

48 MEUR 2 g 001

Nationalparkzentrum Multimar Wattforum
in der
Nationalparkservice gGmbH

**Umweltfreundliches Konzept zur Lüftung Kühlung und Klimatisierung einer
Umweltbildungseinrichtung
-Demonstrationsvorhaben**

Abschlussbericht über ein Demonstrationsvorhaben,
gefördert unter dem Aktenzeichen: 24729 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

vorgelegt von

Dr. Gerd Meurs-Scher, Eckehard Bockwoldt, Claus von Hoerschelmann

unter Mitarbeit von

Dipl. Ing. Sören Vollert
KAplus (Ingenieurbüro Vollert), Eckernförde

Tönning, Dezember 2011

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24729	Referat	24/0	Fördersumme	99.750,00 €
Antragstitel	Umweltfreundliches Konzept zur Lüftung, Kühlung und Klimatisierung einer Umweltbildungseinrichtung - Demonstrationsvorhaben				
Stichworte	Energie, Geothermie, Klimatechnik, BHKW				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
5 Jahre	12.7.2006	31.12.2011			
Zwischenberichte:					
Bewilligungsempfänger	NationalparkService gGmbH Schlossgarten 1 25832 Tönning			Tel	04861/9620-13
				Fax	04861/9620-10
				Projektleitung	Dr. Gerd Meurs-Scher
				Bearbeiter	
Kooperationspartner	Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz des Landes Schleswig-Holstein Innovationsstiftung Schleswig-Holstein KAplus Ingenieurbüro Vollert Bingo Umweltlotterie				

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Das Nationalpark Zentrum Multimar Wattforum ist mit durchschnittlich ca. 200.000 Besuchern pro Jahr (davon ca. 35.000 Schülerinnen und Schüler) die tragende Säule in der Informations- und Bildungsarbeit im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Unter den Rahmenbedingungen einer Bildung für Nachhaltigkeit (BNE) wurde auf der Grundlage eines Entwicklungskonzeptes für das Informationszentrum im Jahr 1994 ein dreistufiger Ausbauplan entwickelt: Nach der Eröffnung im Jahr 1999 mit dem Themenschwerpunkt „Nationalpark Wattenmeer“ erfolgte im Jahr 2003 eine erste bauliche Erweiterung (2. Bauabschnitt) mit den Themenschwerpunkt „Wale, Watt und Welt-Meere“. Im Jahr 2006 wurde eine zweite bauliche Erweiterung (3. Bauabschnitt) mit den drei Themenschwerpunkten „Wasserrahmenrichtlinie, Fischerei und Lebensraum Nordsee/ Nordatlantik“ geplant und im Jahr 2009 umgesetzt. Teil der Planungen war eine erhebliche Erweiterung der vorhandenen Aquarienanlage von ca. 150.000 l Seewasser auf mehr als 550.000 l Seewasser und 50.000 l Süßwasser. Daraus ergaben sich neue Anforderungen an die Kühl- und Reinigungstechnik, insbesondere an den Energiebedarf. Teil der baulichen Erweiterung im 3. Bauabschnitt ist ein auf den hohen Energiebedarf in der Aquarienanlage abgestimmtes Konzept zur Senkung der Energiekosten und zur CO₂ Emission. Mit diesem Projekt soll als inhaltliche Erweiterung der oben beschriebenen Ausstellungsinhalte ein nachhaltiges Energiekonzept in Teilen baulich umgesetzt und in einer gesonderten Ausstellung präsentiert werden. Besucher des Multimar Wattforum sollen so angeregt werden, sich am Beispiel der Lösungen im Multimar Wattforum mit Fragen der Energiegewinnung und -nutzung zu beschäftigen, mögliche Rückschlüsse auf den eigenen Umgang mit Energie zu ziehen und Anregungen für Änderungen im eigenen Lebensumfeld zu finden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Energiekonzept geht davon aus, dass an Stelle einer Erweiterung vorhandener technischer Lösungen folgende Teillösungen umgesetzt werden: 1. Die Nutzung der natürlichen Erdkühle (Geothermie); 2. Die Nutzung der „Freien Kühlung“ aus der Außenluft (saisonal); 3. Eine Kombination aus Absorberkälteanlage und Blockheizkraftwerk (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung); 4. Keine ausschließliche mechanische Lüftung sondern Nachrüstung einer geregelten natürlichen Lüftung im Zuge der geplanten Baumaßnahme. 5. Optimierung des Aufwand/Nutzen-Verhältnisses durch den dritten Bauabschnitt, u.a. durch energetisch hochwertige Qualität der neuen Fassade.

Die Ausstellung zur Präsentation des Energiekonzepts gliedert sich in 3 Ebenen der Betrachtung und wird neben den beschriebenen Systemkomponenten weitere Aspekte eines „nachhaltigen Betriebes“ darstellen. Auf der ersten Betrachtungsebene (Darstellung der Phänomene) wird an einem Gebäudemodell exemplarisch das Zusammenwirken der einzelnen technischen Lösungen dargestellt. Auf der zweiten Betrachtungsebene (Vertiefung durch Erfahren) wird den Besucherinnen und Besuchern die Möglichkeit gegeben, Effekte der eingesetzten Technik durch gezielte Systemmodulierung selbst zu begreifen. Auf der dritten Betrachtungsebene (Handlungskompetenz) werden Ansatzpunkte für das eigene Handeln gegeben. Das gesamte Vorhaben wird in seiner Wirkung durch eine messtechnische Begleituntersuchung über einen Zeitraum von 4 Jahren begleitet (gefördert aus Mitteln der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein). Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind Grundlage für Maßnahmen zur Optimierung der technischen Lösungen.

Ergebnisse und Diskussion

Mit der Eröffnung 2008 waren die baulichen Maßnahmen abgeschlossen. Seit 2009 befindet sich das neue Energiekonzept in der Optimierung. Dieser Prozess ist aktuell (12.2011) noch nicht abgeschlossen. Zur Dokumentation und zur Unterstützung der Optimierung wird seit 2010 eine messtechnische Begleituntersuchung durchgeführt. Diese umfasst insgesamt 32 Parameter, die über eine Gebäudeleittechnik ermittelt und kontinuierlich ausgewertet werden. Die messtechnische Begleituntersuchung wird bis zur endgültigen Optimierung des Energiekonzepts fortgeführt. Flankierend zu den Baumaßnahmen und der messtechnischen Begleituntersuchung ist 2009 eine Ausstellung zur Präsentation des Energiekonzepts eingerichtet worden. Die Ausstellung gliedert sich in drei Ebenen. Auf der ersten Betrachtungsebene, der Darstellung der Phänomene, ist an einem Gebäudemodell exemplarisch das Zusammenwirken einzelner technischer Lösungen dargestellt. Auf der zweiten Betrachtungsebene, der Vertiefung durch Erfahren, wird den Besuchern die Möglichkeit gegeben, Effekte der eingesetzten Technik durch gezielte Systemmodulierung zu begreifen. Auf der dritten Betrachtungsebene, der Anleitung zum eigenen Handeln, werden Ansatzpunkte für das eigene Leben im häuslichen Umfeld gegeben. Der vorliegende Abschlussbericht zum Demonstrationsvorhaben zur Entwicklung und Umsetzung eines „Umweltfreundlichen Konzepts zur Kühlung und Klimatisierung einer Umweltbildungseinrichtung“ hat gezeigt, dass es ein langer Weg ist von der Idee durch alternative Energiekonzepte einen Beitrag zur Reduzierung von Kohlendioxid zu leisten bis zur endgültigen Umsetzung. Erst durch eine umfangreiche messtechnische Begleituntersuchung wurde es möglich, die Ideen und ihre Umsetzung zu überprüfen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Über den Verlauf des Projekts wurde kontinuierlich in der Presse berichtet. Das neue Energiekonzept ist zudem Teil des Ausstellungsführers zum Multimar Wattforum. Spezielle Führungen, die sich mit dem Energiekonzept beschäftigen, wurden konzipiert und werden auf Nachfrage durchgeführt. Bei der „Langen Nacht im Multimar“, die im Jahr 2011 unter dem Motto „Energie“ stand, war die Vorstellung des Energiekonzepts wesentlicher Programmpunkt. Mit einer kleinen Ausstellung (Poster und Exponate) wurde das Energiekonzept u.a. beim Tag der deutschen Einheit in der Landesvertretung Schleswig-Holstein vorgestellt.

Fazit

Es wurde deutlich, dass

- im speziellen Fall die Nutzung der Geothermie zur Kühlung der Aquarien nicht geeignet ist, Energie zu sparen.
- die Umstellung der Kälteerzeugung von einer strombasierten Kompressionskältemaschine auf eine Mischung aus Freier Kühlung im Winter und Absorberkühlung über ein Blockheizkraftwerk im Sommer ein Erfolg sowohl aus betriebswirtschaftlicher Betrachtung als auch aus Klimaschutzsicht ist.
- ein erfolgreicher ganzjähriger Betrieb eines Blockheizkraftwerks möglich ist.
- Eine energetisch günstige Belüftung des Multimar Wattforum über eine natürliche Lüftung erfolgreich umgesetzt werden konnte.
- die Präsentation des Klimakonzepts in einer eigenen Ausstellung den Besucherinnen und Besuchern ein zusätzliches Themenfeld zur Auseinandersetzung mit Umweltthemen eröffnet. Gerade in geführten Präsentationen eröffnet sich so die Möglichkeit einer ganzheitlichen Betrachtung. Der technische Aspekt einer nachhaltigen Lebensführung wird deutlich.
- das Verständnis für nachhaltige Lösungen zu Energiefragen nur bei einer geringen Zahl von Planern und Umsetzern verankert ist. Ein Schwerpunkt der Ausstellung liegt daher in der Ansprache von Planungsfirmen und Bau ausführenden Unternehmen
- sich aufgrund der fehlenden Erfahrungen bei der Planung und hoher Kosten bei der Umsetzung solche Lösungen aktuell nur bedingt betriebswirtschaftlich darstellen lassen.

sich durch das Projekt eine deutliche Sensibilisierung bei den Mitarbeitern für Fragen nachhaltiger Energienutzung ergeben hat.

1	Verzeichnis von Tabellen, Abbildungen und Bildern.....	2
2	Zusammenfassung.....	5
3	Einleitung.....	6
4	Hauptteil.....	9
4.1	Energiekonzept.....	9
4.2	Messtechnische Begleitung.....	20
4.2.1	Messkonzept.....	20
4.2.2	Strom.....	25
4.2.3	Erdgas.....	27
4.2.4	Ergebnisse Wärmeerzeugung.....	28
4.2.5	Blockheizkraftwerk.....	31
4.2.6	Ergebnisse Kälteerzeugung.....	33
4.2.7	Freie Kühlung.....	35
4.2.8	Absorberkältemaschine.....	39
4.2.9	Geothermie.....	41
4.2.10	Ergebnisse Raumklima.....	42
4.2.11	Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Kälte- erzeugung.....	43
4.2.12	Zusammenfassung.....	45
4.3	Ausstellung.....	47
4.3.1	Konzept.....	47
4.3.2	Umsetzung in der Ausstellung.....	48
5	Fazit.....	56

1 Verzeichnis von Tabellen, Abbildungen und Bildern

Tabelle 1: Komponenten zur Wärme- und Kälteerzeugung im Multimar Wattforum im Bestand (1999/2003) und im dritten Bauabschnitt (2008).....	9
Tabelle 2: Darstellung aller Messgrößen.....	22
Abbildung 1: Komponenten zur Wärmeerzeugung für den Wärmebedarf im Gebäude und zur Kälteerzeugung in den Aquarien	10
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verbesserung des Verhältnisses von Gebäudeoberfläche zu Gebäudevolumen durch den dritten Bauabschnitt	13
Abbildung 3: Besucherzahlen im Multimar Wattforum im Jahresverlauf	14
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Kühlung des Großaquariums über die Pfahlgründung	16
Abbildung 5: Schematische Jahresenergiebilanz der Kühlung eine „Konventionelle Kühlung“ und der im Multimar realisierten Kühlung	17
Abbildung 6: Vergleich der CO ₂ -Emission und der Primärenergie für die konventionelle Kühlung (KKM) und die neue Kühlung (Erdkälte+KWKK).....	18
Abbildung 7: Schematische Übersicht einzelner Komponenten in der Gebäudetechnik	24
Abbildung 8: Temperaturen in den vier Aquarienkreisläufen (Quelle: Onlinezugriff Gebäudeeietechnik Multimar, 21.11.2011 15:05 Uhr).....	25
Abbildung 9: Wöchentliche Stromerzeugung durch das Blockheizkraftwerk und Strombedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2010	26
Abbildung 10: Wöchentliche Stromerzeugung durch das Blockheizkraftwerk und Strombedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2011	26
Abbildung 11: Monatlicher Strombedarf der letzten Jahre (Daten des Stromlieferanten).....	27
Abbildung 12: Jährlicher Strombezug (für 2011 hochgerechnet), nach Daten des Lieferanten (die Eigenproduktion des Blockheizkraftwerk ist bereits abgezogen).....	27
Abbildung 13: Jährlicher Gasverbrauch aus Abrechnungen, Ablesungen und Messdaten (2011 hochgerechnet)	28
Abbildung 14: Witterungsbereinigter jährlicher Gasverbrauch	28
Abbildung 15: Wöchentliche Wärmeerzeugung und Wärmebedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2010	29
Abbildung 16: Wöchentliche Wärmeerzeugung und Wärmebedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2011	29
Abbildung 17: Wöchentliche maximal auftretende Wärmeleistungen, die von jedem einzelnen Erzeuger und von allen Erzeugern gleichzeitig über einen Zeitraum von einer Stunde erbracht wurde	30

Abbildung 18: Anteile an der Wärmeproduktion (Jahr 2011 und ab der 45. Kalender-woche 2010)	30
Abbildung 19: Leistung von Blockheizkraftwerk, Kessel und der Absorberkältemaschine (Messwerte in Intervallen von 15 Minuten).....	32
Abbildung 20: Wärme- und Stromproduktion des Blockheizkraftwerks im Jahr 2011 (bis Kalenderwoche 23).....	32
Abbildung 21: Wöchentliche Kälteerzeugung nach Erzeugern für das Jahr 2010	34
Abbildung 22: Wöchentliche Kälteerzeugung nach Erzeugern für das Jahr 2011	34
Abbildung 23: Anteile an der Kälteproduktion (fürs Jahr 2011 und ab der 42. Kalenderwoche 2010).....	35
Abbildung 24: Arbeitszahl der Freien Kühlung	36
Abbildung 25: Gemessene Außentemperatur am Standort Tönning.....	37
Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur.....	37
Abbildung 27: Schaltbild der Kälteerzeugung in Abhängigkeit von der Außentemperatur (ab ca. Apr. 2011)	38
Abbildung 28: Schaltbild der Kälteerzeugung in Abhängigkeit der Außentemperatur (bis ca. April 2011)	38
Abbildung 29: Wochenverlauf der Leistung der Kälteerzeuger	39
Abbildung 30: Kennfeld der 83 kW Absorberkältemaschine (EAW Wegracal Se 80) bei Kühlwassereintrittstemperatur 27°C (abgeleitet aus dem Kennfeld für eine 54 kW Anlage)	39
Abbildung 31: Aufsummierung der Kälteleistung aller Erzeuger	40
Abbildung 32: Wöchentliche maximale Kälteleistung, die von jedem einzelnen Erzeuger und von allen Erzeugern gleichzeitig über einen Zeitraum von einer Stunde erbracht wurde.....	40
Abbildung 33: Arbeitszahl der Kompressionskältemaschine.....	41
Abbildung 34: Typischer Wochenverlauf der CO ₂ Konzentration.....	42
Abbildung 35: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine.....	43
Abbildung 36: Schema der Kälteerzeugung mit der Kompressionskältemaschine	44
Abbildung 37: Schema der Kälteerzeugung mit der Freien Kühlung.....	44
Abbildung 38: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine (mehr Abwärmenutzung)	45
Abbildung 39: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine (bessere Arbeitszahl).....	45
Abbildung 40: Orientierung der Energieausstellung an einem zentralen Ort.....	54
Bild 1: Ansicht auf Absorberkältemaschine (links unten), Blockheizkraft (rechts unten), Rückkühler (links oben) und Kompressionskältemaschine (rechts oben)	11

Bild 2: Wärme- bzw. Kältemengenzähler Heizzentrale Blockheizkraftwerk Raum im Erdgeschoss (links WMZ am Blockheizkraftwerk, rechts KMZ an der Absorberkältemaschine)	23
Bild 3: Bauelemente der Geothermie	42
Bild 4: Bauelemente der natürlichen Lüftung	43
Bild 5: Gebäudemodell Multimar Wattforum mit Auswahlmöglichkeit zur Dar- stellung des Standorts und der Komponenten des Energiekonzepts	49
Bild 6: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung des Standorts	50
Bild 7: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung der Heizung.....	50
Bild 8: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung der Geothermie .	51
Bild 9: Ausstellungswand im Eingangsbereich (Gebäudemodell links vorne)	51
Bild 10: Interaktives Computerspiel zur Simulation der Wärmeerzeugung (Heizung im Gebäude) und Kälteerzeugung (Kühlung in den Aquarien).....	52
Bild 11: Schematische Darstellung der Wärme- und Kälteerzeugung mit Erläuterungen.....	53
Bild 12: Beispiele für eigenes Handeln zu Energieeinsparung.....	54
Bild 13: Anordnung der Einzelelemente der Ausstellung an einem zentralen Ort.....	55

2 Zusammenfassung

Das Nationalpark-Zentrum Multimar Wattforum ist das zentrale Bildungs- und Informationszentrum im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Es wurde im Jahr 1999 eröffnet. Auf der Grundlage eines Entwicklungskonzeptes für das Zentrum und als Maßnahme zur Reattraktivierung ausgelegt wurden zwei Erweiterungen (2003 und 2008) vorgenommen. Im dritten Bauabschnitt wurde das Energiekonzept gänzlich überarbeitet. Ziel war es, Energiekosten zu sparen und eine Reduktion an CO₂ Emissionen von 50 % gegenüber einer konventionellen Lösung zu erreichen. Das Energiekonzept geht davon aus, dass an Stelle einer Erweiterung vorhandener technischer Lösungen folgende Teillösungen umgesetzt werden:

1. die Nutzung der natürlichen Erdkühle (Geothermie)
2. eine Rückkühlung aus der Luft (saisonal)
3. eine Kombination aus Absorptionskälteanlage und Blockheizkraftwerk (Kühlen durch Wärme) unter Erzeugung von elektrischer Leistung
4. eine natürliche Lüftung zur Unterstützung der mechanischer Lüftung
5. Einsatz hoch dämmender Materialien in der Fassade

Mit der Eröffnung 2008 waren die baulichen Maßnahmen abgeschlossen. Seit 2009 befindet sich das neue Energiekonzept in der Optimierung. Dieser Prozess ist aktuell (12.2011) noch nicht abgeschlossen.

Zur Dokumentation und zur Unterstützung der Optimierung wird seit 2010 eine messtechnische Begleituntersuchung durchgeführt. Diese umfasst insgesamt 32 Parameter, die über eine Gebäudeleittechnik ermittelt und kontinuierlich ausgewertet werden. Die messtechnische Begleituntersuchung wird bis zur endgültigen Optimierung des Energiekonzepts fortgeführt.

Flankierend zu den Baumaßnahmen und der messtechnischen Begleituntersuchung ist 2009 eine Ausstellung zur Präsentation des Energiekonzepts eingerichtet worden. Die Ausstellung gliedert sich in drei Ebenen. Auf der ersten Betrachtungsebene, der Darstellung der Phänomene, ist an einem Gebäudemodell exemplarisch das Zusammenwirken einzelner technischer Lösungen dargestellt. Auf der zweiten Betrachtungsebene, der Vertiefung durch Erfahren, wird den Besuchern die Möglichkeit gegeben, Effekte der eingesetzten Technik durch gezielte Systemmodulierung zu begreifen. Auf der dritten Betrachtungsebene, der Anleitung zum eigenen Handeln, werden Ansatzpunkte für das eigene Leben im häuslichen Umfeld gegeben.

3 Einleitung

In der Regel stehen bei Umweltbildungseinrichtungen, besonders wenn diese in Großschutzgebieten stehen, die eigentlichen Schutzgebiete mit ihren speziellen Naturausstattungen und Problemen im Fokus der Ausstellung. Dabei gilt es, über die Darstellung der Besonderheit und Einzigartigkeit des Schutzgebietes auf die Gefährdungen hinzuweisen und für einen nachhaltigen Schutz zu werben. Lokale oder allenfalls regionale Aspekte des Schutzes stehen dabei meist im Vordergrund. Globale Aspekte bleiben häufig unbeachtet oder werden nur am Rande erwähnt. Angesichts des weltweit wirkenden Klimawandels beeinflussen aber zunehmend gerade globale Aspekte die Schutzgebiete. Dies gilt besonders in marinen Schutzgebieten wie dem Nationalpark Wattenmeer, wo sich im Übergangsbereich vom Meer zum Land Änderungen des Klimas unmittelbar auswirken.

Spätestens mit der Einführung des Konzepts der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BNE) sind Bildungseinrichtungen aber gehalten, sich nicht nur mit Fragen zum eigenen Schutzgebiet zu befassen sondern sollen in einem ganzheitlichen Ansatz auch Aspekte von übergeordneter Bedeutung betrachten. Die Aufarbeitung der eigenen Gebäudeleittechnik und der Umgang mit Energie bieten sich dazu an. Dies gilt besonders für solche Einrichtungen, die neben der eigentlichen Haustechnik und der Ausstellungstechnik zusätzlich aufwendige technische Infrastruktur vorhalten. Im Fall des Nationalparkzentrums Multimar Wattforum ist dies die Aquarienanlage mit ihren besonderen technischen Anforderungen.

Neben den klassischen elektrischen Verbrauchern aus der Haustechnik (Heizung, Lüftung, Licht, technische Anlagen) kommen zusätzliche Verbraucher durch die Aquarienanlage hinzu. Innerhalb der Aquarienanlage wird Energie in erster Linie zur Beleuchtung der Becken, zur Zirkulation des Wassers und zur Kühlung des Wassers benötigt. Den mit Abstand größten Anteil am Energieverbrauch hat dabei die Kühlung.

Derzeit wird die notwendige Kältearbeit der bestehenden Aquarien durch den Betrieb einer konventionellen Kompressionskältemaschine erzeugt. Es ergeben sich folgende Nachteile:

- Es wird hochwertiger Strom mit entsprechend hohen CO₂-Äquivalentemissionen eingesetzt.

- Die Aquarientemperatur liegt unter der Raumtemperatur. Deshalb ist eine ganzjährige Kühlung erforderlich.
- Das öffentliche Stromnetz wird insbesondere an warmen Tagen mit hohen Leistungen belastet.
- Durch die Erweiterung der Aquarien von 160m³ auf etwa insgesamt ca. 590m³ Wasserinhalt hat sich der Strombedarf für die Kühlung stark erhöht.

Das Nationalpark Zentrum Multimar Wattforum ist mit durchschnittlich ca. 200.000 Besuchern pro Jahr (davon ca. 35.000 Schülerinnen und Schüler) die tragende Säule in der Informations- und Bildungsarbeit im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Unter den Rahmenbedingungen einer Bildung für Nachhaltigkeit (BNE) wurde auf der Grundlage eines Entwicklungskonzeptes für das Informationszentrum im Jahr 1994 ein dreistufiger Ausbauplan entwickelt: Nach der Eröffnung im Jahr 1999 mit dem Themenschwerpunkt „Nationalpark Wattenmeer“ (Ausstellungsfläche 1.500 m²) erfolgte im Jahr 2003 eine erste bauliche Erweiterung (2. Bauabschnitt, Ausstellungsfläche insgesamt 2.300 m²) mit dem Themenschwerpunkt „Wale, Watt und Weltmeere“. Im Jahr 2006 wurde eine zweite bauliche Erweiterung (3. Bauabschnitt, Ausstellungsfläche insgesamt 3.100 m²) mit den drei Themenschwerpunkten „Wasserrahmenrichtlinie, Fischerei und Lebensraum Nordsee/ Nordatlantik“ geplant und im Jahr 2009 umgesetzt. Teil der Planungen zum 3. Bauabschnitt war eine erhebliche Erweiterung der vorhandenen Aquarienanlage von ca. 160.000 l Seewasser auf mehr als 550.000 l Seewasser und 40.000 l Süßwasser. Daraus ergaben sich neue Anforderungen an die Kühl- und Reinigungstechnik, insbesondere an den Energiebedarf. Teil der baulichen Erweiterung im 3. Bauabschnitt ist ein auf den hohen Energiebedarf in der Aquarienanlage abgestimmtes Konzept zur Senkung der Energiekosten und zur CO₂ Emission. Zusätzlich wurde im Zuge der räumlichen Erweiterung die vorhandene energieträchtige mechanische Lüftung durch eine energiesparende natürliche Lüftung ersetzt.

Mit diesem Projekt ist als inhaltliche Erweiterung der oben beschriebenen Ausstellungsinhalte ein nachhaltiges Energiekonzept in Teilen baulich umgesetzt und in einer gesonderten Ausstellung thematisiert worden. Besucher des Nationalparkzentrums Multimar Wattforum sollen so angeregt werden, sich am Beispiel der technischen Lösungen im Multimar Wattforum mit Fragen der Energiegewinnung und -nutzung zu beschäftigen, mögliche Rückschlüsse auf

den eigenen Umgang mit Energie zu ziehen und Anregungen für Änderungen im eigenen Lebensumfeld zu finden.

Um den zusätzlichen Bedarf an Energie möglichst umweltschonend zu decken wurde ein Konzept zur Reduzierung von klimaschädlichen Gasen entwickelt. Als Ziel wurde formuliert:

**Reduzierung der CO₂-Äquivalentemissionen um mindestens 50%
gegenüber einer konventionellen Lösung**

Durch die Ausstellung werden Besucherinnen und Besucher am Beispiel der technischen Lösungen im Multimar Wattforum umfassend über die Zusammenhänge von Energieverbrauch und CO₂ Verbrauch informiert. Es werden Lösungswege zur Vermeidung von CO₂-Emissionen aufgezeigt. Durch die plausible Darstellung von Sachzusammenhängen des täglichen Lebens (Phänomene) und durch die Möglichkeit der Vertiefung durch direktes Erleben und Probieren wird eine Reflektion des eigenen Handelns in Gang gesetzt. Sensibilisiert durch die Darstellung der Natur sollen Anregungen für eine nachhaltige Lebensführung gegeben werden. Es soll deutlich werden, dass sich Nachhaltigkeit nicht nur positiv auf die Umwelt auswirkt sondern zu erheblicher finanzieller Entlastung des Einzelnen führen kann.

Als zentrales Bildungs- und Informationszentrum für den Nationalpark Wattenmeer bietet das Multimar Wattforum eine breite Plattform für Informationen zu Umweltthemen. Dabei werden Zielgruppen des formalen Lernens (Schulische Bildung) ebenso angesprochen wie Zielgruppen außerhalb formaler Bildungszusammenhänge. In der Urlaubsregion Nordsee sind dies in erster Linie Urlaubsgäste mit dem Schwerpunkt auf Familien. Durch den unmittelbaren Bezug für das eigene Leben (Energiesparen wird im täglichen Leben immer relevanter) lässt sich eine hohe Durchdringung der Inhalte bis in die eigene Anwendung der Besucherinnen und Besucher vermuten.

Neben möglichen Anwendern stellen Planer und auch ausführende Fachfirmen eine zusätzliche Zielgruppe dar.

4 Hauptteil

4.1 Energiekonzept

Mit der Baumaßnahme zum dritten Bauabschnitt ist auch die Gebäudeleittechnik erweitert und umgestellt worden. Wesentliche Aufgaben sind die Wärmeerzeugung für das Gebäude (Winterbetrieb), die Kälteerzeugung für die Aquarien (Ganzjahresbetrieb) und die Belüftung der Ausstellungen (vornehmlich Sommerbetrieb). Die Tabelle 1 stellt die aus dem ersten und zweiten Bauabschnitt vorhandenen Lösungen und die Erweiterungen im dritten Bauabschnitt zusammen und beschreibt, mit welchen Leistungen die einzelnen Komponenten arbeiten. Zwei Komponenten (Gas-Heizkessel und Blockheizkraftwerk) dienen der Wärmeerzeugung und vier Komponenten (Kompressionskältemaschine, Rückkühler, Absorberkältemaschine und Erdsonden) stellen die Kälteerzeugung sicher.

	Wärmeerzeugung:	Kälteerzeugung:
Bestand (1999/2003)	1. zwei Gas-Heizkessel mit je 115 kW Leistung	1. Kompressionskältemaschine mit 97 kW Leistung
dritter Bauabschnitt (2008)	2. Gas Blockheizkraftwerk mit 114 kW Leistung (Wärmeerzeugung, indirekte Kälte- Erzeugung)	2. Rückkühler mit ca.170 kW freie Kühlung 3. Absorberkältemaschine mit 83 kW Leistung 4. Erdsonden mit ca. 16 kW Leistung

Tabelle 1: Komponenten zur Wärme- und Kälteerzeugung im Multimar Wattforum im Bestand (1999/2003) und im dritten Bauabschnitt (2008)

Das Energiekonzept ist so ausgelegt, dass die Bestandskomponenten Heizkessel zur Wärmeerzeugung und Kompressionskältemaschine zur Kälteerzeugung bei Bedarf zur Deckung von Spitzenlasten zugeschaltet werden können und während notwendiger Wartungsarbeiten oder bei Störungen der eigentlichen Wärme- und Kälteerzeuger den Betrieb sichern.

Die Abbildung 1 stellt die Zusammenhänge der einzelnen Komponenten grafisch dar und macht deutlich, wo der Wärme- und der Kältebedarf liegen. Im Idealfall ist der Einsatz der Bestandskomponenten Gas-Heizkessel (nur

Wärmeproduktion) zur Wärmeerzeugung und Kompressionskältemaschine (nur Kälteerzeugung) zur Kälteerzeugung auf ein Minimum reduziert.

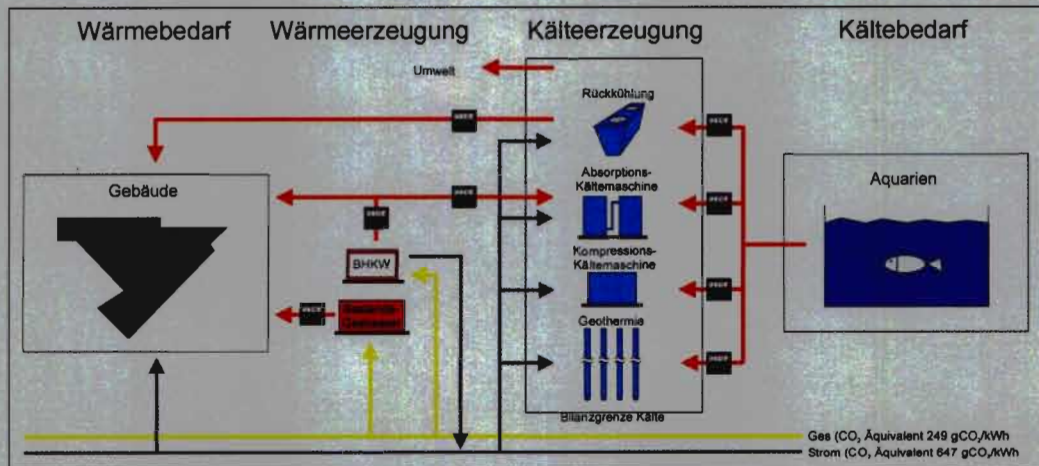


Abbildung 1: Komponenten zur Wärmeerzeugung für den Wärmebedarf im Gebäude und zur Kälteerzeugung in den Aquarien

Als Energiequellen dienen sowohl Gas (Bestandskessel und Blockheizkraftwerk) wie auch eigen erzeugter Strom aus dem Blockheizkraftwerk. Anhand der dargestellten CO₂ Äquivalenzwerte für Gas (249 g CO₂/kWh) und für Strom (647 g CO₂/kWh) wird deutlich, dass durch den eigen erzeugten Strom eine Reduzierung der Kohlendioxidemission erreicht wird.

In der Abbildung 1 sind die Hauptkomponenten Blockheizkraftwerk (BHKW) der Firma Sokratherm (Kompaktmodul P632 mit 70 KW elektrischer Leistung im Erdgasbetrieb), die Absorberkältemaschine (AKM) der Firma Wegra Anlagenbau (Wegracal SE 80 mit 80 KW thermischer Leistung), der Rückkühler der Firma LUVE (EHL1R 5226 mit Sprühanlage) und die Kompressionskältemaschine der Firma Trane (EKI 4142) dargestellt. Vertiefende Angaben zu den technischen Geräten finden sich bei den Herstellern.



Bild 1: Ansicht auf Absorberkältemaschine (links unten), Blockheizkraftwerk (rechts unten), Rückkühler (links oben) und Kompressionskältemaschine (rechts oben)

Blockheizkraftwerke können nur dann kostengünstig und effektiv betrieben werden, wenn bis auf kurze Wartungsintervalle ein möglichst ganzjähriger Betrieb sichergestellt ist. Dazu ist es zwingend notwendig, ganzjährig sowohl die Wärme als auch die Stromerzeugung aus dem Blockheizkraftwerk effektiv nutzen zu können. Im Multimar Wattforum wird dies wie folgt erreicht:

- im Winterbetrieb stellt das Blockheizkraftwerk als Gebäudeheizung die Wärmeversorgung sicher. Die vorhandene Gasheizung befindet sich lediglich im „stand by“ und deckt die kurzen Spitzenzeiten im Wärmebedarf während kalter Nächte ab.

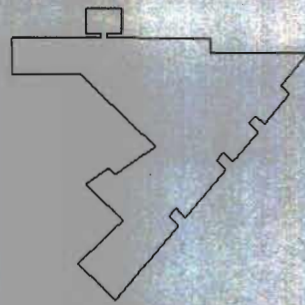
Der notwendige Bedarf an Kälte für die Aquarien wird über die Freie Kühlung sichergestellt. Die Erdsonden bleiben bei Bodentemperaturen um ca. 12° C aufgrund des fehlenden Temperaturgefälles zum Aquarienwasser (9-13° C) abgeschaltet.

- im Sommerbetrieb stellt das Blockheizkraftwerk über den Umweg der Absorberkältemaschine die Kühlung der Aquarien sicher. Dazu wird die Wärme in der Absorberkältemaschine in Kälte umgewandelt. Die Erdsonden unterstützen mit einer Temperatur von ca. 12° C die Kälteproduktion durch „vorkühlen“ der Betonwand im Großaquarium. Die Freie Kühlung ist dann inaktiv.
- Der im Blockheizkraftwerk produzierte Strom von maximal 70 KW wird dauerhaft direkt im Gebäude verbraucht, da die Grundlast des Gebäudes über diesem Wert liegt.

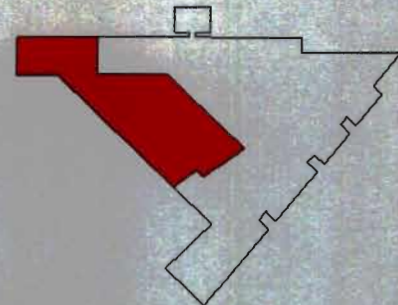
Neben den beschriebenen Änderungen in den Bereichen der Wärme- und Kälteversorgung wurde auch das Belüftungssystem des Gebäudes überarbeitet und unter der Maßgabe der Energieeinsparung erweitert. Zu den im ersten und zweiten Bauabschnitt realisierten technischen Belüftungen (Ventilationssystem) mit hohem Energiebedarf wurde eine „natürliche“ Lüftung (Fensteröffnung) mit geringem Energiebedarf eingebaut.

Die wesentlichen Maßnahmen zur Umweltentlastung sind die Energieeinsparung, die Anpassung an den tatsächlichen Bedarf sowie eine umweltschonende Energieerzeugung unter Einbeziehung natürlicher Ressourcen.

- Der Gebäude-Heizwärmebedarf soll durch die Erweiterung nicht ansteigen. Dies kann durch die Verbesserung des Oberflächen / Volumen Verhältnisses (A/V) erreicht werden. Ein Blick auf die Grundrisse im Bestand und nach dem dritten Bauabschnitt (Abbildung 2) gibt Aufschluss über das verbesserte A/V Verhältnis. Zusätzlich wurden im Erdgeschoss auf der Südseite überwiegend opake, gedämmte Außenwände anstelle von abgedunkelten Glasfassaden eingesetzt. Im Obergeschoss wurde eine hochwertige Wärmeschutzverglasung nachgerüstet und es erfolgte eine Anpassung der benötigten Frischluftmengen an den Bedarf.



1. + 2. Bauabschnitt



1. + 2. + 3. Bauabschnitt

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Verbesserung des Verhältnisses von Gebäudeoberfläche zu Gebäudevolumen durch den dritten Bauabschnitt

Der Heizwärmebedarf vor der Erweiterung lag bei 270 MWh/a und stimmt damit etwa mit der durchgeführten Heizwärmebilanz für den derzeitigen Zustand überein (282 MWh/a). Das beheizte Volumen wird durch den dritten Bauabschnitt um knapp 50 % erweitert. Rechnerisch steigen die Transmissionsverluste durch diese Erweiterung um etwa 53 MWh/a an (Anstieg 18 %). Durch die bessere Anpassung der Luftmengen an den realen Bedarf, kann dieser Anstieg kompensiert werden.

Das Aquarienwasser darf je nach Jahreszeit und Anforderung der Tiere zwischen 9° C und 16° C betragen. Dadurch ist eine ständige Kühlung gegenüber der Raumluft erforderlich. Zur Reduzierung der Kälteverluste aus dem Aquarienwasser an die Umwelt sind Plexiglasscheiben für die transparenten Aquarienwände eingesetzt worden. Dies hat zu einer deutlichen Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit im Vergleich zu Mineralglas geführt. Die Wandstärke der Plexiglasscheiben wurde in erster Linie nach der Isolationswirkung und erst nachrangig nach statischen Erfordernissen ausgelegt. Durch die reduzierte Tauwasserbildung waren keine Gegenmaßnahmen durch Zwangsbelüftung der Scheibenoberflächen notwendig. Zur Reduzierung der internen Wärmelasten durch Beleuchtung oder Pumpen wurden diese gegen Wärmeabstrahlung abgeschirmt oder in ausreichender Höhe über den Becken montiert.

Die Belüftung des Gebäudes wurde an den Bedarf mit hohen Besucherzahlen im Sommer und wenigen Besuchern im Winter angepasst. Ein typischer Verlauf der Besucherzahlen ist in der Abbildung 3 dargestellt.

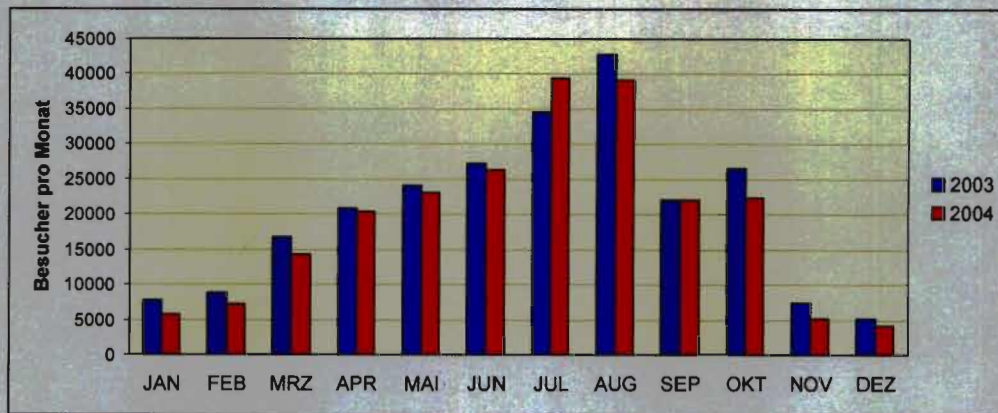


Abbildung 3: Besucherzahlen im Multimar Wattforum im Jahresverlauf

Die Belüftung des Gebäudes ist auf die Spitzenzeit im Juli/August ausgelegt worden. Soweit möglich wird in dieser Zeit nur die energetisch günstige natürliche Lüftung genutzt. Die neue Fassade Süd, bestehende Rauchabzüge im Dach sowie neue Öffnungen in den Bestandsfassaden machen eine natürliche Lüftung möglich. Das Walhaus (zweiter Bauabschnitt) wurde gänzlich auf eine natürliche Lüftung umgestellt mit Öffnungen im Zugang, im Untergeschoss und im Dach. Die vorhandene mechanische Lüftung des zweiten Bauabschnitts wurde technisch verbessert und dient als Belüftung für geschlossene Räume innerhalb des dritten Bauabschnitts. Im Bereich des ersten Bauabschnitts wurde die mechanische Lüftung mit der natürlichen Lüftung kombiniert. Im Fall natürlicher Lüftung (Fenster sind geöffnet) schaltet die Raumluftechnische Anlage (RLT) des ersten Bauabschnitts auf reine Zuluft, da weiterhin z.T. gefangene Räume mit Frischluft versorgt werden müssen. Im Sommer bei hoher Besucherzahl kann die natürliche Lüftung zur Realisierung sehr hoher Luftmengen genutzt werden. Sie ist hier der mechanischen Lüftung überlegen. Im ersten Bauabschnitt wurde für die Ausstellung eine mechanische Lüftung mit einer Luftmenge von 6.300 m³/h eingebaut. Im zweiten Bauabschnitt folgten zwei Anlagen mit je 5.600m³/h sowie 1.000 m³/h. Im Zuge der Erweiterung wurden umfangreiche Umbauten an der mechanische Lüftungsanlage vorgenommen. Im Einzelnen sind dies:

- Nachrüstung der Bestandsanlagen der Ausstellung mit Frequenzumformer und CO₂ geführter Luftmenge.
- Nutzung der Bestandsanlage des zweiten Bauabschnitts für den neuen innen liegenden Bereich im ersten Bauabschnitt (Multivision). Reduzierung der Luftmenge von 5.600 auf 3.900 m³/h.

- Eine neue Anlage wird nur für den innen liegenden Bereich „Zuschauer Forum“ eingesetzt (3.100 m³/h), ebenfalls geregelt nach Bedarf. Dies trifft entweder während besucherstarker Tage im Sommer oder bei Vorführungen im Großbecken zu

Durch die Vergrößerung der Aquarien hat sich der Kältebedarf der Aquarienanlage im Multimar Wattforums nach Berechnungen der Aquarienplaner etwa auf 150 kW verdoppelt. Bei der Bedarfsermittlung spielt neben dem Volumen der neuen Anlage in erster Linie der Kältebedarf eine Rolle. Durch den Einbau einer Kaltwasseranlage (6° C – 9° C) zur Haltung von ausgesprochenen Kaltwasserarten wurde der Kältebedarf zusätzlich erhöht.

Die CO₂-Äquivalentemission wird durch eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, durch die Nutzung der Erdkälte sowie über die Freie Kühlung auf unter 50 % gegenüber einer konventionellen Lösung reduziert.

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Im Unterschied zu einer Kompressionskälteanlage wird bei einer Absorberkälteanlage der mechanische Verdichter durch einen „thermischen Verdichter“ ersetzt. Dieser Verdichter besteht aus einem Absorber, Lösungsmittelpumpe, Austreiber und Expansionsventil. Das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand der Absorberkältemaschine, also die Kälteleistung in Relation zu der zugeführten Heizleistung, wird als Wärmeverhältnis beschrieben. Ein hohes Wärmeverhältnis wird durch hohe Heizwassertemperaturen und niedrige Kühlwassertemperaturen erreicht.

Strom wird lediglich für den Antrieb der Pumpen als Hilfsenergie benötigt. Die anfallende Abwärme einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage kann als Wärme genutzt werden. Falls diese Wärme nicht ausreicht, wird zur Beheizung der Erdgaskessel eingesetzt.

Nutzung des Erdreiches

Für die geplante Erweiterung des Gebäudes war eine Pfahlgründung erforderlich. Daher war es mit vertretbarem Aufwand möglich, die natürliche Erdkühle des Erdreichs (ca. 12° C) nutzbar zu machen. In den ersten 16 m der Pfahlgründung sind Hochdruckpolyethylen-Rohre eingesetzt und zur direkten Kühlung des

Großaquariums genutzt worden. Auf Wärmetauscher ist verzichtet worden, um das Temperaturniveau nicht unnötig anzuheben.

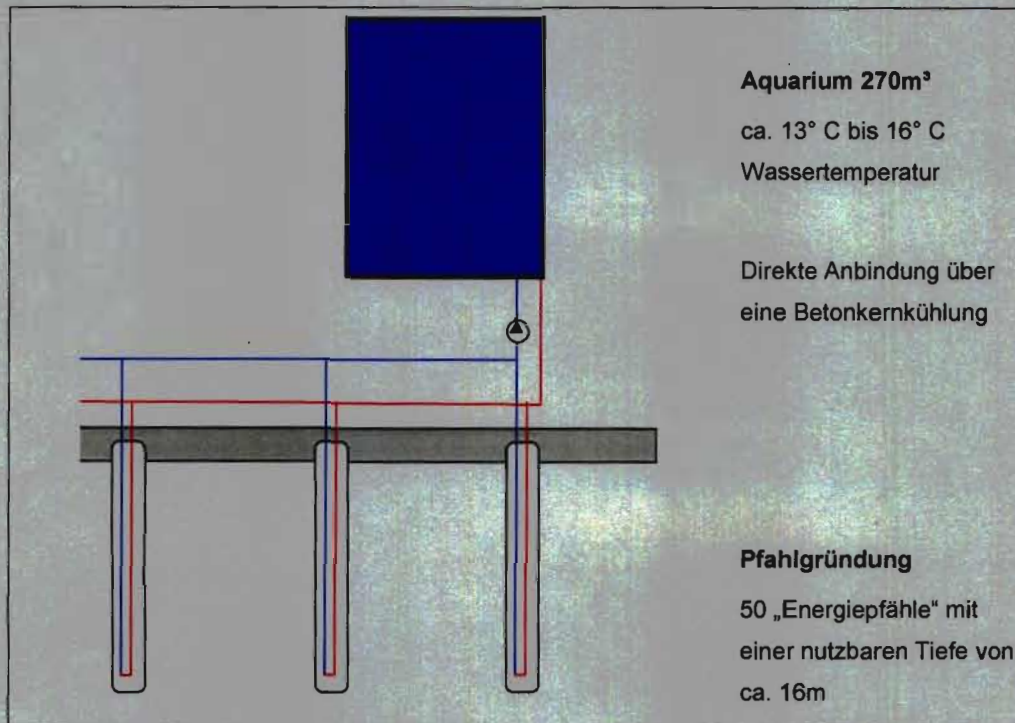


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Kühlung des Großaquariums über die Pfahlgründung

Unter der Annahme, dass Grundwasser ab ca. 1,2 m ansteht und der Bodenkörper bis in die Tiefe von Grundwasser durchströmt ist wird die nutzbare Dauerleistung der Erdsonden wird auf ca. 16 kW abgeschätzt. Das Verhältnis von Aufwand (Strom Umwälzpumpe) zu Nutzen (Kälte) wird auf 1 zu 20 abgeschätzt. Eine Regeneration des Erdreiches ist bei Außentemperaturen unter +9 °C möglich, da hier die freie Kühlung eingesetzt und kostengünstiger genügend Kälte zur Verfügung steht. Die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers ist nicht bekannt. Entsprechende Bodenkataster sind nicht vorhanden

Nutzung der „Freien Kühlung“

An kühlen Tagen kann der Rückkühler direkt zur Abfuhr der überschüssigen Wärme der Aquarien genutzt werden. Die Auswertung eines Klimadatensatzes für Norddeutschland zeigt, dass während 3.000 Stunden pro Jahr die Außenlufttemperatur unter +6 °C liegt. Durch die Optimierung der Anlage (siehe

unten) sind Temperaturen ab 9° C nutzbar, was die Zeitspanne zur Nutzung der freien Kühlung fast verdoppelt.

Zur besseren Darstellung wird in einer theoretischen Energiebilanz der Kühlung eine konventionelle Variante (Kompressionskältemaschine) mit der im Multimar Wattforum umgesetzten Variante (Absorber, Geothermie, Freie Kühlung) verglichen. Unten ist die Abschätzung der Energiemengen angegeben.

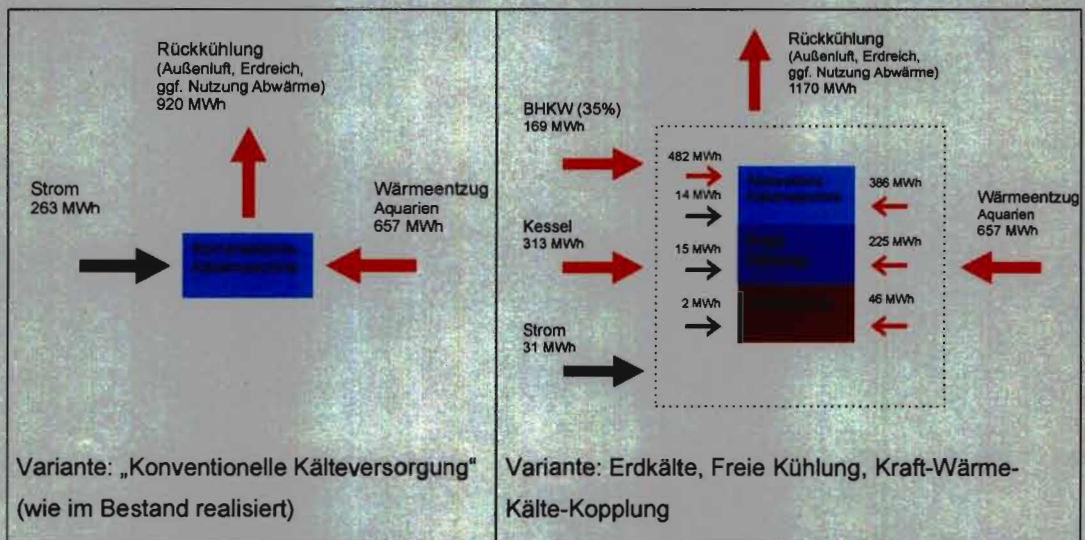


Abbildung 5: Schematische Jahresenergiebilanz der Kühlung eine „Konventionelle Kühlung“ und der im Multimar realisierten Kühlung

Für die Bilanz gelten folgende Randbedingungen:

- Die Wärme der Rückkühlung kann z.T. für die Gebäudebeheizung genutzt werden. Diese „Gutschrift“ wurde in der Bilanzierung nicht angesetzt.
- Die Bilanzgrenze umfasst nicht das Blockheizkraftwerk. Es wird angenommen, dass ca. 35% der Wärme für die Absorberkältemaschine genutzt wird. Die restliche, erzeugte Wärme des Blockheizkraftwerks kann mit sehr niedrigen CO₂-Emissionen belegt werden. Sie wurde in der obigen Betrachtung aber nicht angesetzt.
- Die Faktoren zur Abschätzung des Primärenergieaufwandes und CO₂-Äquivalentemissionen sind dem Globalen Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS 4.14) entnommen.
- Für die konventionelle Variante wurde der derzeit eingebaute Standard angesetzt.

- Für die Absorptionskältemaschine wurde zunächst ein Verhältnis von Heizleistung zu elektrischer Leistung (COP) von 0,8 angesetzt.

In der Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Energiebilanz für die Kühlung der Aquarien dargestellt.

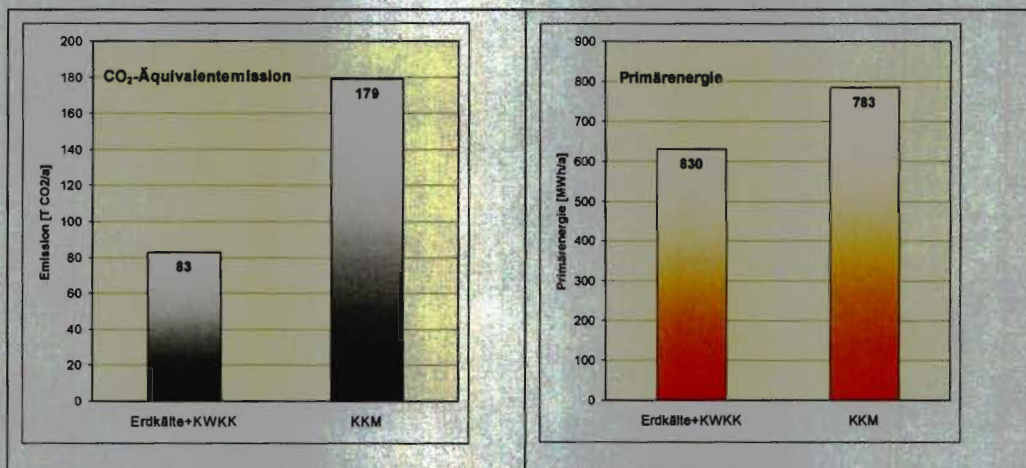


Abbildung 6: Vergleich der CO₂-Emission und der Primärenergie für die konventionelle Kühlung (KKM) und die neue Kühlung (Erdkälte+KWKK)

Theoretisches Ergebnis

Das eingangs aufgestellte Ziel zur Umweltentlastung durch neue Kühlmethoden wird erreicht. Die geplante Kälteversorgung reduziert die CO₂-Äquivalentemissionen auf knapp 50 % gegenüber der derzeit eingesetzten Kühltechnik. Der Primärenergieaufwand wird um 20 % reduziert. Durch eine Steigerung des Aufwandes (Wärme) zum Nutzen (Kälte) der Absorberkältemaschine, also Steigerung des COP-Wertes ist eine Optimierung möglich. Zusätzlich zur Nutzung der Wärme aus dem Blockheizkraftwerk könnte die Abwärme der Kältemaschine genutzt werden.

Zusammenfassend lässt sich das Energiekonzept im Multimar Wattforum wie folgt darstellen:

1. Die Nutzung der natürlichen Erdkühle (Geothermie) zur Kühlung des Großaquariums vornehmlich während des Sommers in Abhängigkeit von den Temperaturen im Großaquarium.

2. Die Nutzung der „Freien Kühlung“ aus der Außenluft saisonal in Abhängigkeit von der Außentemperatur und den Wassertemperaturen in den Aquarien. Zu Beginn konnten Außentemperaturen ab 6° C genutzt werden, nach der Optimierung (Erklärungen siehe unten) konnten Temperaturen ab 9° C genutzt werden.
3. Eine Kombination aus Absorberkälteanlage und Blockheizkraftwerk (Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung) liefert Kälte, Wärme und zusätzlich Strom.
4. Keine ausschließliche mechanische Lüftung. Nachrüstung einer geregelten natürlichen Lüftung im Zuge der Baumaßnahmen zum dritten Bauabschnitt.
5. Optimierung des Aufwand/Nutzen-Verhältnisses durch den dritten Bauabschnitt u.a. durch energetisch hochwertige Qualität der neuen Fassade.

4.2 Messtechnische Begleitung

Parallel zum eigentlichen Projekt der Entwicklung, des Einbaus und der Darstellung eines neuen Energiekonzepts in einer Ausstellung wurde aus Mitteln der Innovationsstiftung Schleswig-Holstein eine messtechnische Begleitung und Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen aufgelegt. Angelegt auf den Zeitraum von 2009-2011 haben sich die Ergebnisse als so hilfreich erwiesen, dass die messtechnische Begleitung aus Mitteln der Nationalpark-Service gGmbH weiter fortgeführt wird. Da die Ergebnisse der messtechnischen Begleitung in erheblichen Umfang zum Verständnis und zu Interpretation der durchgeführten Maßnahmen beitragen, werden diese in diesem Bericht dargestellt.

4.2.1 Messkonzept

Die messtechnische Begleitung und Dokumentation beinhaltet folgende Punkte:

- Abstimmung und Überprüfung der zu erfassenden Daten
Welche Bereiche innerhalb der Haustechnik einschließlich der Ausstellungen zum ersten, zweiten und dritten Bauabschnitt sollen gesondert erfasst werden?
- Installation der notwendigen Messeinrichtungen
An welchen Stellen müssen innerhalb der Gebäudeleittechnik Messfühler zur direkten Messung installiert werden und welche Messwerte müssen indirekt oder über Dritte (Energilieferanten) abgerufen werden.
- Dokumentation und Auswertung der wesentlichen Verbrauchsdaten
Wie erfolgt die automatisierte Speicherung der Messwerte und welche Daten müssen von Hand nachgetragen werden?
- Unterstützung bei einer Optimierung der Anlagentechnik im Betrieb
Welche Optimierungen (baulichen Änderungen) ergeben sich aus den Messergebnissen und wie lassen sich die baulichen Änderungen in das laufende Messverfahren einbauen?

Um ein möglichst umfassendes Bild der Energieströme (Wärme, Kälte, Strom, Lüftung) zu bekommen und um konkrete Vorschläge zur Optimierung geben zu können, werden einzelne Verbrauchswerte im Multimar Wattforum gesondert erfasst. Die wesentlichen Energieströme der technischen Anlagen werden mittels Wärmemengenzählern (WMZ) oder mittels Kältemengenzähler (KMZ) erfasst und periodisch abgelesen. Dabei werden zur Reduzierung von Strömungsverlusten Ultraschall-Messgeräte eingesetzt. Die Datenspeicherung erfolgt in einem

zentralen Rechner vor Ort und wird zur weiteren Auswertung über eine Datenleitung automatisch zum Ingenieurbüro KAplus geschickt. Gelieferte Energiemengen ergeben sich aus den Aufzeichnungen und Abrechnungen der Energielieferanten.

Folgende Einzelmessungen werden durch Messfühler erfasst:

- Stromverbrauch der Ausstellung „Nationalpark Wattenmeer“, entspricht dem ersten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Ausstellung „Wale, Watt und Weltmeere“, entspricht dem zweiten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Ausstellung „Fischerei und Wasserrahmenrichtlinie“, entspricht dem dritten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Aquarientechnik (alle Verbraucher einschließlich Beleuchtung) im ersten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Aquarientechnik (alle Verbraucher einschließlich Beleuchtung) im dritten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Lüftung im ersten Bauabschnitt
- Stromverbrauch der Lüftung im zweiten Bauabschnitt
- Gas- und Stromverbrauch des Blockheizkraftwerks
- Gas- und Stromverbrauch der Heizkessel
- Stromverbrauch der Absorberkältemaschine
- Stromverbrauch der Kompressionskältemaschine
- Stromverbrauch der „Freien Kühlung“

Dem Verbrauch wurden Produktionen an Strom, Wärme und Kälte entgegengestellt:

- Stromproduktion im Blockheizkraftwerk
- Wärmeproduktion im Blockheizkraftwerk
- Wärmeproduktion im Heizkessel
- Kälteproduktion der Absorberkältemaschine
- Kälteproduktion der Freien Kühlung
- Kälteproduktion der Kompressionskältemaschine
- Kälteproduktion der Geothermie

Nach einer Anlaufphase konnte während der Laufzeit des Projekts die Datenaufnahme optimiert werden. Zum Abschluss des Projektes werden insgesamt 31 eigene Datenreihen aufgenommen. Vollständig ist ein Datensatz, wenn insgesamt 672 Einzelmessungen vorliegen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die erfassten Daten (31 Parameter) und die Vollständigkeit der Datensätze (672 Messungen).

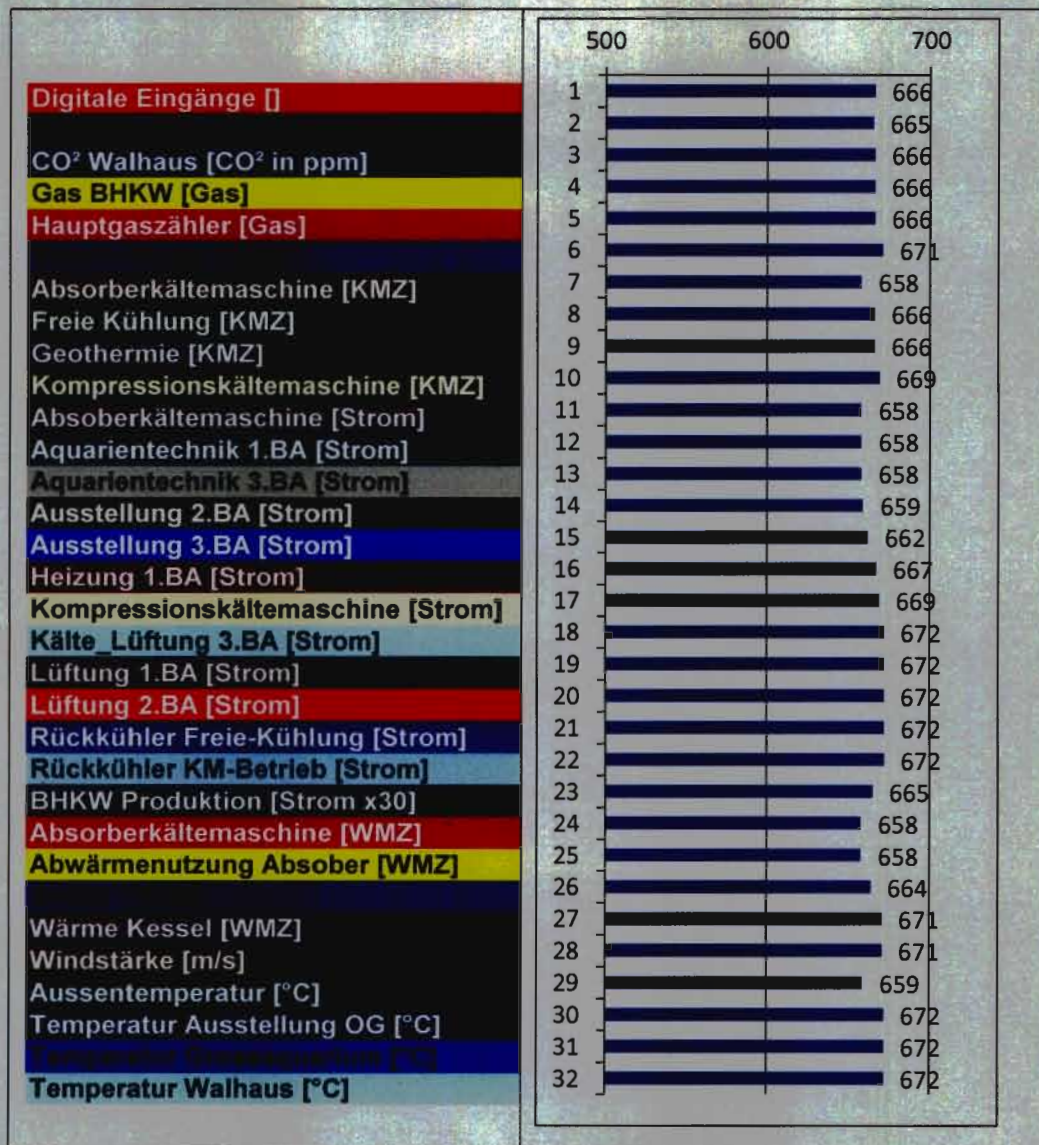


Tabelle 2: Darstellung aller Messgrößen

Kernpunkt des Energiekonzeptes ist die umweltschonende Kühlung der Aquarien und die Nutzung der natürlichen Lüftung des Gebäudes. Zur Bewertung der Funktion werden folgende Energiemengen erfasst:

- Erdgas Kessel
- Erdgas Blockheizkraftwerk
- Gesamt-Wärmezufuhr Absorberkältemaschine (WMZ)
- Gesamt-Kältemenge Absorberkältemaschine (KMZ)
- Abwärmenutzung Absorberkältemaschine (WMZ)
- Energiemenge Blockheizkraftwerk (WMZ)
- Energiemenge freie Kühlung (KMZ)
- Energiemenge Bestands-Kompressionskälte (KMZ)
- Energiemenge Geothermie (KMZ)

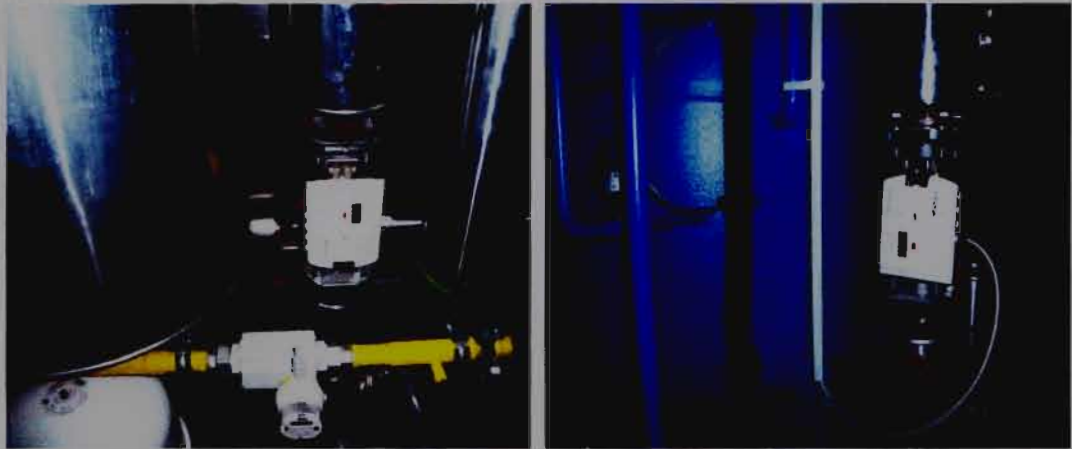
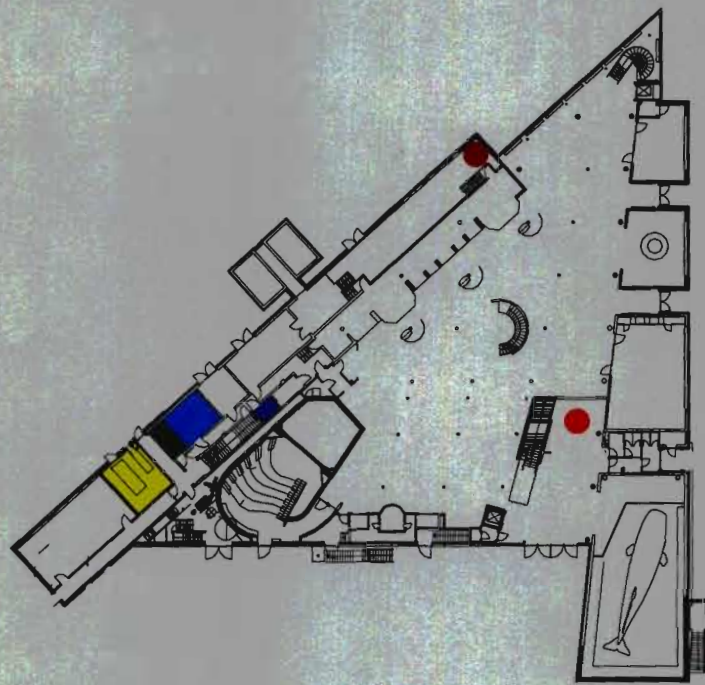


Bild 2: Wärme- bzw. Kältemengenzähler Heizzentrale Blockheizkraftwerk Raum im Erdgeschoss (links WMZ am Blockheizkraftwerk, rechts KMZ an der Absorberkältemaschine)

Die Daten der Wärme- und Kältemengenzähler werden zentral in 15 Minuten-Intervallen erfasst und gespeichert. Die Gaszähler werden kontinuierlich erfasst.

Nach einer ersten Phase der Behebung von Mängeln in der Technik in den Jahren 2008 bis 2009 werden seit Oktober 2009 kontinuierlich Messungen zu Verbrauchswerten im Multimar Wattforum durchgeführt. Nahezu das ganze erste Jahr war durch Ausfälle und Probleme mit der Datenerfassung geprägt. Die Fehlfunktionen wurden durch die wöchentliche Auswertung und durch anschließende Fehlersuche zusammen mit dem Herstellern der Messsysteme und den Installationsfirmen erkannt und behoben. Ab Mai 2011 läuft die Datenerfassung in der Regel zufrieden stellend.

Zur besseren Orientierung sind die einzelnen Komponenten der Gebäudetechnik in einen Grundriss des Multimar Wattforums eingefügt.



- Standort BHKW und Absorberkältemaschine**
- WMZ / KMZ BHKW, AKM, Nutzung Abwärme und freie Kühlung
- Stromzähler diverse Aquarien-Technik und RLT 3. BA
- Gasanschlussraum**
- Haupt-Gaszähler und Stromzähler
- Stromzähler BHKW
- Heizungsraum**
- Bestand: Bestandskessel, Verteilung, Wasserspeicher
- Zähler alte Kessel
- Hauptverteilung**
- Elektroinstallation
- Stromzähler
- Hilfsenergie alte Heizung
- RLT 1. BA, Küche und 3. BA EG / OG, Aquariertechnik 1. BA EG und alte KM
- Zähler alte Kältemaschine**
- Unterverteilung**
- Walhaus (im UG)
- Strom RLT 2. BA + UG
- 3. BA, Ausstellung 2. und 3. BA

Abbildung 7: Schematische Übersicht einzelner Komponenten in der Gebäudetechnik

Abkürzungen:

- RTL = raumluftechnische Anlagen (Lüftung)
- AKM = Absorberkältemaschine
- KM = Kompressionskältemaschine
- BHKW = Blockheizkraftwerk
- WMZ = Wärmemengenzähler
- KMZ = Kältemengenzähler
- BA = Bauabschnitt
- UG = Untergeschoss
- EG = Erdgeschoss

Der Kältebedarf für die Aquarien ergibt sich aus den geforderten Temperaturen in den vier getrennten Aquarienkreisläufen (Abbildung 8) und aus dem Volumen der Systeme. Im Jahresverlauf schwanken die Temperaturen in Anlehnung an die Situation im Freiland um ca. 5° C.

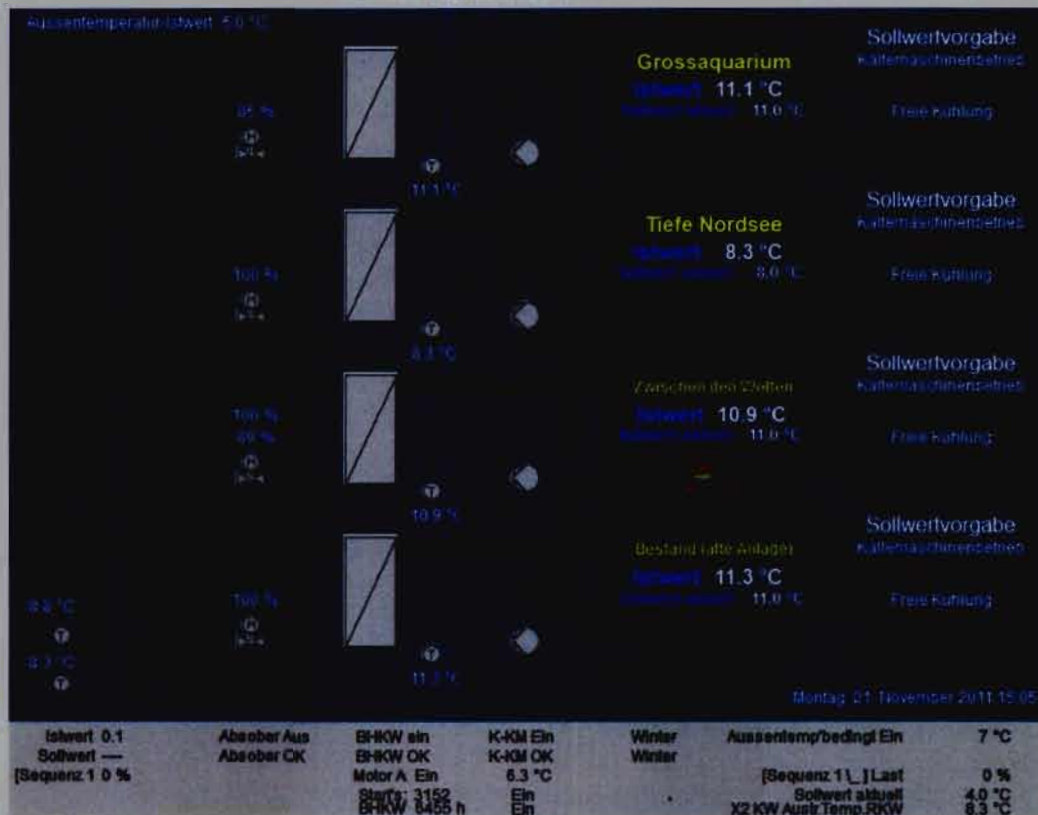


Abbildung 8: Temperaturen in den vier Aquarienkreisläufen (Quelle: Onlinezugriff Gebäudeleittechnik Multimar, 21.11.2011 15:05 Uhr)

4.2.2 Strom

In Abbildung 9 und Abbildung 10 sind die Stromproduktion durch das Blockheizkraftwerk und der Stromverbrauch durch diverse Verbraucher dargestellt. Bei einer durch die Größe des Blockheizkraftwerks begrenzten Produktion von maximal 70 kWh liegt die theoretische Stromproduktion (bei Dauerbetrieb) bei 11.760 kWh. Tatsächlich schwankt die Produktion zwischen ca. 5.300 kWh und ca. 10.800 kWh.

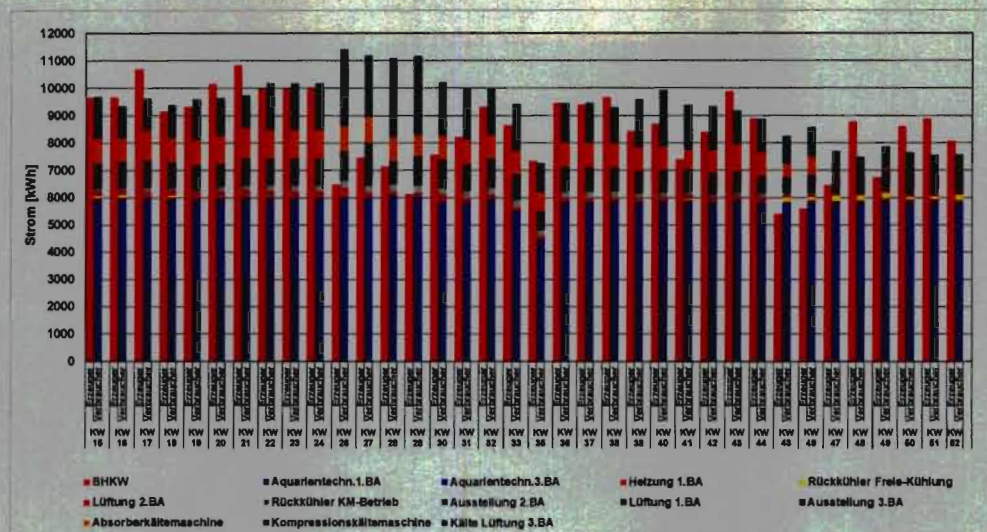


Abbildung 9: Wöchentliche Stromerzeugung durch das Blockheizkraftwerk und Strombedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2010

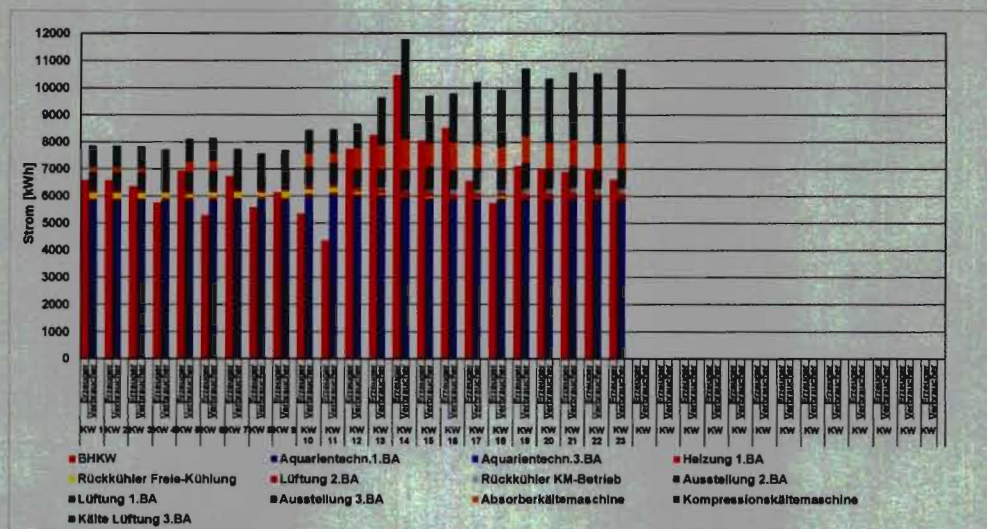


Abbildung 10: Wöchentliche Stromerzeugung durch das Blockheizkraftwerk und Strombedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2011

Der Strombedarf nimmt ab Ende 2008 ab, obwohl der dritte Bauabschnitt mit seinem erheblichen Verbrauch zum Gebäude hinzugekommen ist. Dies ist durch die Umstellung der Kälterzeugung von der Kompressionskältemaschine (Energie aus Strom) auf die Absorberkältemaschine (Energie über das Blockheizkraftwerk aus Erdgas) erklärt.

In Abbildung 11 ist der Jahresverlauf im Strombedarf dargestellt, während Abbildung 12 den Jahresstrombedarf beschreibt.

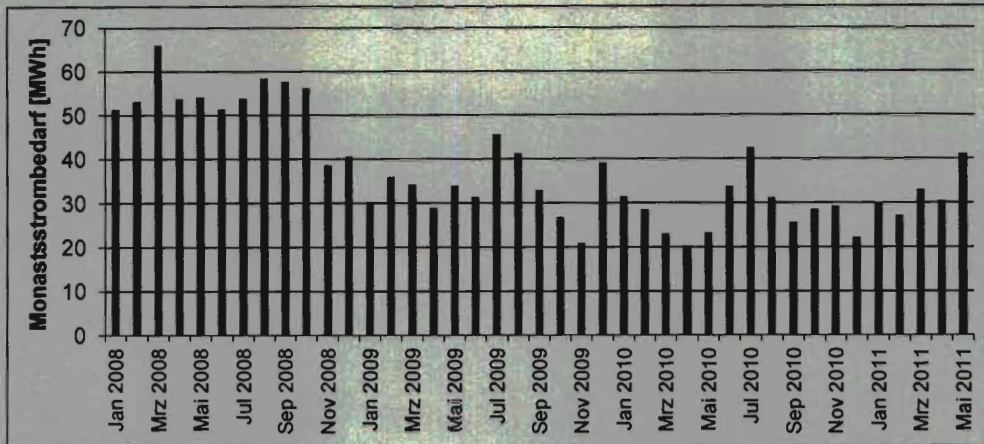


Abbildung 11: Monatlicher Strombedarf der letzten Jahre (Daten des Stromlieferanten)

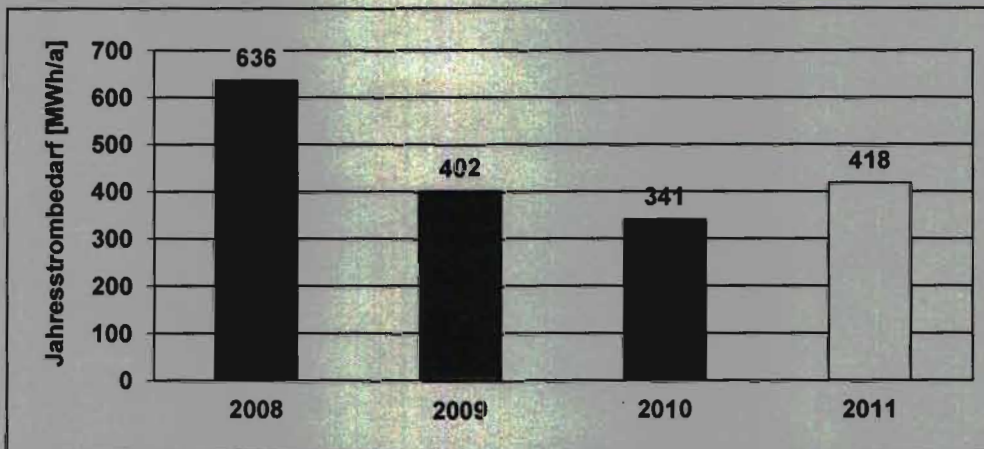


Abbildung 12: Jährlicher Strombezug (für 2011 hochgerechnet), nach Daten des Lieferanten (die Eigenproduktion des Blockheizkraftwerk ist bereits abgezogen)

4.2.3 Erdgas

Der Gasbedarf steigt nach der Erweiterung des Gebäudes (Ende 2008) und Umsetzung des neuen Energiekonzepts an. Erdgas dient sowohl der Erzeugung von Wärme für das Gebäude wie der Erzeugung von Kälte für die Aquarien. Der Jahresverbrauch an Gas ist in der Abbildung 13 dargestellt.

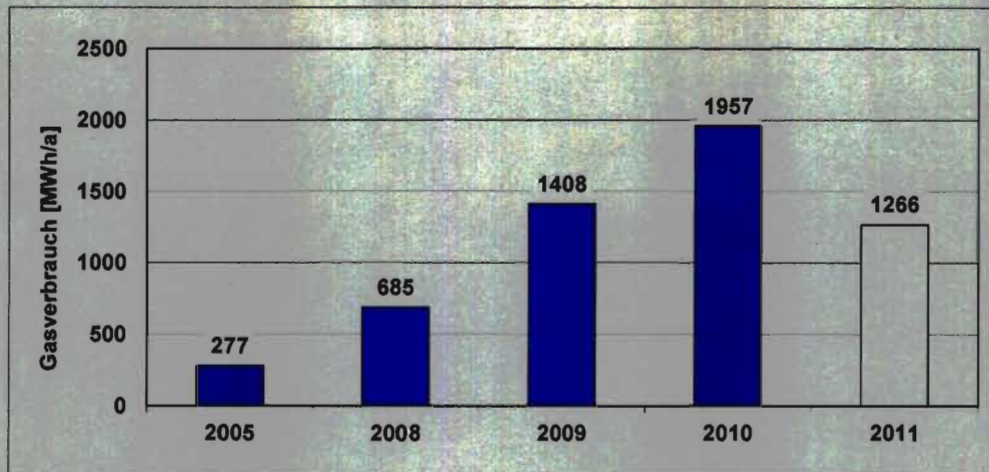


Abbildung 13: Jährlicher Gasverbrauch aus Abrechnungen, Ablesungen und Messdaten (2011 hochgerechnet)

Um einen direkten Vergleich der Jahre zu ermöglichen ist in der Abbildung 14 der witterungsbereinigte Gasverbrauch abgebildet. Nach einer Einlaufphase (2009-2010) wird für 2011 eine Absenkung des Gasverbrauchs angenommen. Genaue Ergebnisse werden Messungen ergeben, die über das Jahr 2011 fortgeführt werden.

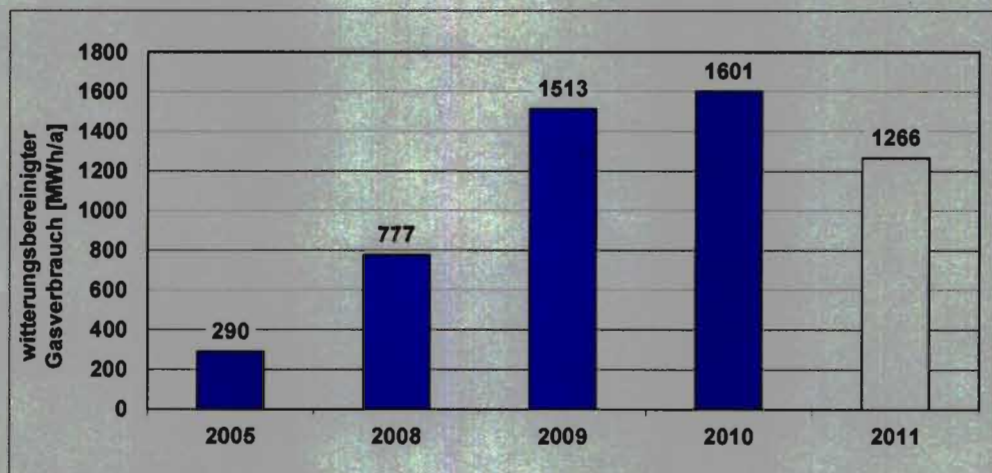


Abbildung 14: Witterungsbereinigter jährlicher Gasverbrauch

4.2.4 Ergebnisse Wärmeerzeugung

Die Abbildung 15 bildet die wöchentlichen Werte der Wärmeerzeuger und Wärmeverbraucher für 2010 und die Abbildung 16 die entsprechenden Werte für 2011 ab. Der Heizenergiebedarf ist die berechnete verbleibende Differenz aus den aufgezeichneten Werten.

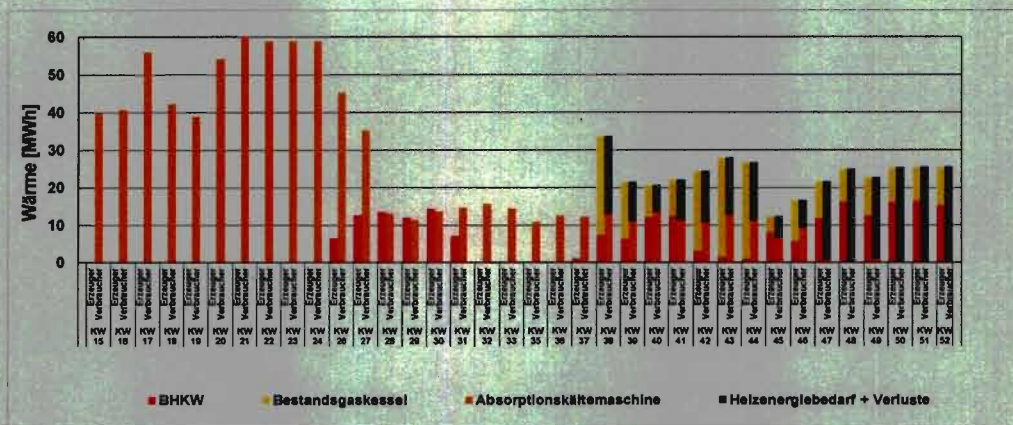


Abbildung 15: Wöchentliche Wärmeerzeugung und Wärmebedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2010

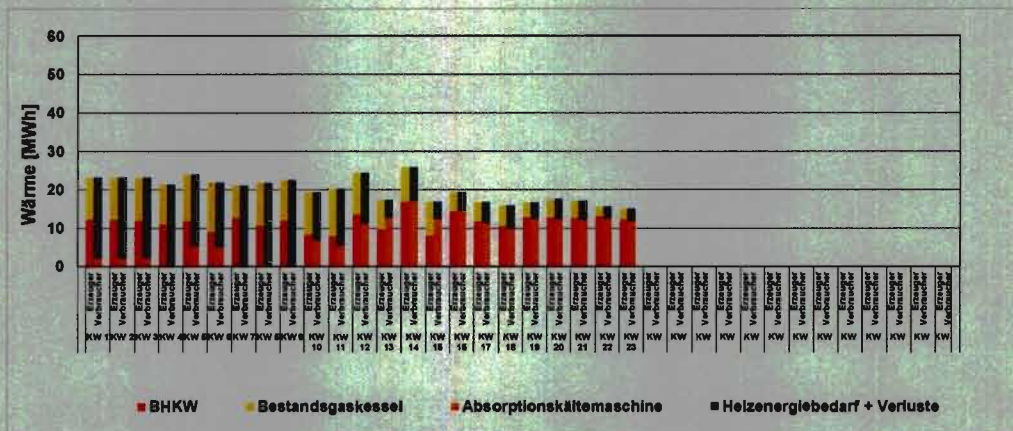


Abbildung 16: Wöchentliche Wärmeerzeugung und Wärmebedarf nach Verbrauchern für das Jahr 2011

Eine Auswertung ist erst ab der 38. Kalenderwoche 2010 möglich, weil erst von diesem Zeitpunkt an der Gasverbrauch des Bestandskessels gemessen wurde. Zuverlässig erscheinen die Messwerte jedoch erst ab der 47. Kalenderwoche. Die Diagramme zeigen, dass eine Verbesserung der Zuverlässigkeit der Wärmeproduktion im Blockheizkraftwerk erreicht werden konnte. Eine weitere Verbesserung der Laufzeitdauer des Blockheizkraftwerks ist jedoch möglich. Die Abbildung 17 zeigt die Anteile des Blockheizkraftwerks und vom Bestandskessel an der Wärmeproduktion. Während das Blockheizkraftwerk annähernd in Vollast läuft (ca. 120 KW) sind die Bestandskessel weit unter der Leistungsspitze (230 KW). Seit Anbeginn der zuverlässigen Messung (45.

Kalenderwoche 2010) und auch im Jahr 2011 liegt der Anteil der Wärmeproduktion des Blockheizkraftwerks etwa bei 58 % (Abbildung 18).

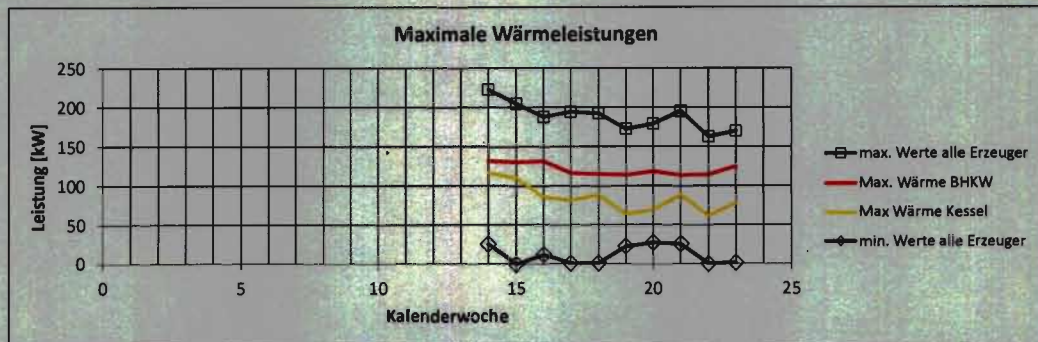


Abbildung 17: Wöchentliche maximal auftretende Wärmeleistungen, die von jedem einzelnen Erzeuger und von allen Erzeugern gleichzeitig über einen Zeitraum von einer Stunde erbracht wurde

Eine weitere Erhöhung des Anteils aus dem Blockheizkraftwerk wird angestrebt. Voraussetzung dazu ist eine Einbindung des Bestandskessels in das System. Es muss sichergestellt werden, dass das Blockheizkraftwerk vorrangig vor dem Bestandskessel die Wärmeproduktion trägt. Bei gleichzeitiger Nutzung anderer Komponenten zur Kühlung (das Blockheizkraftwerk liefert keine Wärme an die Absorberkältemaschine) ist dies möglich.

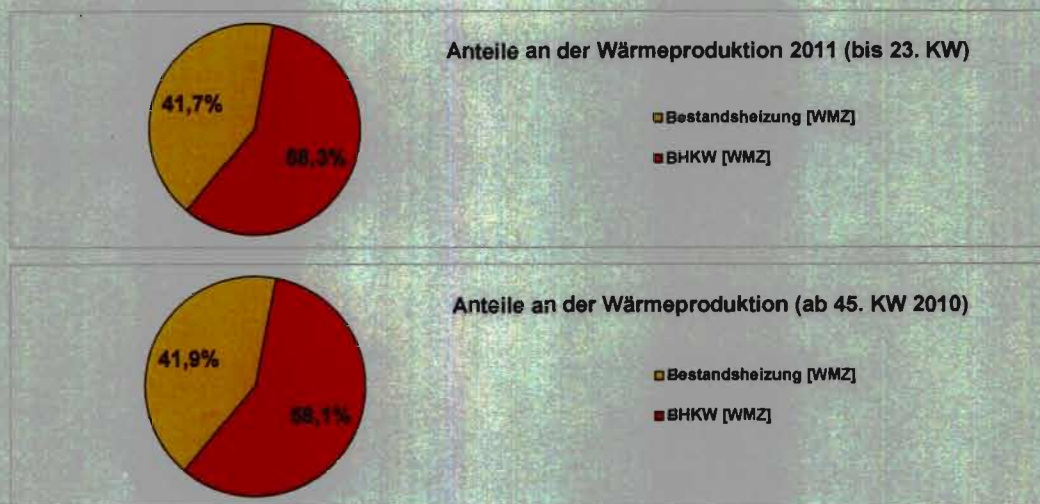


Abbildung 18: Anteile an der Wärmeproduktion (Jahr 2011 und ab der 45. Kalenderwoche 2010)

4.2.5 Blockheizkraftwerk

Das Blockheizkraftwerk hat eine mittlere Vorlauftemperatur von 76° C und eine mittlere Rücklauftemperatur von 62° C. Die Maximaltemperatur liegt bei 84° C. Nach dem Datenblatt sollte eine 90/70 Vor-/Rücklauftemperatur erreicht werden. Eine hohe Vorlauftemperatur spielt eine entscheidende Rolle für die Leistung der Absorberkältemaschine (siehe Kapitel Kälteerzeugung).

Die Laufzeit des Blockheizkraftwerks sollte erhöht werden. Es sollte vorrangig gegenüber dem Bestandsgaskessel laufen. Im Mai 2011 ist zu diesem Zweck eine steuerungstechnische Lösung vorbereitet worden. Derzeit liefert das Blockheizkraftwerk Wärme für den Bedarf der Absorberkältemaschine. Wenn das Blockheizkraftwerk die ganze Zeit durchläuft bzw. im Vorrangbetrieb arbeitet, könnte es sein theoretisches Potential voll ausschöpfen. Derzeit werden nur etwa 2/3 des möglichen Potentials ausgeschöpft.

Der Abbildung 19 ist zu entnehmen, dass das Blockheizkraftwerk stark taktet und immer ausgeht, wenn die Absorberkältemaschine keine Anforderung hat. Es liegt jedoch ein Wärmebedarf vor, da der Bestandskessel läuft. Es ist zu vermuten, dass die produzierte Kälte der Absorberkältemaschine nicht schnell genug und nicht in ausreichendem Maß über den Primärkreislauf in die Becken geleitet werden kann. Als Ursache kommt ein zu klein dimensionierter Wärmetauscher in Betracht. Ziel muss es sein, die vorhandene Kälte zeitnah in die Becken zu leiten, um die Becken, insbesondere das Großbecken, als Pufferspeicher für Kälte zu nutzen. Der Einbau eines größeren Wärmetauschers zur schnelleren Abfuhr der Kälte aus der Absorberkältemaschine und die Nutzung des Großbeckens als Kältepuffer sind für 2012 vorgesehen. Die ständige An- und Abschaltung des Blockheizkraftwerks soll so minimiert werden. Im Idealfall kann die tägliche Regeneration der Absorberkältemaschine (was eine Abschaltung bedeutet) durch den Kältepuffer der Becken kompensiert werden.

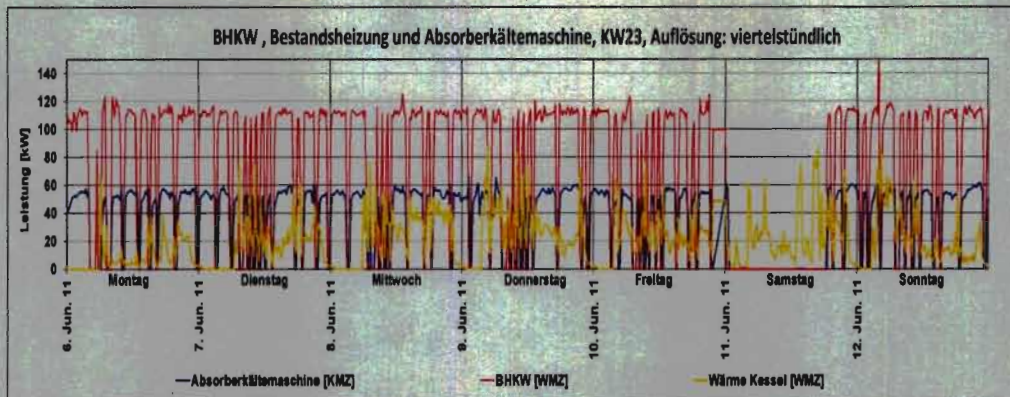


Abbildung 19: Leistung von Blockheizkraftwerk, Kessel und der Absorberkältemaschine (Messwerte in Intervallen von 15 Minuten)

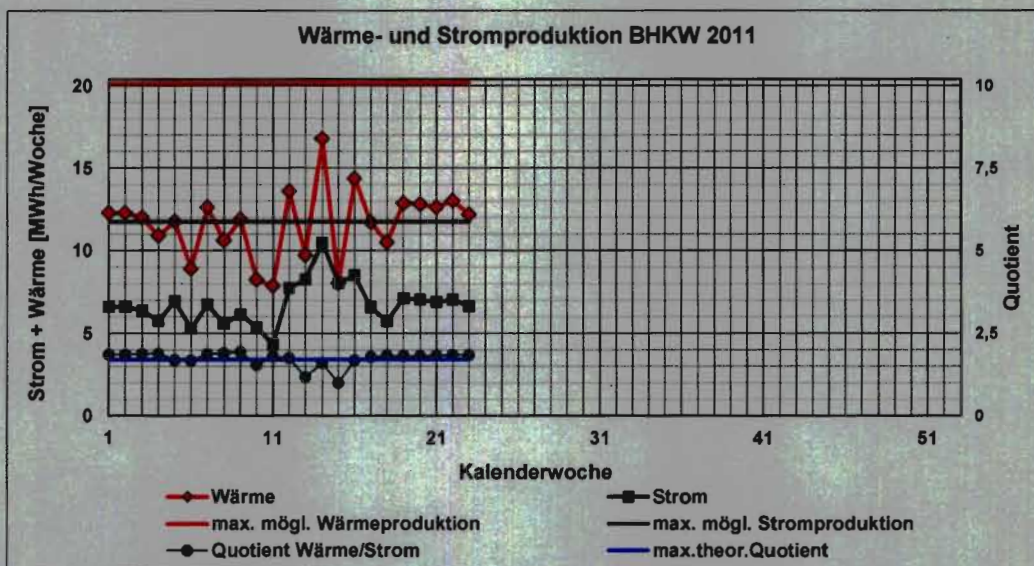


Abbildung 20: Wärme- und Stromproduktion des Blockheizkraftwerks im Jahr 2011 (bis Kalenderwoche 23)

Messungen zur Wärme- und Stromproduktion (Abbildung 20) und der Vergleich mit theoretisch möglichen Produktionen machen deutlich, dass das Blockheizkraftwerk weit hinter den theoretisch möglichen Werten bleibt.

Aktuelle Auswertungen ergeben, dass das Blockheizkraftwerk maximal 120 kW thermisch und maximal 70 kW elektrisch erzeugen kann. Es ergibt sich ein Quotient ($120 \text{ kW}_{\text{therm}} / 70 \text{ kW}_{\text{elektr.}} = 1,71$).

Bei konstantem Betrieb könnte das Blockheizkraftwerk thermisch 20,2 MWh und elektrisch 11,76 MWh pro Woche erzeugen. Diese Werte sind möglicherweise nicht ganz erreichbar, weil nicht immer eine Wärmeanforderung vorliegt, aber die derzeitigen Erträge können noch verbessert werden.

4.2.6 Ergebnisse Kälteerzeugung

Die für die Kühlung der Aquarien benötigte Kälte wird über die folgenden Kälteerzeugungsarten bereitgestellt:

- **Geothermie:**
über 38 Erdsonden wird Wasser von 12° C aus dem Erdreich zur Kühlung der Betonwandung im Großaquarium genutzt. Diese Kühlung findet nur während des Sommers Anwendung, da nur in dieser Zeit die Salzwassertemperatur im Becken über 14° C liegt. Im Winter kann sich das Erdreich wieder abkühlen. Durch eine nachträgliche Absenkung der Wassertemperatur in den Becken hat sich die Nutzbarmachung der Erdkälte noch zusätzlich verringert.
- **Freie Kühlung:**
Die Freie Kühlung nutzt die Außenlufttemperatur. Über einen Wärmetauscher wird bei entsprechender Außentemperatur Kälte direkt in die Becken geleitet. Der Umfang der Nutzung hängt in erster Linie von der Temperatur in den Becken ab. Bei einer Minimaltemperatur von 9° C (Anlage Tiefe Nordsee) sind Außentemperaturen unter 6° C nutzbar. Berechnungen haben gezeigt, dass es energetisch günstiger ist, die Aquarienanlage Kalte Nordsee wenn möglich anders als über die freie Kühlung mit Kälte zu versorgen. Aus diesem Grund wurde in einer Optimierung die Kalte Nordsee in der Übergangszeit im Frühling und Herbst bei Außentemperaturen zwischen 6° C und 9° C über die Kompressionskühlung gekühlt und erst bei Außentemperaturen unter 6° C über die Freie Kühlung. Die Temperaturdifferenz von 3° C in der Lufttemperatur führt zu einer deutlich längeren Laufzeit der Freien Kühlung.
- **Kompressionskältemaschine**
Die Kompressionskältemaschine (Bestand seit 1999) sollte in den ersten Planungen ausschließlich als Reserve im Fall von Ausfällen der übrigen Kühlkomponenten und für Spitzenbedarfe an Kälte dienen. Mit der Optimierung der Freien Kühlung stellt die Kompressionskältemaschine nun zusätzlich die Kühlung der Kalten Nordsee während der Übergangszeiten und bei Bedarf im Sommer sicher.
- **Absorberkältemaschine**
Die Absorberkältemaschine stellt die Grundversorgung mit Kälte während des Sommers und in den Übergangszeiten dar. Der Wärmebedarf der

Absorberkältemaschine ist Voraussetzung für eine möglichst ganzjährige Laufzeit des BHKW. An dieser Stelle wird deutlich, dass ein Wechsel der Energieform von (bezogenem) Strom auf (bezogenem) Gas erfolgt ist.

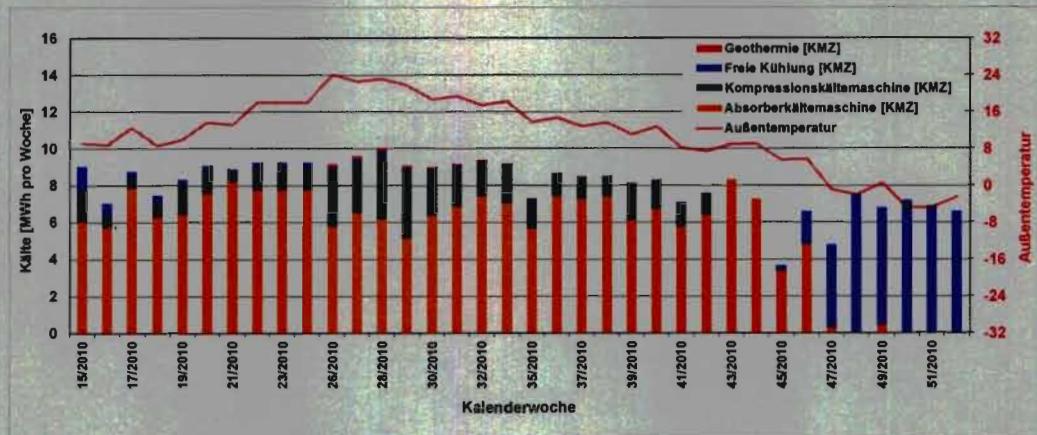


Abbildung 21: Wöchentliche Kälteerzeugung nach Erzeugern für das Jahr 2010

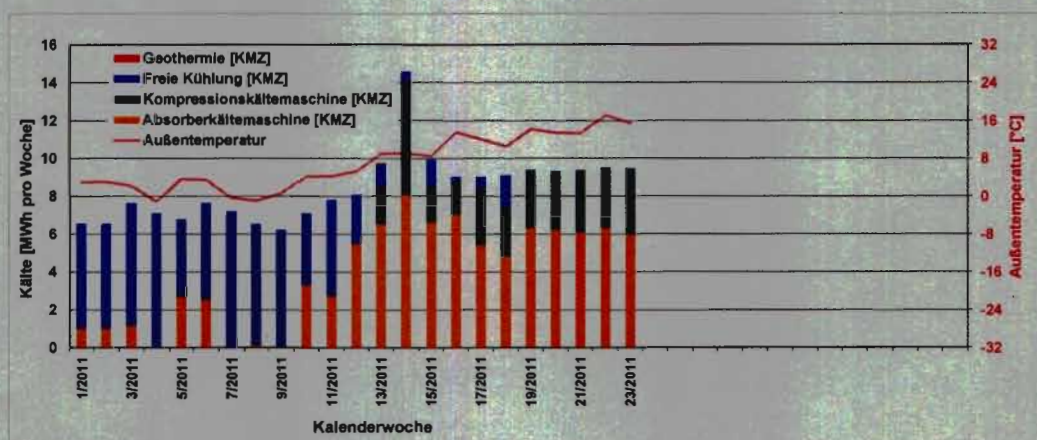


Abbildung 22: Wöchentliche Kälteerzeugung nach Erzeugern für das Jahr 2011

Die Abbildung 21 stellt die Kälteerzeugung für 2010 und die Abbildung 22 stellt die Kälteerzeugung für 2011 dar. Es ist zu erkennen, dass die freie Kühlung erst im Winter 2010/11 korrekt gearbeitet hat, was in der Gesamtbilanz in diesem Jahr (2011) vermutlich zu einem geringeren Stromverbrauch führen wird.

Die folgende Abbildung 23 zeigt den Anteil der einzelnen Komponenten an der Kälteproduktion. Zur Kälteerzeugung tragen die Kompressionskältemaschine, die Absorberkältemaschine, die freie Kühlung und die Geothermie bei. Es ist zu erkennen, dass der Anteil der freien Kühlung an der Kälteproduktion im Jahr 2011 gegenüber dem gesamten Zeitraum stark zugenommen hat.

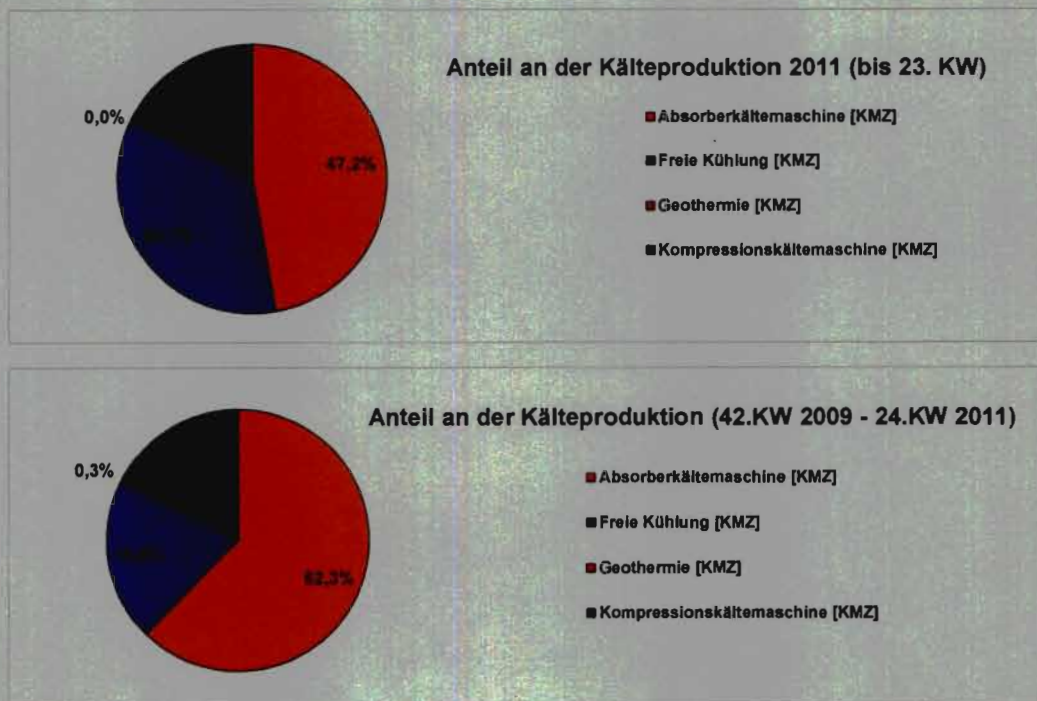


Abbildung 23: Anteile an der Kälteproduktion (fürs Jahr 2011 und ab der 42. Kalenderwoche 2010)

4.2.7 Freie Kühlung

Die Abbildung 24 beschreibt, dass die Freie Kühlung am Anfang des Jahres 2010 nur einen geringen Beitrag zur Kälteerzeugung leistet. Ab Herbst 2010 ist der Fehler (Reglung, falsche Messwerte) behoben und die Freie Kühlung kann ihr Potential ausschöpfen. Mit der Freien Kühlung lässt sich eine Arbeitszahl von 28 erzielen.

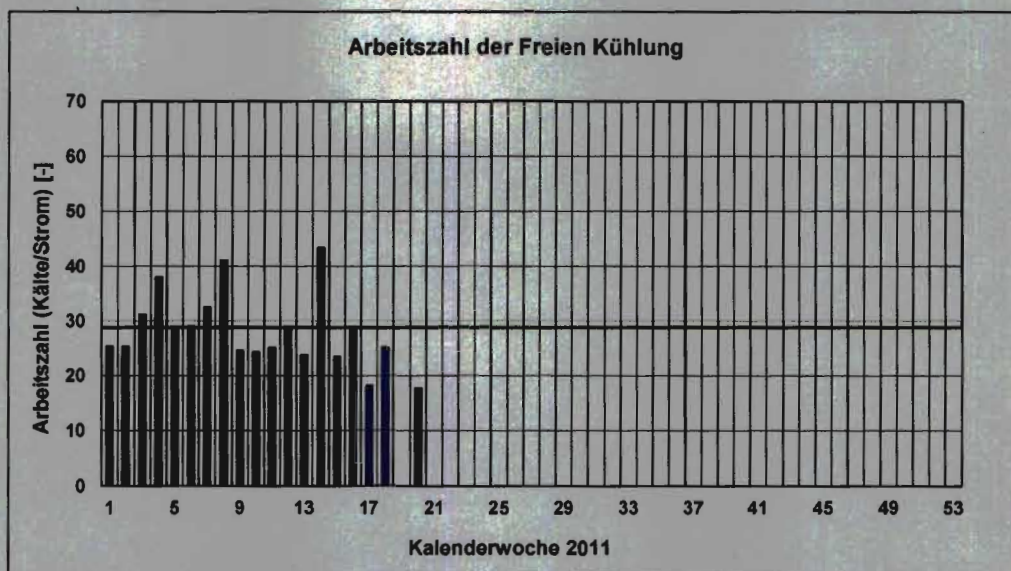
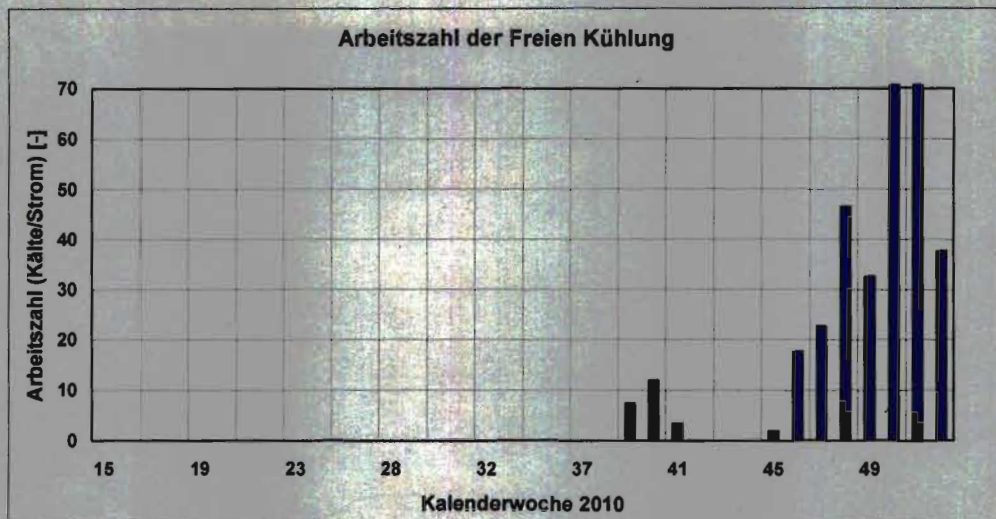


Abbildung 24: Arbeitszahl der Freien Kühlung

Die Freie Kühlung stellt mit Abstand die klimaneutralste und damit kostengünstigste Möglichkeit zur Kühlung des Aquarienwassers dar. Ziel muss es daher sein, die Freie Kühlung möglichst lange zu nutzen. Ausschlaggebend für die Nutzungsdauer der Freien Kühlung ist die niedrigste Wassertemperatur in den Aquarien. Dies war eine benötigte Wassertemperatur von ca. 7° C in der Anlage „Tiefen Nordsee“. Ab ca. 5° C in der Außenluft konnte die Freie Kühlung arbeiten. Die Messungen haben gezeigt, dass eine Verlängerung der Laufzeit der Freien Kühlung erreicht werden kann, wenn die Aquarienanlage „Tiefe Nordsee“ (mit geringem Volumen aber niedriger Wassertemperatur) bei Außentemperaturen ab 6° C aus dem Kühlkreislauf herausgelöst wird und gesondert gekühlt wird. Ab April 2011 geschieht dies gesondert über die vorhandene Kompressionskältemaschine. Damit kann die Freie Kühlung nicht

wie bisher ab einer Außentemperatur unter 6° C arbeiten (bezogen auf die Wassertemperatur in der „Tiefen Nordsee“) sondern bereits ab einer Außentemperatur von ca. 12° C, bezogen auf die Wassertemperatur von 15° C in der übrigen Aquarienanlage. Hierdurch wird sich in Zukunft eine wesentlich längere Laufzeit der Freien Kühlung erzielen lassen.

Anhand der gemessenen Außentemperaturen für den Zeitraum Juni 2010 bis Juni 2011 (Abbildung 25) lässt sich eine Summenhäufigkeitsverteilung (Abbildung 26) erstellen. Es zeigt sich, dass die Freie Kühlung 2.100 Stunden länger laufen kann. (1 Jahr = 8760 Std.).

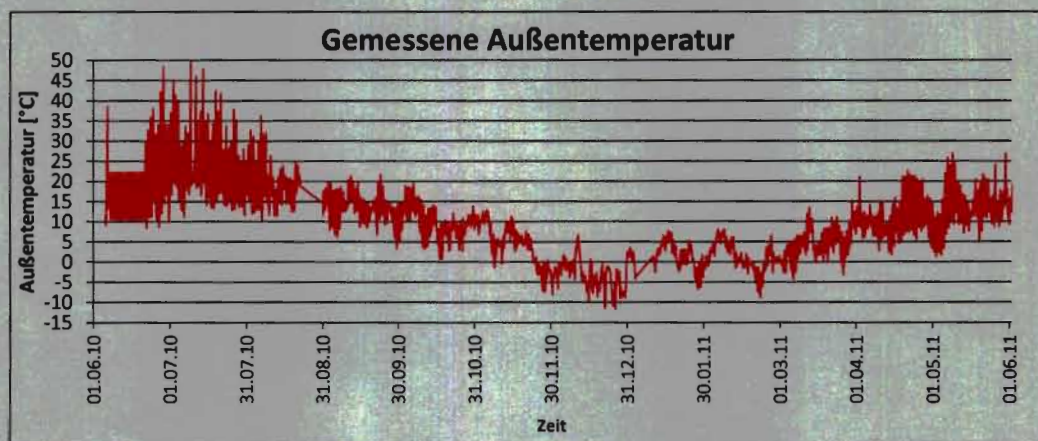


Abbildung 25: Gemessene Außentemperatur am Standort Tönning

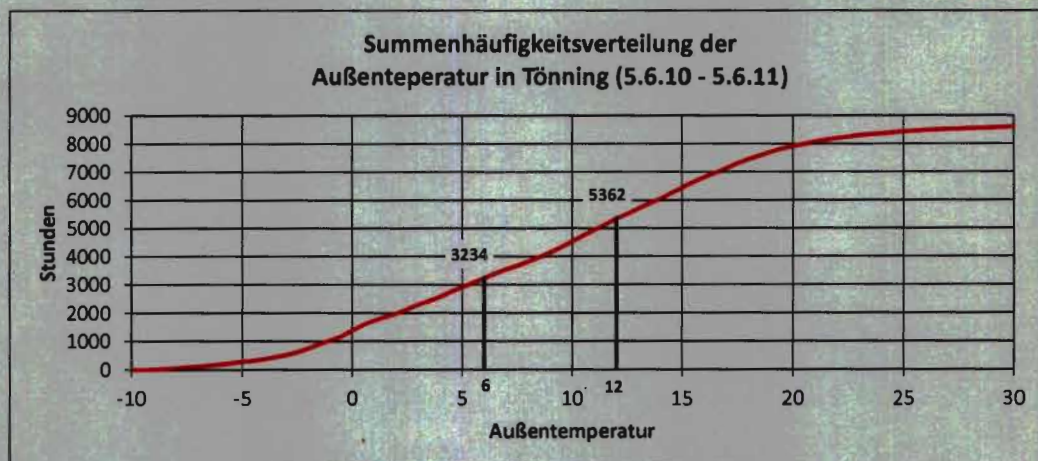


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur

An der Kurve der gemessenen Außentemperatur (Abbildung 25) lässt sich erkennen, dass der Fühler bis Mitte August 2010 scheinbar von der Sonne beschienen wurde. Dieser Fehler wurde erkannt und behoben.

Wie schon oben beschrieben soll die freie Kühlung ab April 2011 wie in der folgenden Abbildung dargestellt betrieben werden.

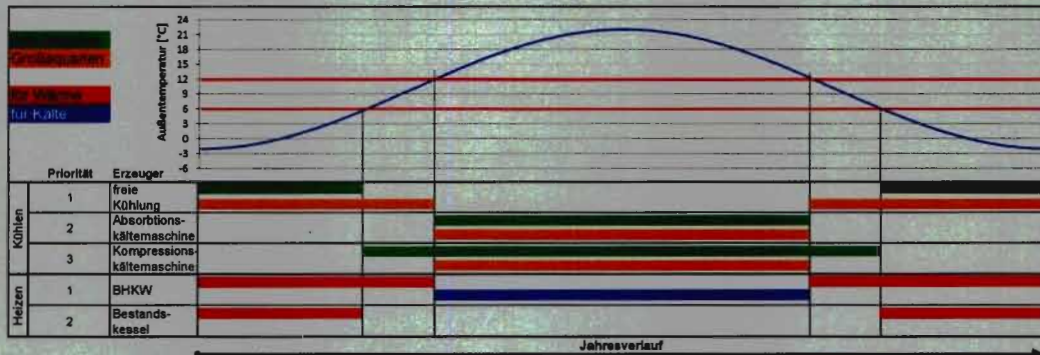


Abbildung 27: Schaltbild der Kälteerzeugung in Abhängigkeit von der Außentemperatur (ab ca. Apr. 2011)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Freie Kühlung unterhalb von 6° C Außentemperatur alle Aquarien inkl. der „Tiefen Nordsee“ mit ausreichend Kälte versorgt. Zwischen 6° C und 12° C werden die Aquarien ohne „Tiefe Nordsee“ weiterhin durch die freie Kühlung gekühlt, die „Tiefe Nordsee“ wird durch die Kompressionskältemaschine gekühlt. Oberhalb von 12° C Außentemperatur versorgt die Absorbierkältemaschine die Aquarien mit Kälte. Dieses Schaltungsprinzip konnte in der Praxis noch nicht überprüft werden, da die Außentemperatur auf einem zu hohen Niveau ist und die Wirkung erst im Winter 2011/2012 auftreten wird.

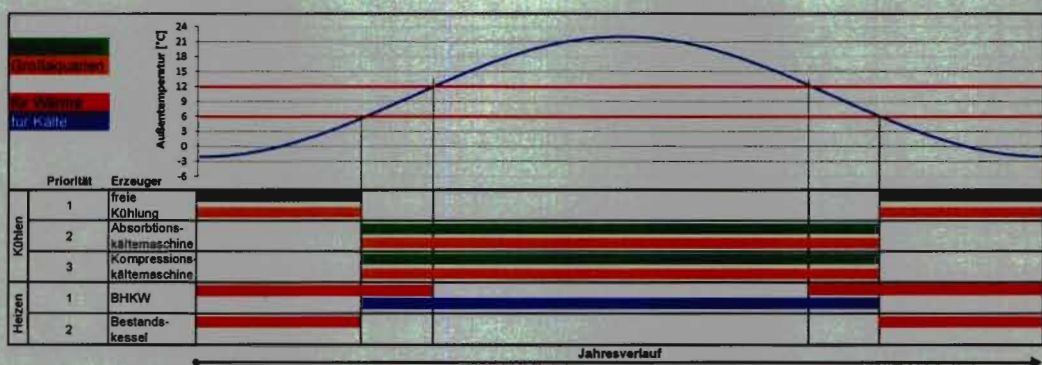


Abbildung 28: Schaltbild der Kälteerzeugung in Abhängigkeit der Außentemperatur (bis ca. April 2011)

Die Abbildung 28 macht deutlich, wie vor der Umstellung die Kälteerzeugung geregelt war. Die freie Kühlung lieferte bis zu einer Außentemperatur von 6° C die notwendige Kälte. Oberhalb von 6° C Außentemperatur sollte die

Absorberkältemaschine vorrangig die Kälte liefern, dann die Kompressionskältemaschine.

4.2.8 Absorberkältemaschine

Mit dem derzeitigen Temperaturniveau (Kaltwasseraustrittstemperatur 7°C , Heizwassereintrittstemperatur 76°C) erreicht die Absorberkältemaschine eine Kälteleistung von etwas über 55 kW (Abbildung 29). Wäre die Heizwassereintrittstemperatur bei 86°C könnte die Absorberkältemaschine ca. 20 kW mehr Kälteleistung erzeugen (Abbildung 30).

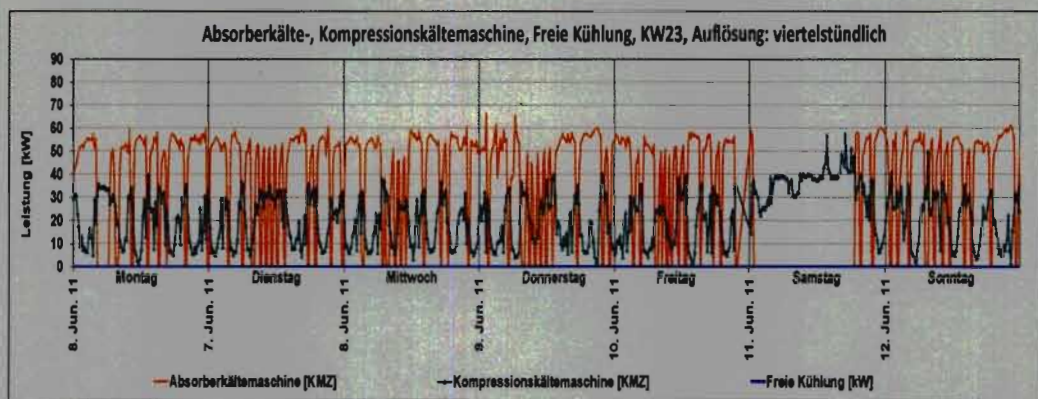


Abbildung 29: Wochenverlauf der Leistung der Kälteerzeuger

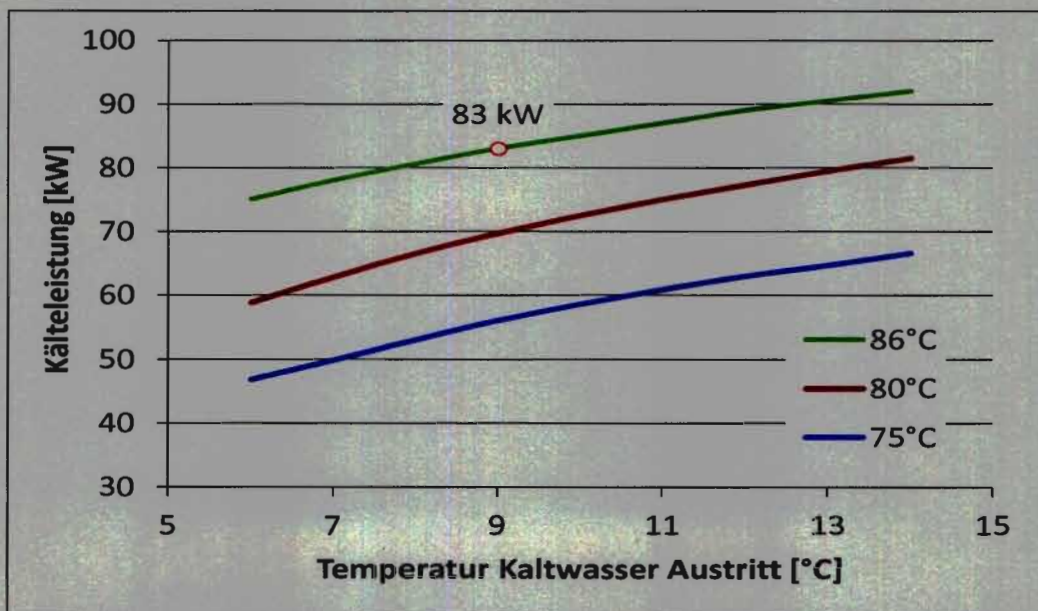


Abbildung 30: Kennfeld der 83 kW Absorberkältemaschine (EAW Wegracal Se 80) bei Kühlwassereintrittstemperatur 27°C (abgeleitet aus dem Kennfeld für eine 54 kW Anlage)

Mit diesem mehr an Kälteleistung wäre die Absorberkältemaschine nahezu allein in der Lage im Sommer die gesamte Kälteleistung von ca. 80 kW zu erzeugen (Abbildung 31).

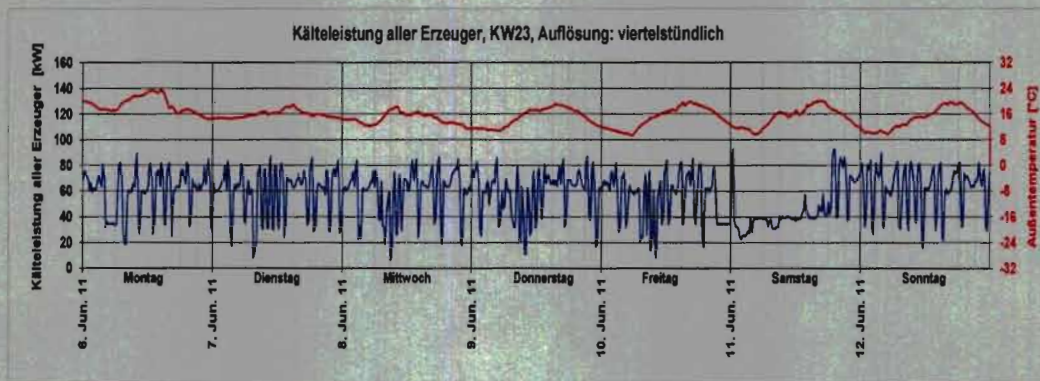


Abbildung 31: Aufsummierung der Kälteleistung aller Erzeuger

Zusammenfassend dargestellt sind die maximalen Kälteleistungen der einzelnen Kälteerzeuger. Es wird deutlich, dass die Kälteerzeugung im Wesentlichen durch die Absorberkältemaschine und die Freie Kühlung sichergestellt sind. Der ohnehin als gering eingeschätzte Anteil der Geothermie ist vernachlässigbar.

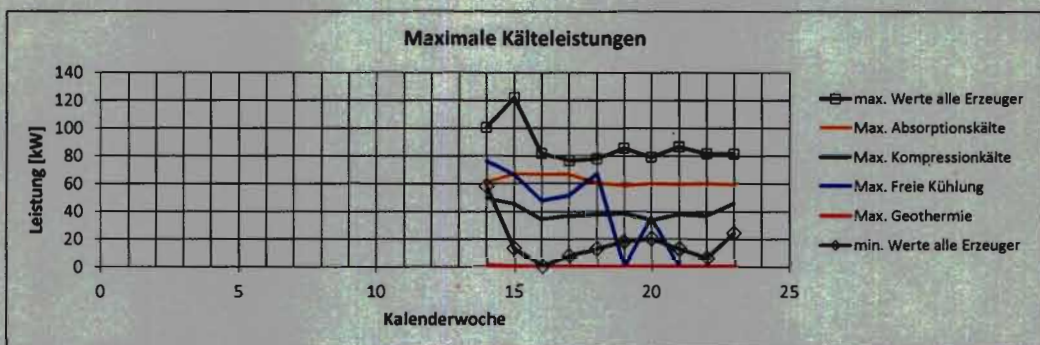


Abbildung 32: Wöchentliche maximale Kälteleistung, die von jedem einzelnen Erzeuger und von allen Erzeugern gleichzeitig über einen Zeitraum von einer Stunde erbracht wurde

Die nachfolgende Abbildung belegt, wie wenig effizient die Kälteerzeugung einer Kompressionskältemaschine mit einer Arbeitszahl von ca. 2 ist. Aufgrund des Alters der vorhandenen Kompressionskältemaschine ist damit zu rechnen, dass diese bald ersetzt werden muss. Aus Sicherheitsgründen (Ausfall oder Wartung

der neuen Kältekomponenten) wird trotz der geringen Arbeitszahl auf eine Kompressionskältemaschine nicht verzichtet werden können.

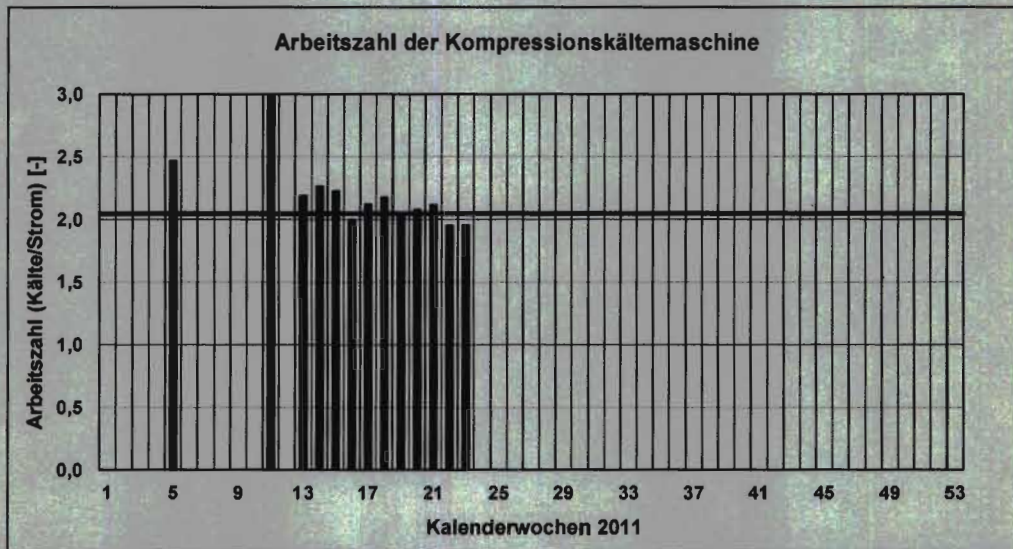


Abbildung 33: Arbeitszahl der Kompressionskältemaschine

4.2.9 Geothermie

Die Geothermie dient zur direkten Kühlung der Aquarienwände im Großaquarium und minimiert bzw. kompensiert den Wärmeeintrag über die Beckenwand. Derzeit liegt die Wassertemperatur im Erdreich konstant bei ca. 11° C. Eine Nutzung kann nur im Sommer erfolgen, wenn die Wassertemperatur im Großaquarium bei ca. 15° C liegt und eine Temperaturdifferenz von mindestens 4 °C. sichergestellt ist. Aufgrund der relativ kurzen Laufzeiten der Erdkühlung konnte eine Erhöhung der Temperatur im Boden bisher noch nicht festgestellt werden.

Eine sinnvolle Nutzung der Erdkälte ist nur unter Hinzuschaltung einer Wärmepumpe möglich. Das Temperaturniveau muss um 5 bis 10 Kelvin abgesenkt werden.



Schlauchenden der Erdsonden



Bauteiltemperierung großes Aquarium, Rohrschlangen in der Bewährung

Bild 3: Bauelemente der Geothermie

4.2.10 Ergebnisse Raumklima

An Tagen mit höheren Besucherzahlen (vornehmlich im Sommer oder bei Sonderveranstaltungen) können bis zu 1.400 ppm CO₂ erreicht werden (Abbildung 34). Dieser Wert kann, besonders wenn er nur kurze Zeit wirkt, als noch zufriedenstellend betrachtet werden.

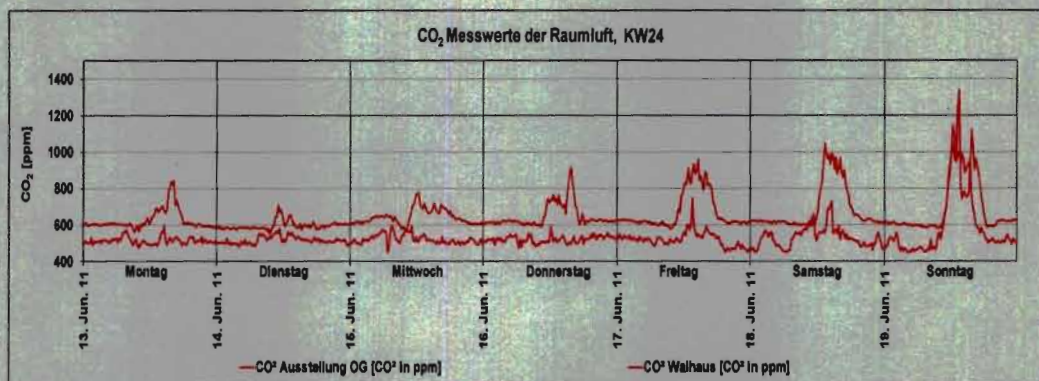


Abbildung 34: Typischer Wochenverlauf der CO₂ Konzentration



Natürliche geregelte Lüftung über Fensterflügel

Natürliche Lüftung über Dachflächenfenster

Bild 4: Bauelemente der natürlichen Lüftung

4.2.11 Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit der Kälteerzeugung

Nachfolgend wird exemplarisch dargestellt, wie teuer eine Kilowattstunde Kälte ist und wie viel CO₂ ihre Gestehung verursacht. Die Daten stammen aus den Messwerten. Für die Absorberkältemaschine wurden die Daten der 23. Kalenderwoche 2011 herangezogen. Der Energiepreis für Gas stammt aus dem August 2010, der Strompreis aus April 2011.

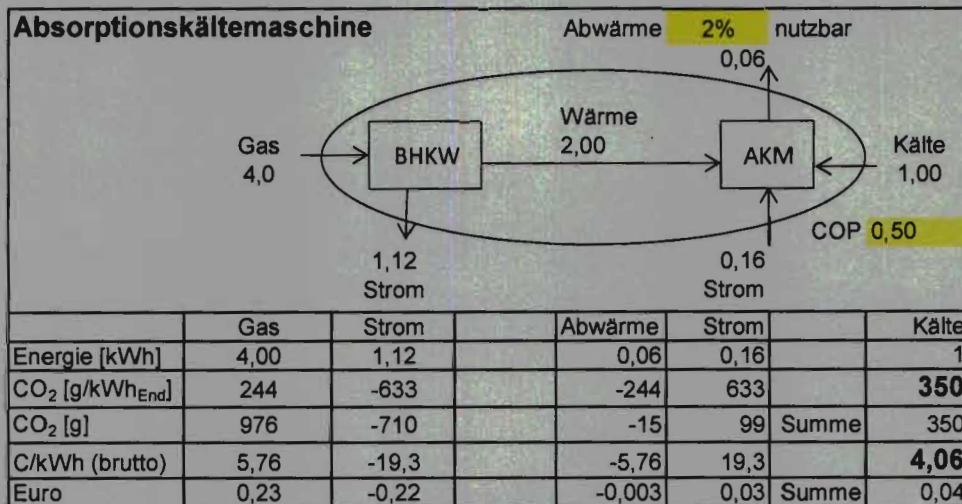


Abbildung 35: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine

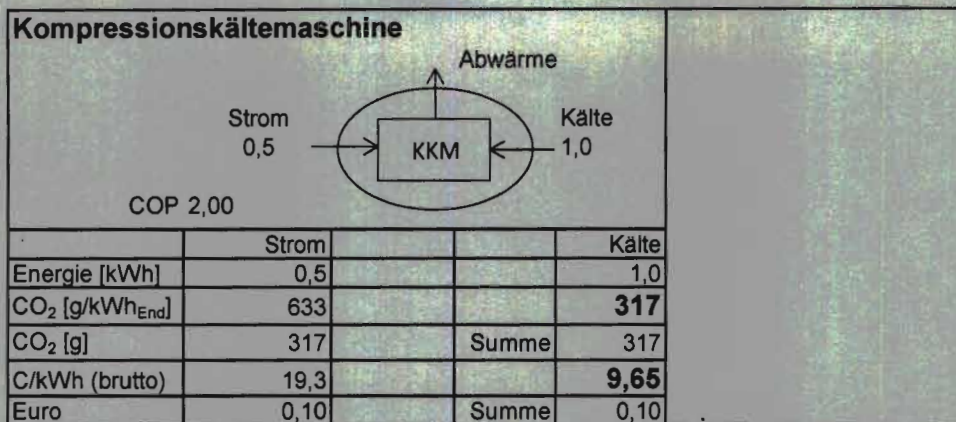


Abbildung 36: Schema der Kälteerzeugung mit der Kompressionskältemaschine

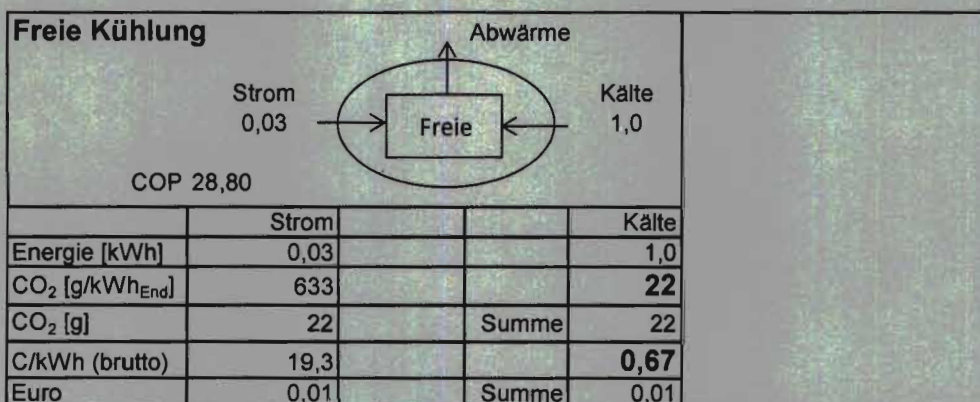


Abbildung 37: Schema der Kälteerzeugung mit der Freien Kühlung

Der Preis für eine Kilowattstunde Kälte der Absorberkältemaschine hängt stark vom Anteil der Abwärmenutzung ab. Bei einem nutzbaren Anteil der Abwärme von 10% läge der Preis nur noch bei 2,7 C/kWh statt bei 4,1 C/kWh. Auch durch die Erhöhung der Heizwassertemperatur (von durchschnittlich 76° C auf 86° C) würde der Wirkungsgrad (COP) der Absorberkältemaschine steigen und der Preis von 4,1 auf 3,1 C/kWh fallen. (vergl. nachfolgende Grafik). Beide Maßnahmen zusammengenommen hätten einen Preis von 1,9 C/kWh zur Folge. Entsprechend des Preises würde sich auch der CO₂-Ausstoß pro Kilowattstunde mit einer Verbesserung der Arbeitszahl bzw. mit einer erhöhten Nutzung der Abwärme verbessern.

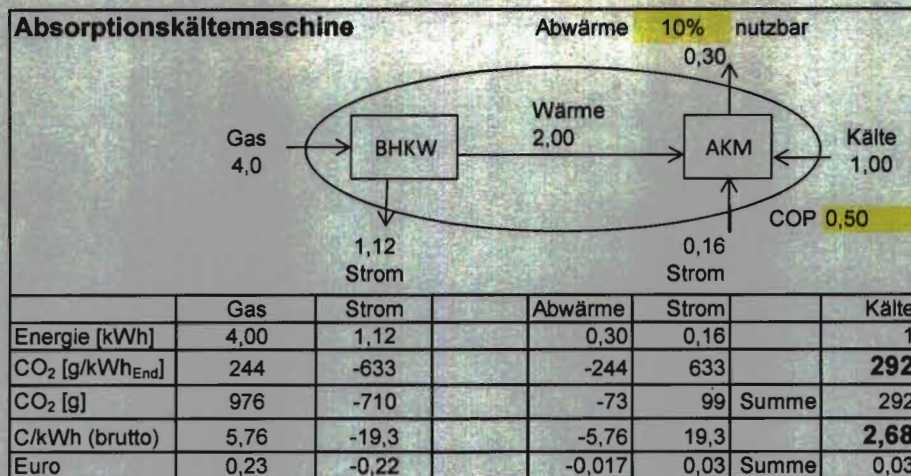


Abbildung 38: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine (mehr Abwärmernutzung)

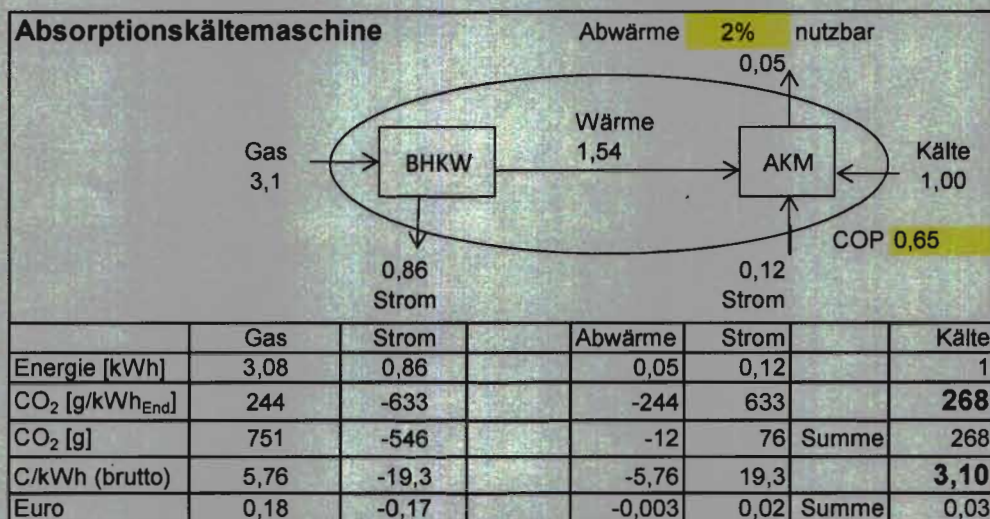


Abbildung 39: Schema der Kälteerzeugung mit der Absorberkältemaschine bessere Arbeitszahl)

4.2.12 Zusammenfassung

Funktion Monitoring

Ein Großteil der Messdaten wird von der Gebäudeleittechnik erfasst und gespeichert. Wöchentlich werden Datensätze automatisch per E-Mail zur Auswertung gesandt. Zusätzlich werden vom technischen Personal in regelmäßigen Abständen aufgeschriebene Zählerstände übersandt. Nach

Anfangsschwierigkeiten der Messdatenerfassung funktioniert die Datenaufnahme derzeit meist zufriedenstellend.

Strom

Anhand der Lastgänge des Versorgers ist ein deutlicher Rückgang des Strombezugs zu erkennen auf ca. 400 MWh/a. Hier liegt der Hauptgrund in der Stromproduktion des Blockheizkraftwerks und in der geringeren Laufzeit der Kompressionskälte. Hauptverbraucher sind die Aquarientechnik 1. und 3. Bauabschnitt.

Wärme

Der Erdgasbedarf ist durch die Umstellung der Kälteerzeugung von Strom (Kompressionskältemaschine) auf Gas (Blockheizkraftwerk angestiegen (Jahr 2010 fast 2.000 MWh/a). Der Anteil des Blockheizkraftwerks an der Wärmeproduktion konnte auf derzeit 58 % erhöht werden. Eine Steigerung ist mit den technischen Möglichkeiten möglich (Optimierung ab 2012). Die Nutzung der Abwärme für die Raumbeheizung der AKM ist relativ gering.

Kälte

Die freie Kühlung über den Rückkühler ist an Tagen mit niedriger Außentemperatur erfolgreich. Nach der Einregulierungsphase konnte der Anteil der freien Kühlung stark gesteigert werden. Er betrug im Jahr 2011 bis zur 23. Kalenderwoche, was etwa 35 % des Kältebedarfs ausmacht. Da im Winter 2010/2011 nur unterhalb 6° C Außentemperatur frei gekühlt werden konnte, wurde die „tiefe Nordsee“ an die Kompressionskälte angeschlossen. Im kommenden Winter ist dadurch eine bessere Ausnutzung bis ca. 10° C Außentemperatur möglich. Die Effizienz der freien Kühlung ist sehr gut. Die „Arbeitszahl“ (Nutzen / Aufwand) beträgt knapp 30 (Vergleich: Übliche Wärmepumpe 3 bis 4). Die Absorberkältemaschine deckt im Jahr 2011 bis zur 23. Kalenderwoche 47 % der Kältearbeit. Der Restbedarf von 18 % wird durch die Kompressionskältemaschine abgedeckt. Die Geothermie versorgt nur das Großaquarium und deckt dort lediglich einen Anteil von unter 1 % ab. Die geänderte (niedrigere) Temperaturanforderung des Großaquariums senkt die Nutzbarkeit der Geothermie zusätzlich ab. Somit kann das Erdreich nicht effektiv genutzt werden. Unter Beibehaltung der niedrigen Beckentemperatur müsste eine Wärmepumpe zur leichten weiteren Absenkung der durch das Erdreich vorgekühlten Wassermengen zwischengeschaltet werden.

Natürliche Lüftung

Die Ergänzung der mechanischen Lüftung durch eine natürliche Lüftung hat sich bewährt. Der Energiebedarf ist deutlich gesunken. Eine zusätzliche Reduzierung des Energiebedarfs kann durch eine Optimierung der Luftmengen gerade an kalten Tagen erreicht werden.

Weiteres Vorgehen / Optimierung

- Der Vorlauf des Blockheizkraftwerks soll nach Möglichkeit angehoben werden (Ist Vorlauf Mittelwert 76° C, Datenblatt 90° C). Die Kälteausbeute der Absorberkältemaschine liegt mit ca. 55 kW deutlich unter der Nennleistung. Somit muss die Kompressionskälte zeitweise den Restbedarfs abdecken (Bedarf derzeit ca. 80 kW).
- Die Laufzeiten des Blockheizkraftwerks können noch weiter erhöht werden (Vorrangschaltung wird derzeit aufgebaut).
- Weiterhin sollten Möglichkeiten zur Absenkung des Kältebedarfs gesucht werden (Dämmung Becken, Rohleitungen prüfen) mit dem Ziel den bedarf weitgehend durch die Absorberkältemaschine zu decken.
- Eine verbesserte Einbindung der Abwärme der Absorberkältemaschine in das Heizsystem ist anzustreben.
- Um Heizkosten zu sparen kann der winterliche Luftwechsel weiter abgesenkt werden. Die CO₂-Werte liegen meist deutlich unter 1.000 ppm.
- Einsparpotenziale im Strombereich können erschlossen werden (Prüfung der Effizienz der Umwälzpumpen, Beleuchtung 1. + 2. Bauabschnitt).

4.3 Ausstellung

4.3.1 Konzept

Die Ausstellung gliedert sich in 3 Ebenen der Betrachtung und wird neben der Darstellung des eigentlichen Energiekonzepts weitere Aspekte eines „nachhaltigen Betriebs“ aufnehmen. Auf der ersten Betrachtungsebene, der Darstellung der Phänomene, ist an einem Gebäudemodell des Multimar Wattforums exemplarisch das Zusammenwirken der einzelnen technischen

Lösungen dargestellt werden. Den Besucherinnen und Besuchern soll so eine Orientierung im Gebäude erleichtert werden. Auf der zweiten Betrachtungsebene, der Vertiefung durch Erfahren, können Besucherinnen und Besuchern spielerisch Effekte der eingesetzten Technik begreifen. In einer Computeranimation kann durch Verändern von Systemparametern entweder die Heizung im Gebäude oder aber die Kälteversorgung in den Aquarien verändert werden. Die Folgen der Änderungen werden sofort sichtbar. Auf der dritten Betrachtungsebene, der Anleitung zu eigenem Handeln, werden Ansatzpunkte für das eigene Leben im häuslichen Umfeld gegeben.

4.3.2 Umsetzung in der Ausstellung

Die Ausstellung zum Energiekonzept stellt einen eigenen thematischen Schwerpunkt im Multimar Wattforum dar. Wie die anderen Ausstellungen „Nationalpark Wattenmeer“, „Wale, Watt und Weltmeere“, „Wasserrahmenrichtlinie“, „Fischerei“ und „Weltnaturerbe“ folgt auch die „Energieausstellung“ dem Grunddesign des Multimar Wattforum. Die Wahl des Standorts war von der Überlegung geleitet, dass möglichst alle Besucherinnen und Besucher die Ausstellung als eigenständiges Element in der Gesamtpräsentation wahrnehmen sollten. Es bot sich daher an, die Ausstellung im Eingangsbereich zu positionieren. Von der eigentlichen Idee, die Ausstellung sogar außerhalb des eigentlichen „Bezahlbereichs“ unmittelbar am Eingang anzusiedeln musste aber aus technischen Gründen abgewichen werden.

Erfahrungen im ersten Jahr haben gezeigt, dass der ausgewählte Standort nicht optimal war. Besucherbeobachtungen haben belegt, dass die Besucherinnen und Besucher zu Beginn des Besuchs „in die eigentliche Ausstellung drängen“ und die eigenständige Ausstellung zum Energiekonzept nicht wirklich wahrnehmen. Die Erwartung an eine Nationalpark-Ausstellung wird geprägt durch Freude auf Naturdarstellung, lebende Tiere und Erklärungen zur „Wildnis“. Das Thema Gebäudetechnik, selbst mit seiner positiven Wirkung auf Natur, passt nicht zu dieser Erwartung. Fragen wie: Wo geht's denn hier zu den Aquarien? oder Was hat das mit dem Watt zu tun? Waren häufige Reaktionen. Das Gebäudemodell wurde fast ausschließlich zur Orientierung genutzt. Hinzu kam, dass nur der Computer mit einem Sitzplatz ausgestattet war, nicht aber das Spiel „Ursache – Wirkung – Regelkreis“, dessen Vermittlungsspielidee zum längeren Verweilen einlud. Auf diese Erkenntnis wurde reagiert und der Standort wurde verlegt. Im

Folgenden werden daher die beiden Standorte im Eingangsbereich und im Restaurantbereich gesondert beschrieben werden. Da sich die einzelnen Ausstellungselemente nicht geändert haben, erfolgt deren Beschreibung nur einmal.

Standort Eingangsbereich

Unmittelbar nach der Kasse trafen die Besucherinnen und Besucher auf ein interaktives Gebäudemodell (Bild 5). Das Gebäudemodell soll Aufmerksamkeit wecken und darauf hinweisen, dass im Multimar Wattforum das Thema Energie und Haustechnik in einer eigenen Ausstellung thematisiert ist. Es beschreibt die wesentlichen Funktionen der Haustechnik und der Aquarienanlage und ermöglicht eine Orientierung und Zuordnung der technischen Umsetzung im Gebäude. Es ist im Raum so ausgerichtet, dass die Lage des Modells mit dem realen Haus übereinstimmt. Der Standort des Modells kann per Knopfdruck sichtbar gemacht werden (Leuchtdioden).



Bild 5: Gebäudemodell Multimar Wattforum mit Auswahlmöglichkeit zur Darstellung des Standorts und der Komponenten des Energiekonzepts

Die Besucherinnen und Besucher haben die Möglichkeit durch Knopfdruck Informationen zu folgenden acht Themen abzurufen (Bild 6).

- Standort (Orientierung im Gebäude) (Bild 6)
- Untergeschoss (Orientierung im Gebäude)
- Erdgeschoss (Orientierung im Gebäude)

- Obergeschoss (Orientierung im Gebäude)
- Heizung (Elemente der Heizung) (Bild 7)
- Geothermie (Nutzung der Erdkälte) (Bild 8)
- Kühlung (Elemente der Kühlung)
- Photovoltaik (Energiegewinnung aus der Sonne)



Bild 6: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung des Standorts

Es lässt durch die transparente Darstellung den Blick auch hinter die Kulissen zu und beschreibt die Lage der Systemkomponenten im Haus.

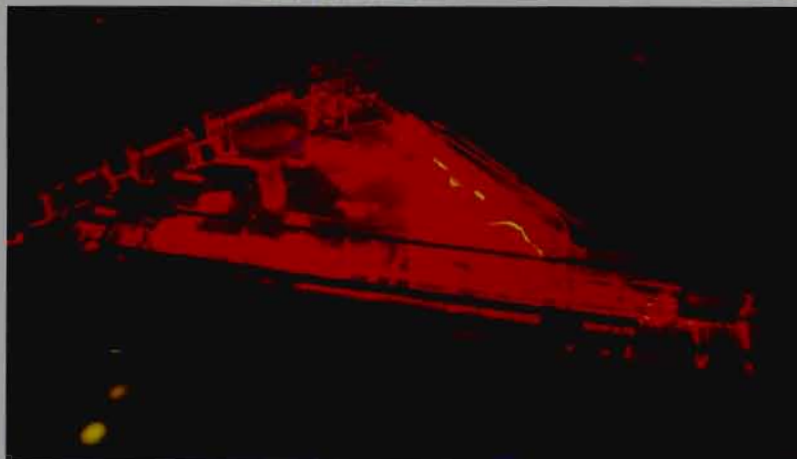


Bild 7: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung der Heizung

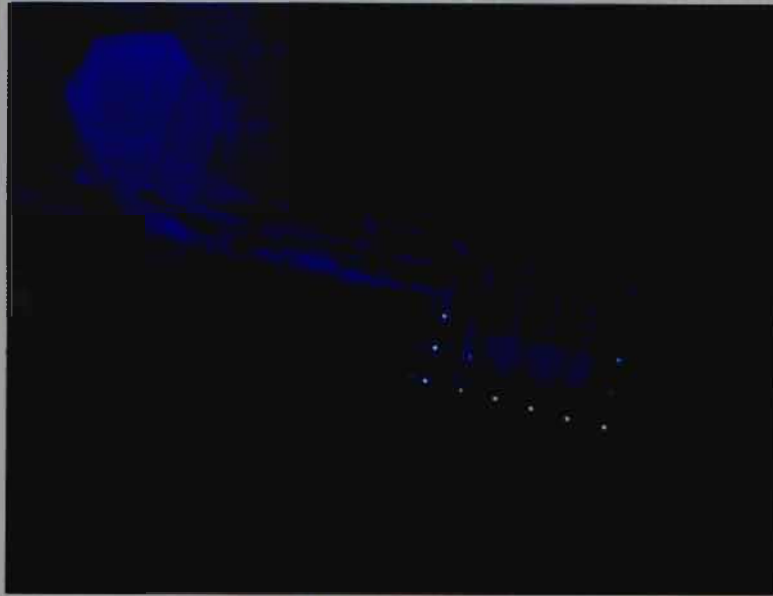


Bild 8: Detailausschnitt aus dem Gebäudemodell. Darstellung der Geothermie

Durch die Zuordnung der einzelnen Systemkomponenten des Energiekonzeptes im Modell zur Realität im Gebäude verliert die Technik den Charakter einer abstrakten Maschine und wird im Energiekonzept zu einer verständlichen Einheit mit klarer Zuordnung und Funktion. Diese erste Betrachtungsebene, Darstellung der Phänomene, wird fortgesetzt in der eigentlichen Beschreibung der Systemkomponenten, was der zweiten Betrachtungsebene entspricht. Sie erfolgt eingebunden in die vorhandene Architektur in einem geschwungenen Exponat (Bild 9). Stützen des Gebäudes dienen dabei als Tragwerk und seitliche Begrenzung.



Bild 9: Ausstellungswand im Eingangsbereich (Gebäudemodell links vorne)

Die Energieausstellung mit dem Modell (links im Bild 9) und der Ausstellungswand (rechts im Bild 9) wirkt trotz der gleichen Gestaltung wie in der übrigen Ausstellung als Solitär. Die Ausstellungswand enthält vier verschiedene Spiel- und Informationselemente, wobei drei Elemente der zweiten Betrachtungsebene, Vertiefung durch Erfahrung, zuzuordnen sind.

Das erste Element der Vertiefung, ein Computersitzplatz (Bild 9 am linken Rand der Ausstellungswand), ermöglicht einen Zugang zu unterschiedlichen Internetseiten, die sich mit den Thema Energie und Haustechnik beschäftigen.

Das zweite Element der Vertiefung, eine Computersimulation (Bild 9 links im Zentrum der Ausstellungswand), ermöglicht es den Gästen direkt in das „Energiekonzept“ regelnd einzugreifen (Bild 10).



Bild 10: Interaktives Computerspiel zur Simulation der Wärmeerzeugung (Heizung im Gebäude) und Kälteerzeugung (Kühlung in den Aquarien)

Durch die Änderung einzelner Parameter der Gebäudeheizung über Drehknöpfe vor den Bildschirmen kann dabei die Auswirkung des Eingriffs im Gebäude dargestellt werden: Bei zu geringer Heizung friert ein Besucher, bei zu starker Heizung schwitzt er. Diese Situation ist im Bild 10 dargestellt. Durch die Änderung einzelner Parameter der Aquarienkühlung über Drehknöpfe vor den Bildschirmen kann dabei Auswirkung des Eingriffs in der Aquarienanlage dargestellt werden. Bei zu starker Kühlung friert ein Fisch, bei zu geringer Kühlung schwitzt er. Diese Situation ist nicht dargestellt. Komplexe Abläufe im

System lassen sich so durch Ursache – Wirkung - Regelkreise veranschaulichen. In beiden Fällen (Gebäudeheizung, Aquarienkühlung) werden neben dem plakativen Bild des Gastes bzw. des Fisches die Produktion an CO₂ und der Energieverbrauch dargestellt.

Das dritte Element der Vertiefung, eine Grafik mit Erläuterungen (Bild 9 rechts im Zentrum der Ausstellungswand), ermöglicht es den Gästen, die spielerischen Erfahrungen mit konkreten Beschreibungen zur Funktionsweise und das Zusammenspiel der einzelnen Systembestandteile in der Wirklichkeit nachzulesen (Bild 11).

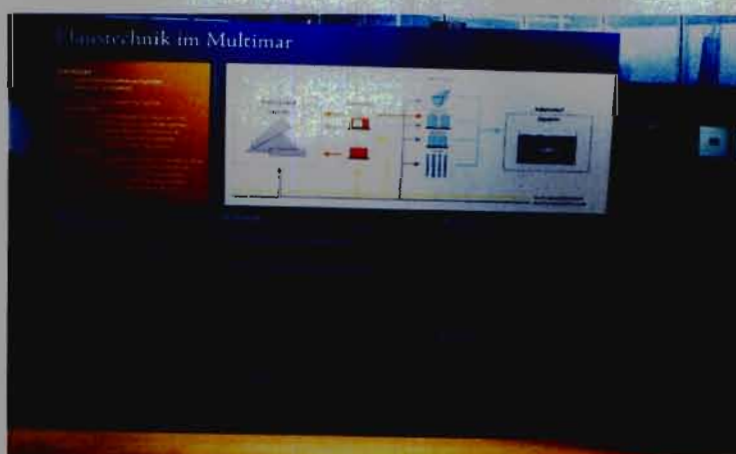


Bild 11: Schematische Darstellung der Wärme- und Kälteerzeugung mit Erläuterungen

Die dritte Betrachtungsebene, der Anleitung zu eigenem Handeln (Bild 9 am rechten Rand der Ausstellungswand), wird eine Einheit zum Energiesparen im persönlichen Umfeld dargestellt (Bild 12). Unterschiedliche Verbraucher mit ihren Verbrauchswerten sind dargestellt. Es soll gezeigt werden, wie viel Energie verbraucht wird und wie viel Kosten entstehen, wenn Geräte im „stand by Betrieb“ angeschaltet sind. Es wird dargestellt, dass durch den Kauf und die Nutzung einer abschaltbaren Stromschiene (im Shop erhältlich) innerhalb eines Jahres der Eintritt für eine Familie im Multimar eingespart werden kann.

Ziel der Ausstellung ist es, über die Darstellung ungewöhnlicher technischer Lösungen im Multimar Watforum nicht nur aufzuzeigen, welche Umweltentlastungen in Form einer reduzierten Produktion an CO₂ möglich ist, sondern auch welche finanziellen Vorteile sich aus energiebewussten Handeln für jeden Anwender ergeben, direkt in € ablesbar.



Bild 12: Beispiele für eigenes Handeln zu Energieeinsparung

Standort Restaurantbereich:

Unter Berücksichtigung der Gästebedürfnisse wurde wieder ein Gebäudebereich im Obergeschoss gewählt, der nicht unmittelbar zum Ausstellungsbereich gehört, aber zwingend von den Gästen passiert werden muss. Ein Areal zwischen Shop und Restaurant erwies sich als geeignet. Nach Verlassen der Ausstellungen im Erd- oder Untergeschoss kann man jetzt die Energie-Konzept-Ausstellung über zwei Treppen erreichen.

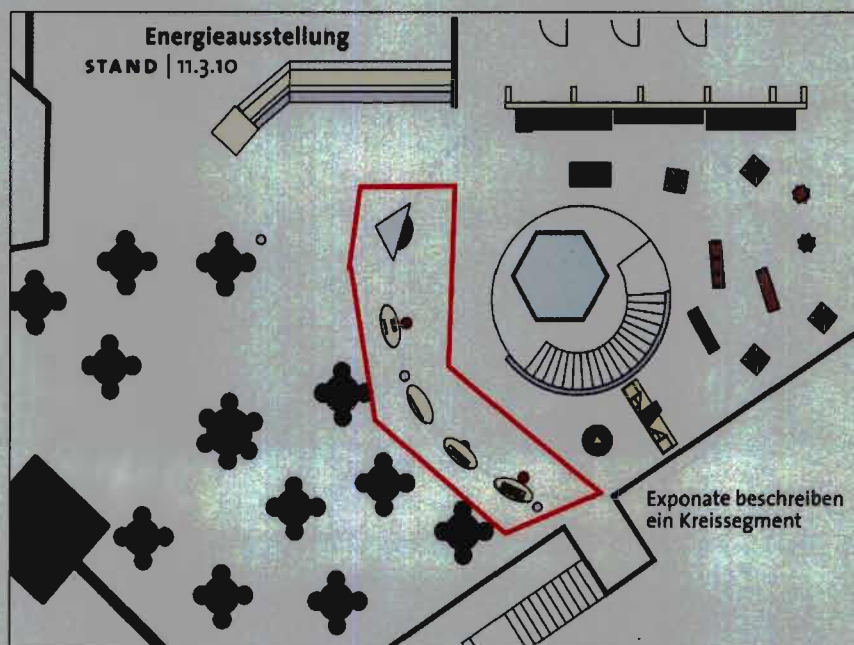


Abbildung 40: Orientierung der Energieausstellung an einem zentralen Ort.

Hier sind nun die einzelnen Ausstellungselemente so präsentiert, dass Sitzmöglichkeiten gegeben sind. Die Inhalte können jetzt in einer Umgebung aufgenommen werden, die einerseits getrennt von den Hauptausstellungen liegt, und andererseits genügend Ruhe bietet. Das Gebäudemodell wurde zum Treppenaufgang positioniert, um dem Orientierungsbedürfnis der Gäste unmittelbar nach Erreichen des Obergeschosses gerecht zu werden (Bild 13).



Bild 13: Anordnung der Einzelemente der Ausstellung an einem zentralen Ort

Die vier Hauptelemente der Betrachtungsebenen zwei und drei sind nun getrennt voneinander in eigenen Exponaten untergebracht. Jedes Exponat bietet eine Sitzmöglichkeit. Die Beobachtung der Ausstellungsnutzung durch die Gäste sowie die Rückmeldungen des Gastronomiepersonals bestätigen, dass die Wahl des jetzigen Standortes der gewünschten vertiefenden Nutzung entspricht.

5 Fazit

Der vorliegende Abschlussbericht zum Demonstrationsvorhaben zur Entwicklung und Umsetzung eines „Umweltfreundlichen Konzepts zur Kühlung und Klimatisierung einer Umweltbildungseinrichtung“ hat gezeigt, dass es ein langer Weg ist von der Idee, durch alternative Energiekonzepte einen Beitrag zur Reduzierung von Kohlendioxid zu leisten, bis zur endgültigen Umsetzung. Erst durch eine umfängliche messtechnische Begleituntersuchung wurde es möglich, die Ideen und ihre Umsetzung zu überprüfen. Es wurde deutlich, dass

- im speziellen Fall die Nutzung der Geothermie zur Kühlung der Aquarien nicht geeignet ist, Energie zu sparen.
- die Umstellung der Kälteerzeugung von einer strombasierten Kompressionskältemaschine auf eine Mischung aus Freier Kühlung im Winter und Absorberkühlung über ein Blockheizkraftwerk im Sommer sowohl aus betriebswirtschaftlicher Betrachtung als auch aus Klimaschutzsicht ein Erfolg ist.
- ein erfolgreicher ganzjähriger Betrieb eines Blockheizkraftwerks möglich ist.
- eine energetisch günstige Belüftung des Multimar Wattforum über eine natürliche Lüftung erfolgreich umgesetzt werden konnte.
- die Präsentation des Klimakonzepts in einer eigenen Ausstellung den Besucherinnen und Besuchern ein zusätzliches Themenfeld zur Auseinandersetzung mit Umweltthemen eröffnet. Gerade in geführten Präsentationen eröffnet sich so die Möglichkeit einer ganzheitlichen Betrachtung. Der technische Aspekt einer nachhaltigen Lebensführung wird deutlich.
- das Verständnis für nachhaltige Lösungen zu Energiefragen nur bei einer geringen Zahl von Planern und Umsetzern verankert ist. Ein Schwerpunkt der Ausstellung liegt daher in der Ansprache von Planungsfirmen und Bau ausführenden Unternehmen.
- sich aufgrund der fehlenden Erfahrungen bei der Planung und hoher Kosten bei der Umsetzung solche Lösungen aktuell nur bedingt betriebswirtschaftlich darstellen lassen.
- sich durch das Projekt eine deutliche Sensibilisierung bei den Mitarbeitern für Fragen nachhaltiger Energienutzung ergeben hat.