[48]</sup>. Die Beziehungen zwischen Ressourcennutzung und Umweltauswirkungen seien gegenwärtig nur teilweise bekannt. Zudem veränderten sie sich mit der Zeit, z. B. infolge technischer und sozialer Entwicklungen. Auch Unterschiede bei regionalen Gegebenheiten seien zu berücksichtigen. Unternehmer, Verbraucher und Institutionen benötigen somit Zeit für die Entwicklung schonender Produktions- und Verbrauchsmuster, sie benötigen jedoch auch öffentliche Politiken mit klaren, langfristigen Zielsetzungen, um Investitionen zu planen und Neuerungen einzuführen. Die EU-Kommission spricht hier von einem Zeithorizont von 25 Jahren.

Bei den aufgeführten bzw. kurz angerissenen Erfordernissen und Belastungen, Unsicherheiten und Unwägbarkeiten, Verwicklungen und Einbindungen des Energiesystems im nationalen, internationalen und globalen Rahmen sowie in den verschiedenen Dimensionen ist eine Prognose seiner konkreten Entwicklung nahezu unmöglich<sup>[49]</sup>. Als kleinere, jetzt einsatzbereite, brauchbare Möglichkeit energiewirtschaftlichen Handelns bietet sich der Einsatz von Technologien an, die zurzeit eine deutlich effizientere Nutzung der Primärenergieträger gewährleisten, wobei diese sowohl bei Neuinstallationen als auch bei der Energieoptimierung bereits bestehender Anlagen zum Einsatz

kommen können. So kann bei unverändertem Energiebedarf eine Herabsetzung des Primärenergieeinsatzes erzielt werden. Diesen Technologien sind u. a. die EWP's zuzuordnen.

Auch wenn die Investitionskosten heute immer noch über denen einer Gasheizung liegen, kann hier unter bestimmten Voraussetzungen bzw. entsprechenden Rahmenbedingungen der Energiekostenvorteil bereits die höheren Aufwendungen für den Kapitaldienst kompensieren. Ebenso gilt: Die EWP ist ein energiesparendes und umweltschonendes Heizsystem, das den gleichen Komfort bietet wie konventionelle Heiztechniken. Die EWP stellt eine Möglichkeit zur Nutzung der regenerativen Energiequellen dar, ist jedoch keine Technik, bei der allein die Qualität des Aggregates für die gesamte Effizienz entscheidend ist.

Die unterschiedliche Nutzungsanlagentechnologie, bedingt durch die Nutzung verschiedener Wärmequellen (Abluft aus verschiedenen Räumen — Außenluft, Sonne, Regen, Wind) unter Berücksichtigung der Wärmeverteilungssysteme und der Systemwirkung, ist ebenso ausschlaggebend für die Effizienz, da alle vorgenannten Parameter maßgeblichen Einfluss auf die Leistungszahl solcher Systeme haben.

Durch wissenschaftliche Untersuchungen von Demonstrationsmaßnahmen müssten zunächst jedoch eine in größerer Anzahl von ausgeführten Objekten auch die Bestwerte von Jahresarbeitszahlen um 3,0 - 4,0 in der Praxis nachgewiesen und publiziert werden<sup>[50]</sup>; dabei würden die Rahmenbedingungen deutlich. Ebenso sind entsprechende bundesweite Schulungsprogramme für das Handwerk und die Ingenieure erforderlich, ähnlich dem Impulsprogramm der Schweiz.

Ohne solche Anstrengungen dürfte es bei den heutigen Zuwachszahlen bleiben, die energiepolitisch nicht von Bedeutung sind. Würden die Energiegewinnungsmaßnahmen durch weitere Neubauprojekte stärker am Markt etabliert, wäre ein positiver Entwicklungseffekt in Hinsicht auf zukünftige Investitionen in dieser Technologie zu erwarten.

Um die konkreten Planungsentscheidungen begründet treffen zu können, bedarf der Planer auch der Unterstützung durch die Forschung. Hier sind als Desiderate anzuführen:

- Systeme der Verwendung regenerativer Energien, welche architektonisch integriert sind.
- Entwicklung von Prinziplösungen der architektonischen Integration von Systemen der Verwendung regenerativer Energien.
- Grobe Kennwerte für energetische Effizienz.
- Grobe Kennwerte für Wirtschaftlichkeit.

Die Kennwerte sollten eine große Bandbreite unterschiedlicher Rahmenbedingungen berücksichtigen.

A 1	Beschreibung der VEW-Regionalzentren Brechten und Wambel	98
A 2	Anmerkungen	103
A 3	Literaturverzeichnis	106
A 4	Abbildungsverzeichnis	118
A 5	Tabellenverzeichnis	126
A 6	Abkürzungen	127

## **Anhang 1: Beschreibung der untersuchten Beispiele aus dem Bereich der VEW-Regionalzentren**

Der Terminus Betriebsstellen ist durch die Neuorganisation in den Jahren 1997/1998 einem Neukonzept gewichen. Die VEW richtete Regionalzentren ein.

In den Regionalzentren vereint VEW (inzwischen RWE Energie AG) den elektronischen Bereich, den gastechnischen Bereich und den Verkaufsbereich.



Abb. 12.1 : VEW-Regionalzentrum Brechten, Hauptansicht, Foto: W. Wagner

### **Regionalzentren im VEW-Netz**

Die VEW (inzwischen RWE Energie AG) betreiben im Versorgungsnetz Regionalzentren, um im geographisch bedingten 10-kV-Netz der einzelnen Bezirksdirektionen das 10-kV-Netz betreuen bzw. instand halten zu können. Innerhalb der VEW Organisationsstruktur gibt es vier Bezirksdirektionen (Dortmund, Münster, Arnsberg, Bochum), die aufgrund ihrer unterschiedlichen Flächenausdehnung des ihr zugeordneten Versorgungsgebietes eine unterschiedliche Anzahl von Regionalzentren betreiben müssen.

Die Regionalzentren werden an strategisch günstigen Orten des zugeordneten Versorgungsbereichs innerhalb der Bezirksdirektionen betrieben. Die zuständige Organisationseinheit für den Betrieb des Regionalzentrums sind der elektronische und der gastechnische Bereich.

## **Aufbau der Regionalzentren**

Die Struktur der Regionalzentren gliedert sich in einen Administrativ-, einen Logistik- und einen Sozialbereich. Die Anzahl der Mitarbeiter, die in einem Regionalzentrum Unterkunft fanden, schwankte zwischen 10 und 18 Mitarbeitern; dies ist wiederum von der zu versorgenden Fläche und der Dichte der Abnehmer im Netz abhängig.

Die Mitarbeiter setzen sich wie folgt zusammen:

1 Meister

1 Stellvertreter

8 – 16 Elektrotechniker / Gastechner.

## **Administrativer Bereich**

Für die verwaltungstechnische Abwicklung in einem Bezirk (Zuordnung der Versorgungsfläche) sind mehrere Büroräume erforderlich: eine Plankammer zur Lagerung von Planunterlagen der Netzdokumentation für das zugeordnete Quartier, ein Meisterbüro, ein Zentralbüro (ständig besetzt) als Leitzentrale für die Arbeitsabwicklung und Koordination von Starkstromschaltungen. Die Größe der Büros liegt bei 16 - 20 m<sup>2</sup>. Die Plankammer benötigt ca. 20 – 25 m<sup>2</sup>, das Zentralbüro ca. 20 m<sup>2</sup>. Alle Büros sind mit Schreibtischen und Schränken möbliert, sie sind netzverkabelt und im Rahmen der Arbeitsstättenrichtlinien belichtungstechnisch ausgestattet. Im Meisterbüro ist eine große Wandfläche erforderlich, die ein Schaltbild (Wandtafel) des Strom- / Gasnetzes darstellt.

## **Logistischer Bereich**

Die Mitarbeiter im Netzbereich benötigen Lagermaterialien, die zur Reparatur von netztechnischen Einrichtungen gebraucht werden. Eine Lagerfläche von ca. 80 – 100 m<sup>2</sup> wird durchschnittlich benötigt. Diese Lagerfläche gliedert sich in ein Fein- bzw. Groblager. Sie sind als eigenständige Räume ausgebildet; die Trennung zwischen ihnen kann auch durch eine Metallgitterverschränkung ausgeführt sein.



Eine Werkstatt für Kleinreparaturen mit einer Größe von ca. 25 m<sup>2</sup> dient den Technikern zur Vorbereitung von netztechnischen Reparaturen. Werkbänke sowie fest installierte Dreh- und Bohrmaschinen sind Grundbestandteile.

Ein Trockenraum für die Trocknung von Nasszeug (Wetterkleidung) ist erforderlich. Es sind Hänge- und Stehgerüste montiert an/auf denen Stiefel bzw. die Nasskleidung zum trocknen aufgehängt ist.

Garagen in unterschiedlicher Anzahl, die für die Aufnahme von Kleintransportern mit einem Dachträger dienen, ergänzen den logistischen Bereich.

### **Sozialer Bereich**

Den Mitarbeitern stehen in diesem Bereich Umkleieräume zur Verfügung, in denen für den Mitarbeiter zwei Standardspinde bereitgehalten werden. Die Anzahl der Mitarbeiter beeinflusst den Flächenbedarf, der zwischen 30 und 50 m<sup>2</sup> schwankt.

Im Anschluss an die Umkleieräume folgt der Sanitärteil, in dem WC-Anlagen sowie Wasch- und Duscmöglichkeiten geschaffen sind; die Anzahl dieser Nutzungsvarianten wird über die Arbeitsstättenrichtlinien geregelt.



Abb. 12.2: VEW-Regionalzentrum Wambel, Haupteingang. Foto: W. Wagner

Alle Mitarbeiter müssen täglich einen Arbeitsbericht verfassen, der den Ablauf eines jeden Tages dokumentiert. Für diese Aufgabe steht der Aufenthaltsraum zur Verfügung. An dieser Stelle nimmt der Betriebsstellenmeister die Einteilung der Tagesaufgaben für seine Mannschaft vor. Für pausen- und freizeitorientierte Belange kann ebenfalls dieser Raum genutzt werden. Jeder Aufenthaltsraum ist mit einer Pantry-Küche sowie einer Tisch/Bestuhlung ausgestattet. Der Platzbedarf schwankt zwischen 25 und 40 m<sup>2</sup>. Eine gute Belichtung ist erforderlich, da sie das Arbeitsklima positiv beeinflusst.

### **Einbindung in den Versorgungsbereich des Unternehmens**

Die Versorgung mit Strom, Wasser, Gas, Fernwärme und Telekommunikation zieht Projekte wie die der Regionalzentren nach sich. Innerhalb von Städten und Gemeinden werden Versorgungsbereiche festgelegt, die durch ein Regionalzentrum als Zentrum der Überwachung und Instandhaltung des Netzes funktionsfähig gemacht werden. Es besteht die Zielsetzung, diese Organisationseinheit des Versorgungsunternehmens so zu platzieren, dass von ihr eine möglichst geringe Belastung für das vorgeprägte Quartier ausgeht.

### **Einbindung in übergeordnete Zielvorgaben**

Sind Festlegungen eines Standortes verbindlich zu treffen, orientiert sich die Baustruktur eines Regionalzentrums an den Vorgaben, die der Bebauungsplan formuliert. Sollte kein Bebauungsplan existieren, wird das Neubauobjekt in seiner gesamten Gestaltung der vorhandenen Bausubstanz folgen und Anlehnung suchen.

Die Einbindung von gewerblich genutzten Gebäuden in ein vorgeprägtes Quartier innerhalb des Versorgungsgebietes einer Stadt bzw. Gemeinde stellt sich nicht immer einfach dar. Insbesondere dann nicht, wenn der Gewerbebau in einem allgemeinen Wohngebiet (WA) oder gar in einem reinen Wohngebiet (WR) platziert werden muss. In Gebieten dieser Qualitätseinstufung ist für die Einrichtung von funktionalen Bauten der Energieversorgung

ein hohes Maß an städtebaulich reflektierter Planung erforderlich. "Die Gemeinde übt ihre Planungshoheit durch die Instrumente der Bauleitplanung aus. Zu nennen sind der Flächennutzungsplan als vorbereitender Bauleitplan und der Bebauungsplan als verbindlicher Bauleitplan § 1 ff BauGB".

Die Bauleitplanung bildet in der Planungshierarchie die unterste Stufe. Zu berücksichtigen sind deshalb die Zielvorgaben der Raumordnung, der Landesplanung und der Regionalplanung.

## Anhang 2: Anmerkungen

- [1] Schlaich, S. 10ff.; Esso Energieprognose 2001, S. 1ff.; zu unterscheiden sind bestätigte (konventionelle) Reserven sowie Ressourcen; s. auch Reichweite der Vorräte (ebda.); Zischka, S. 467ff.
- [2] Schlaich, S. 24; Kleinwächter in: Internationales Designzentrum Berlin, S. 11ff; Behling, S. 22ff.
- [3] Esso Energieprognose 2001, S. 2; Schlaich, S. 40ff.
- [4] BMU 1999, S. 21ff. und S. 46ff.; Forschungszentrum Jülich, S. 10ff.; Enquete-Kommission, S. 27ff.; European Commission (EU) S. 4ff.; BMU 2002, S. 1ff.; Kyoto-Protokoll, bes. Artikel 2.
- [5] Schulze Darup, S. 26; S. 31; Schlaich, S. 20f; BMU 1999, S. 1ff.; Esso Energieprognose 2001, S. 2f.; Forschungszentrum Jülich, S. 4ff.; RWI, S. 1ff; kritischer Hinweis von Ziesing, S. 120f. und vor allem bei den Aussagen der Modellrechnungen von Gerdey, S. 9ff.
- [6] Vgl. auch EEG 2000.
- [7] RWI, S. 1/3; Gerdey, S. 23.
- [8] Vgl. besonders BMU 2002, S. 4ff.
- [9] Schulze Darup, S. 360.
- [10] z. B. Compagno; Herzog; Kerschberger; Marco / Braun; Rexroth; Hawkes / Forster; Jungk / Filmer; Hagemann; Behling; Glasmalerei Peters.
- [10a] REN-Richtlinie 2004, Punkt 2.9.2, S. 2.
- [11] zu Mont Cenis: Entwicklungsgesellschaft Mont-Cenis; Lebens (Hrsg.).
- [11a] Compagno, S. 111f.
- [12] Eine Menge von Beispielen, bei denen sozusagen auf der entgegen gesetzten Seite die Komponente Gestaltung eindeutig dominiert, wird von M. Schulz ("Leben im Schwitzkasten") kritisch kommentiert.
- [13] s. Anhang 7.
- [14] Beschreibung der beiden ausgewählten Regionalzentren: s. Anhang 1.
- [15] Bundes Bau Blatt 8/1999, S. 71ff.
- [16] Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 580ff.

- [16a] Bundes Bau Blatt 8/1999.
- [17] Pfaffenberg / Hillen, S. 1-6.
- [18] Pfaffenberg / Hillen, S. 3-21.
- [19] VDI-Nachrichten, S. 18ff; Bundes Bau Blatt 8/1999.
- [20] Marco / Braun, S. 1/2.
- [20a] Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 586, S. 989.
- [21] Kabel- und Metallwerke, S. 7, S.9.
- [22] DIN V 4108; Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 144.
- [23] Schulze Darup, S. 320ff; Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 583.
- [24] Norm VDI Richtlinie 2067 Teil 1; Recknagel /Sprenger / Schramek, S. 620.
- [25] Bei den Werten handelt es sich um Messergebnisse der VEW AG Bezirksdirektion Dortmund, Abt. Anwendungstechnik – DO VKA, die an der Bezirksdirektion Dortmund-Brechten in der Zeit von 1988 – 1989 mittels Messcomputer IMC 2000 aufgezeichnet und erfasst wurden.
- [26] Kälte Fedder GmbH ((Hrsg.); RWE Energie AG (1996).
- [27] Die Vorbemerkungen 7.2.1 und 8.2.1 werden aus Gründen der Gegenüberstellung der beiden VEW-Regionalzentren für Brechten und Wambel identisch dargestellt.
- [28] Norm VDI Richtlinie 20 67 Teil 1; Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH.
- [29] VEW Elektrotechnik ET (1980), S. 27.
- [30] DIN 47 01, Teil 1.
- [31] RWE Energie AG (1996).
- [32] Wirtschaftsministerium Düsseldorf, Enquete-Kommission; Esso Energieprognose 2001; Forschungszentrum Jülich, S. 4f; Enquete-Kommission, S. 4; European Commission (EU), S. 21f; Gerdey, S. 9f.
- [33] DIN V 4108 - 7.
- [34] Schulze Darup, S. 320ff; Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 583.
- [35] Stoy, S. 412.

- [36] Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 604.
- [37] Koch, S. 467f.
- [38] Hierzu und zu der folgenden Darstellung: Esso Energieprognose 2001; Schlaich; BMU 1999; Forschungszentrum Jülich; Enquete-Kommission; European Commission (EU); BMU 2002; Kyoto-Protokoll; Ziesing; Gerdey u. a. .
- [39] Pfaffenberg / Hillen, S. 4-1, bes. S. 10-5.
- [40] V. a. Gerdey, zu den Politikszenerarien: S. 190ff.
- [41] RWI, S. 25ff.
- [42] RWI, S. 28ff.
- [43] BMU 2002, S. 9ff.
- [44] European-Commission (EU); Kyoto-Protokoll.
- [45] BMU 1999, S. 46; BMU 2002, S. 1ff; European-Commission (EU), S. 4/6; Forschungszentrum Jülich, S. 8; Schlaich, S. 20f, S. 24.
- [46] Schlaich, S. 25, S. 30ff.
- [47] Forschungszentrum Jülich, S. 8; Schlaich, S. 20f, S. 24.
- [48] European-Commission (EU), S. 10/12.
- [49] RWI, S. 22f.
- [50] Recknagel / Sprenger / Schramek, S. 580.

### **Anhang 3: Literaturverzeichnis**

AIVC - Air Infiltration and Ventilation Centre  
Natural Ventilation,  
An Annotated Bibliography, Coventry, 1997

Baumgartner, T.  
Luftaustausch in Gebäuden,  
International Energy Agency (IEA), 1989

Basler, K. / Hofmann, E.  
Wärmepumpen im Öko-Haus,  
Zürich, 1999

Behling, Sophia und Stefan  
Sol Power – Die Evolution der solaren Architektur,  
München - New York, 1996

BINE-FIZ  
Bürger-Information Neue Energietechniken / Nachwachsende  
Rohstoffe / Umwelt, Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hsg.)  
Förderfibel Energie  
CD-ROM Energiedatenbank Volume 4, Wärmepumpen,  
Karlsruhe, 1998;  
Anlagen in aktueller CD-ROM,  
Karlsruhe, 1999

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (Hrsg.)  
Klimaschutz durch Nutzung erneuerbarer Energien,  
Berlin, 1999

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit (Hrsg.)  
Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland,  
Berlin, 2002

Boeddinghaus, G. / Hahn, D. / Schulte, B. H.  
Die neue Bauordnung NPW,  
2. Aufl. 2000

Bundes Bau Blatt 8/1999 /  
Hrsg. v. BUM Verkehr / Bauwesen / Wohnungswesen

v. Busse, H.B., Müller, H.F.O., Runkel, S.  
Photovoltaik-Integration einer neuen Technologie in die Architektur.  
Vorschungsbericht im Rahmen des EU-geförderten  
Forschungsvorhabens "eurofacade". Dortmund, 1996

Compagno, A.  
Intelligente Glasfassade,  
Basel-Boston-Berlin, 1995

DIN 4701 Teil 1  
Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden,  
Normenausschuss Bauwesen (NABau),  
Deutsches Institut für Normung e. V., 1983

DIN V 4108  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Normenausschuss Bauwesen (NABau)  
Deutsches Institut für Normung e. V., 1981

DIN Wohnungsbaunormen, Normen – Verordnungen – Richtlinien,  
Deutsches Institut für Normung e. V.,  
19. Aufl., 1991



Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH  
Abt. Wohnungswirtschaft – VPW,  
VEW-DEW Messwerte 1988 – 1992,  
Trägheitskorrigierte mittlere Tagestemperaturen in °C, o. S.

EEG – Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energie (Erneuerbare-  
Energien-Gesetz, EEG) vom 29.03.2000, BGBl, Nr. 13 vom  
31.03.2000, S. 305, Berlin, 2000

Eickenhorst, H./ Joos, L.  
Jahrbuch der Wärmerückgewinnung,  
7. Aufl. Essen, 1993

Energie 2000 Öko-Bau (Hrsg.)  
Wärmepumpen im Öko-Haus,  
Zürich, 1999

Enquete-Kommission  
Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der  
Globalisierung und der Liberalisierung – Zusammenfassung des  
Berichts, Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode, Auszug aus Druck  
Sache 14/9400, 2. Juli 2002  
Entwicklungsgesellschaft Mont-Cenis (Hrsg.)  
Fortbildungsakademie Herne, ein Sonderbericht über das Projekt,  
veröffentlicht von der Stadt Herne, 1998

Esso Energieprognose 2001  
Potential der Öl- und Gasvorräte, Exxon Mobil Central Europe Holding  
GmbH, Hamburg 2001

European Commission (EU)  
World energie, technologie and climate policy outlook 2030, Brüssel,  
2003

Forschungszentrum Jülich (Hrsg.)  
Politiksznarien für den Klimaschutz, Untersuchungen im Auftrag des  
Umweltamtes, Forschungszentrum Jülich, Jülich, 1999

Gerdey, Hans Jörg  
Implikationen unterschiedlicher Stromerzeugungsstrategien in der  
Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung des  
Klimaschutzes: Analyse mit einem Optimierungsmodell der  
Stromerzeugung, November 2001

Glasmalerei Peters GmbH (Hrsg.)  
Photovoltaik in Verbindung mit Glasgestaltung,  
Detmold, 2003

Hagemann, I. B.  
Gebäudeintegrierte Photovoltaik,  
Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle,  
Köln, 2002

Hawkes, D. / Forster, W.  
Energieeffizientes Bauen - Architektur, Technik, Ökologie  
Stuttgart-München, 2002

HLH - Heizung, Lüftung, Haustechnik  
Fachpublikation VDI, Technische Gebäudeausrüstung,  
Hamburg; 1995

HEA - Hauptberatungsstelle für Energieanwendung e. V. (Hrsg.)  
Strom hat Zukunft,  
Sonderheft zur Wärmepumpe,  
Frankfurt, 1999

Heinmann, W. (Hrsg.)  
Strom für die Stadt,  
Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH,  
Hürth, 1997

Herzog, T.  
Solar Energy in Architecture and Urban Planning,  
München - New York, 1996

Holzapfel, K.  
Wärmepumpen-Heizungsanlagen mit Drehzahlregelung,  
BMFT-Projekt 032 8856 A, 1991

IEA - Internationale Energie-Agentur  
Welt-Energie-Ausblick Schwerpunkte, Paris, 2002

Kleinwächter, J.  
In: Internationales Designzentrum Berlin (Hrsg.)  
Energien gestalten: Design, Architektur, Zukunftsforschung,  
Naturwissenschaften,  
Köln, 1990, S. 11 - 31

Jungk, R. / Filmer, W. (Hrsg.)  
Terrassenturm und Sonnenhügel,  
Internationale Experimente für die Stadt 2000,  
Düsseldorf, 1970

Kabel und Metallwerke AG (Hrsg.)  
Energie - Dach und Wand – Flächenwärmetauscher,  
Osnabrück, 1983 (Manuskript)

Kälte-Fedder GmbH (Hrsg.)  
Leistungsangaben,  
Coesfeld, 1991 (Manuskript)

Kaltschmitt, M. / Wiese, A. / Streicher, W.  
Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit,  
Umweltaspekte, 3. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York, 2003

Keller, M.  
Energetisches Verhalten von Wärmepumpen,  
in: Schweizer Ingenieur und Architekt, 11/1989, S.

Kerschberger, A.  
Solares Bauen mit transparenter Wärmedämmung,  
Wiesbaden-Berlin, 1996

Koch, W.  
Baustilkunde,  
22. Aufl., Gütersloh 2000

Kyoto - Protokoll  
Protokoll von Kyoto vom 11.12.1997 zum Rahmenübereinkommen  
der vereinten Nationen über Klimaveränderungen,  
Kyoto, 1997

Laasch, E.  
Haustechnik,  
10. Aufl. Stuttgart, 1999

Lebens, R. M. (Hrsg.)  
Passive Solar Architektur in Europe,  
London, 1980, S. 92 - 95

Leonhardt, H.  
Vergleichende Untersuchungen von Wärmepumpen- und  
Brennwertkesselheizungsanlagen,  
Sanitär und Heizungstechnik, 1996

Marko, A. / Braun, P.

Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden,  
Berlin-Heidelberg, 1997

Müller, H.F.O.:

Architektur und Photovoltaik.

Der Architekt 2/1998, S.123-127

Norm VDI Richtlinie 2067 Teil 1,

hrsg. v. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung  
Manuskript Heizung, Klima, Haustechnik, 1983

Norm VDI Richtlinie 2067

hrsg. v. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (Hrsg.)  
Wärmepumpenblatt 6,  
Berechnung der Kosten von Wärmepumpen, 1989

Paulitz, H.

Solare Netze, Neue Wege für eine klimafreundliche Wärmewirtschaft,  
hrsg. vom Institut für Regional-Ökonomie,  
Göttingen, 1997

Passivhaus-Institut (Hrsg.)

Heizung im Niedrigenergiehaus – Ein Systemvergleich,  
Darmstadt, 1998

Pfaffenberger, W.

Energiepolitische Rahmenbedingungen und Investitionen im  
Kraftwerksbereich bis 2020,  
in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 52 Jg., Heft 9, 2002

Pfaffenberger, W. / Hillen, M.

Investitionen im liberalisierten Energiemarkt:

Optionen, Marktmechanismen, Rahmenbedingungen,  
Abschlussbericht,

bremer energie institut, Bremen, 2004

Radermacher, F. J.

Balance oder Zerstörung, Ökosoziale Marktwirtschaft als Schlüssel zu einer weltweiten Entwicklung,

2. Aufl., Wien, 2002

Recknagel / Sprenger / Schramek (Hrsg.)

Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000,

70. Auflage, München – Wien, 2002

REN-Richtlinie 2004

Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher

Energiequellen, REN-Programmbereich Breitenförderung,

Rd. Erl. des Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport

des Landes NRW vom 25.02.2004

Rexroth, S.

Gestalten mit Solarzellen – Photovoltaik in der Gebäudehülle,

Heidelberg, 2002

Riedel, .M.

Analyse des Heizwärmeverbrauchs von sechs Niedrigenergie-

Mehrfamilienhäusern im Wohnpark Kraienbruch, Essen, für die

Heizperiode 1995/1996,

FH Münster, Fachbereich Versorgungstechnik, 1996

Rommel, K.

Praxis monoenergetischer Wärmepumpen

(Anhang: Messwerte Arbeitszahlen von 40 EWP mit

Jahresarbeitszahlen deutlich unter 3,5, zumeist unter 3,0)

in: Elektrowärme International, 19/1993. S.

RWE Energie AG Essen (Hrsg.)

RWE Energie Bauhandbuch

11. Aufl., Heidelberg, 1993

RWE Energie AG Essen (Hrsg.)  
Anwendungstechnik,  
Jahrbuch der Wärmerückgewinnung  
und Wärmepumpenanwendung,  
Energieflussbilder BRD,  
7. Aufl., Essen, 1996

RWI – Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung:  
Die Klimagasemission in Deutschland in den Jahren 2005/2007 und  
2008/2012, Endbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des  
Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI),  
Essen, 2003

Schäfer, H.  
Potentiale und Nutzung ständig verfügbarer Energiequellen,  
IfE Schriftenreihe Heft 1,  
4. Aufl., München, 1988 (Manuskript)

Schlaich, Jörg und Sibylle  
Erneuerbare Energien nutzen, Bevölkerungsexplosion und globale  
Umweltzerstörung,  
Düsseldorf, 1991

Schüle, R. / Ufheil, M.  
Thermische Solaranlagen,  
Marktübersicht 1994/95, Freiburg, 1995  
Schulz, M.  
Leben im Schwitzkasten,  
Spiegel Nr. 47/2004, S. 186ff

Schulz, W.  
Energieeinsparung im Wohnungsbau  
Teil 2: Kosten-Nutzen-Verhältnisse bei Investitionen in elektrische  
Wärmepumpenheizungen und in Wärmerückgewinnungsanlagen sowie

Vergleich dieser Systeme mit Wärmeschutzmaßnahmen und thermischen Solaranlagen, bremer energie institut Bremen, Bremen, 1998

Schulze Darup, B.  
Bauökologie,  
Wiesbaden-Berlin, 1996  
Stiftung Warentest  
Test Solar Kollektoren,  
Test Spezial Energie und Umwelt, 1995 (Manuskript)

Steimle, F.  
Entwicklung der Wärmepumpentechnik,  
in: Installation: (Deutsche Klempner Zeitung, Berlin)  
6/1999, S. 285 ff.

Stoy, B.  
Wunschenergie Sonne  
3. Aufl., Heidelberg, 1980

Strom statt Marmor  
Gebäudeintegrierte Photovoltaik in der Praxis,  
Fachtagung, Westfälisches Museum für Archäologie,  
27. November 2003, Herne (Manuskript)

Thomas, H. J.  
Thermische Kraftanlagen,  
Berlin - Heidelberg - New York-Tokio, 1985



VDI-Nachrichten

Die Zahl der Wärmepumpen in Deutschland stagniert,  
1999, S. 18ff

Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke Frankfurt (Hrsg.)  
Elektrowärmepumpen,  
Energie – Umwelt – Marktsituation,  
Frankfurt, 1993

VEW AG (Hrsg.)  
Mehr als Energie. Die Unternehmensgeschichte der VEW 1925 – 2000,  
Dortmund, 2000

VEW Elektrotechnik ET (1980)  
Organisationshandbuch der VEW BD Dortmund,  
1980 (Manuskript)

VEW Elektrotechnik ET (1996)  
Organisationshandbuch der VEW BD Dortmund,  
1996 (Manuskript), S. 5-20

von Cube, Hans-Ludwig / Steimle, Fritz  
Wärmepumpen Grundlagen und Praxis  
VDI Verlag, Düsseldorf 1986

Wendehorst, R. / Wetzell, O. W. (Hrsg.)  
Wendehorst Bautechnische Zahlentafeln,  
29. Auflage Stuttgart, 2000

Wirtschaftministerium NRW Düsseldorf (Hrsg.)  
3. Bericht der Enquete-Kommission,  
"Versorgung zum Schutz der Erdatmosphäre", o. J.

Wirtschaftsministerium NRW Düsseldorf (Hrsg.)  
Wärmeschutzverordnung  
in der Fassung vom 01.01.1995  
Bundesanzeiger, 1995

Wobst, E.  
Wärmepumpen im Leistungsbereich kleiner 15 kW mit alternativen  
Kältemitteln, Abschlussbericht des BMFT-Forschungsvorhabens  
032 6957 A, Institut für Luft- und Klimatechnik  
Dresden, 1997

Ziesing, H.-J.  
Nur schwacher Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2002,  
in: DiW-Wochenbericht, 8/03

Zischka, A.  
Die alles treibende Kraft,  
Heidelberg 1980

## Anhang 4: Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abb. 1	Feste Größe: erneuerbare Energien, aus: Handelsblatt vom 18.03.2004, S. 2	2
Abb. 2.1-2	Geneigte Dachflächen mit nachträglich montierten Photovoltaik-Elementen, aus: Hagemann, S.14	8
Abb. 2.3-4	Flachdach mit Photovoltaik-Elementen, Foto: W. Wagner	8
Abb. 3.1	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, Gesamtansicht des Verwaltungsgebäudes, aus: Hagemann, S. 293	9
Abb. 3.2	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, Dachaufsicht mit PV-Modulen in geneigter Aufstellung, aus: Hagemann, S. 293	9
Abb. 3.3	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, bekieste Modulträger, ebda. S. 293	9
Abb. 3.4	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, Seitenansicht der Träger mit montiertem Modul, ebda. S. 293	9
Abb. 3.5	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, Modulträger unbekiest, ebda. S. 293	9

		Seite
Abb. 3.6	Hauptverwaltung der Stadtwerke Witten, Rückansicht der PV-Module in geneigter Aufstellung, ebda S. 293	9
Abb. 4.1	Hauptverwaltung der Stadtwerke Pirmasens, Ansicht der Eingangsseite, aus: Hagemann, S. 327	11
Abb. 4.2	Hauptverwaltung der Stadtwerke Pirmasens, Detailansicht des Photovoltaik-Turmes, ebda. S. 327	11
Abb. 4.3	Hauptverwaltung der Stadtwerke Pirmasens, Eckdetail, ebda. S. 327	11
Abb. 4.4	Hauptverwaltung der Stadtwerke Pirmasens, Konstruktionsdetail, ebda. S 327	11
Abb. 5.1	Akademie Mont-Cenis in Herne, Ansicht des Haupteinganges, aus: Hawkes / Forster, S. 101	12
Abb. 5.2	Akademie Mont-Cenis in Herne, Tragwerkskonstruktion in Holzbauweise, aus: Hawkes / Forster, S. 100	13
Abb. 5.3	Akademie Mont-Cenis in Herne, Dachdetail: Stützenkopf mit Regenrinne (unmaßstäblich), aus: Hawkes / Forster, S. 100	13

		Seite
Abb. 6.1	Stadttor Düsseldorf, Gesamtansicht des Modells, aus: Herzog, S. 125	15
Abb. 6.2	Stadttor Düsseldorf, Fassadenausschnitt an einer Gebäudeecke, Foto: W. Wagner	16
Abb. 6.3	Stadttor Düsseldorf, Aktiver Sonnenschutz in Form von Jalousien, Foto: W. Wagner	16
Abb. 6.4	Stadttor Düsseldorf, Fassadendetail der Glasaußenhaut, Foto: W. Wagner	16
Abb. 7.1	DEW-Hauptverwaltung, Bauteil Turm, 1959-2003 (vor der Sanierung), aus: Heinmann, S. 7	18
Abb. 7.2	DEW-Hauptverwaltung, Bauteil Turm (nach der Sanierung), Foto: W. Wagner	18
Abb. 7.3	DEW-Hauptverwaltung, Fassadendetail der Lisenen, Foto: W. Wagner	20
Abb. 7.4	DEW-Hauptverwaltung, Fassadendetail, Foto: W. Wagner	20

		Seite
Abb. 7.5	DEW-Hauptverwaltung, Detailzeichnung: Horizontalschnitt der Doppelfassade (unmaßstäblich), Hochbauabteilung DEW	20
Abb. 7.6	DEW-Hauptverwaltung, Innenaufnahme des PAD-Fensters, Foto: W. Wagner	21
Abb. 7.7	DEW-Hauptverwaltung, Detailzeichnung: Ansicht Außenverglasung, Hochbauabteilung DEW	21
Abb. 7.8	DEW-Hauptverwaltung, Detailzeichnung: Vertikalschnitt, Hochbauabteilung DEW	21
Abb. 8	Strommarkt mit Neubau, aus: Pfaffenberger, Hillen, S. 3 - 22	31
Abb. 9.1	VEW-Regionalzentrum Brechten, Flächenwärmetauscher, Maßblatt konfektioniertes Element, aus: Kabel- und Metallwerke, S. 8	37
Abb. 9.2	Maximale tägliche (Sonnen) Einstrahlung je m <sup>2</sup> Kollektorfläche bei klarem Himmel und einer Kollektorneigung von 30° nach Süden, Angabe in kW/H m <sup>2</sup> d, aus: Schulze Darup, S. 353	38

		Seite
Abb. 9.3	Charakteristische Sonnenstrahlungsdaten, aus: RWE AG, Essen, Energie Bau-Handbuch, S. 17/5	38
Abb. 9.4	VEW-Regionalzentrum Brechten, Attikablende als Wärmetauscherfläche, Foto: W. Wagner	39
Abb. 9.5	VEW-Regionalzentrum Brechten, Detailaufnahme: Traufwasser-Auffangrinne, Foto: W. Wagner	43
Abb. 9.6	VEW-Regionalzentrum Brechten, Dachattikablende, Detailzeichnung: Querschnitt (unmaßstäblich), VEW AG BD/DO, Abt. Bautechnik	42
Abb. 9.7	VEW-Regionalzentrum Brechten, Dachattikablende, Detailzeichnung: Längsschnitt (unmaßstäblich), edba.	42
Abb. 9.8	VEW-Regionalzentrum Brechten; Montage der Attika-Konstruktion, Phase 1, Foto: VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	44
Abb. 9.9	VEW-Regionalzentrum Brechten, Montage der Attika-Konstruktion, Phase 2, Foto: VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	44
Abb. 9.10	VEW-Regionalzentrum Brechten, Gebäudequerschnitt (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	45

Abb. 9.11	VEW-Regionalzentrum Brechten, Ansichtsdetail und systematische Darstellung der Sole Mittelleitungen im Flächenabsorber (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	46
Abb. 9.12	VEW-Regionalzentrum Wambel, Detail: Zuluftventilator mit angeschlossenem Heizungsradialtor, VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	49
Abb. 10.1	VEW-Regionalzentrum Brechten, EWP, Solespeicher, Pufferspeicher; Foto: W. Wagner	50
Abb. 10.2	VEW-Regionalzentrum Brechten, Anlagenschema, VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	51
Abb. 10.3	Energiefluss in einer Öl-Zentralheizung, Schema: W. Wagner	54
Abb. 10.4	Energiefluss einer EWP (monoenergetisch), Schema: W. Wagner	55
Abb. 10.5	Geordnete Jahresdauerlinie der mittleren Außentemperaturen in Dortmund, (s. Anm. 22)	56
Abb. 11.1	VEW-Regionalzentrum Wambel, Südansicht, Foto: W. Wagner	62



		Seite
Abb. 11.2	VEW-Regionalzentrum Wambel, belüfteter Flächenheizkörper, Foto: W. Wagner	63
Abb. 11.3	VEW-Regionalzentrum Wambel, Zuluftleinheit mit Radiator (unmaßstäblich), VEW AG, BD/DO, Abt. Bautechnik	63
Abb. 11.4	VEW-Regionalzentrum Wambel, TWW-Speicher, Foto: W. Wagner	64
Abb. 11.5	VEW-Regionalzentrum Wambel, Wärmepumpenanlage, Foto: W. Wagner	65
Abb. 11.6	VEW-Regionalzentrum Wambel, Abluftrohr der Wärmepumpenanlage, Foto: W. Wagner	65
Abb. 11.7	VEW-Regionalzentrum Wambel, Lichtflur der zentralen Absaugöffnung der Abluftanlage, Foto: W. Wagner	65
Abb. 11.8	VEW-Regionalzentrum Wambel, Sozialbereich Duschraum, Absaugung, Foto: W. Wagner	66
Abb. 11.9	VEW-Regionalzentrum Wambel, Regelung der Wärmeverteilung, Foto: W. Wagner	66

		Seite
Abb. 11.10	VEW-Regionalzentrum Wambel, 3 Pufferspeicher je 700 l mit 9 kW Elektroheizflansch, Foto: W. Wagner	66
Abb. 11.11	VEW-Regionalzentrum Wambel, Anlagenschema, VEW AG, BD/DO, Abt. Energieverwendung	69
Abb. 11.12	Standardisierte Attikablende eines Kaltdaches mit einer Eternitverblendung in verschraubter Ausführung, in Dortmund, Foto: W. Wagner	88
Abb. 11.13	Standardisierte Attikablende eines Kaltdaches mit einer Kupferblende in Stehpfalzausführung, in Dortmund, Foto: W. Wagner	88
Abb. 11.14	VEW-Regionalzentrum Brechten, Kaltdach-Attika als Absorberelement, Foto: W. Wagner	88
Abb. 11.15	VEW-Regionalzentrum Wambel, Fensterelement mit Zuluftfensterbankkasten, Foto: W. Wagner	89
Abb. 12.1	VEW-Regionalzentrum Brechten, Hauptansicht, Foto: W. Wagner	96
Abb. 12.2	VEW-Regionalzentrum Wambel, Haupteingang, Foto: W. Wagner	98

## Anhang 5: Tabellenverzeichnis

		Seite
Tabelle 1	Aktuelle Jahresarbeitszahlen von monovalenten Heizungs-Wärmepumpen	28
Tabelle 2.1-2	Kostenanalyse VEW-Regionalzentrum Brecht	59
Tabelle 3.1-2	Kostenanalyse VEW-Regionalzentrum Wambel	73

## Anhang 6: Abkürzungen

### Indizes

a	- pro Jahr
AG	- Ausdehnungsgefäß
°C	- Grad Celsius
CO <sub>2</sub>	- Kohlendioxid
ct/kWh	- Kosten Wärmeerzeugung in Cent
DEW	- Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH
DIN	- Deutsche Industrie Norm
DN	- Nennweite
E	- Elektro
el.	- elektrisch
EVK	- Energieversorgungsunternehmen
EWP	- Elektrowärmepumpe
FCKW	- Fluor – Chlor – Kohlenwasserstoffe
Heizst.	- Heizstab
HR	- Hauptrücklauf
HT	- Hochtarif
HV	- Hauptvorlauf
K	- Kelvin
kg	- Kilogramm
Kond.	- Kondensator
kW	- Kilowatt
kWh	- Kilowattstunden
kWh/a	- Jahreswärmearbeit / Jahreswärmeenergie

l	- Liter
M	- Motor
m <sup>2</sup>	- Quadratmeter
m <sup>3</sup> /h	- Luftvolumenstrom, Kubikmeter pro Stunde
monoenerg.	- monoenergetisch
MW	- Megawatt
NEH	- Niedrigenergiehaus
NT	- Niedertarif
Q <sub>Nutz</sub>	- Nutzenergie
Q <sub>Pr</sub>	- Primärenergie
Pa	- Pascal
PAD	- Parallel-Aufstell-Dreh
Pkt.	- Punkt (der Gliederung)
PV	- Photovoltaik
%	- Prozent
RS/RP	- Heizungsumwälzpumpe
SV	- Sicherheitsventil
TWW	- Trinkwarmwasser
TKW	- Trinkkaltwasser
UPS	- Speicherladepumpe
VDEW	- Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke
VDI	- Verein Deutscher Ingenieure
Verd.	- Verdichter
WMZ	- Wärmemengenzähler
WP	- Wärmepumpe
WPR	- Wärmepumpenrücklauf

WPV	- Wärmepumpenvorlauf
WSchVO	- Wärmeschutzverordnung
WT	- Wärmetauscher