

Stadt Nürnberg  
Hochbauamt, Kommunales Energiemanagement

## Energiesparender Neubau des Tropen-Manati-Hauses



Abschlussbericht über ein Neubauprojekt,  
gefördert unter dem Az: 26712-24/2 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Eva Anlauff, Rainer Knaupp

September 2012

Bezugsquelle:  
Stadt Nürnberg, Hochbauamt,  
Kommunales Energiemanagement  
Marientorgraben 11  
90402 Nürnberg

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
Verzeichnis von Bildern, Diagrammen und Tabellen	3
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	5
1. Zusammenfassung	6
2. Allgemeine Beschreibung und Ziele	7
3. Gebäudekonzept und erste Betriebserkenntnisse	10
3.1 Das Konzept	10
3.1.1 Architektur	12
3.1.2 Anlagentechnik	16
3.1.3 Beschreibung des Projekt- bzw. Bauablaufs	25
3.1.4 Messtechnische Begleitung	26
3.2 Ergebnisse der Messdatenauswertung	28
3.2.1 Bisherige Betriebserfahrungen techn. Gebäudeausrüstung	28
3.2.2 Erkenntnisse bezüglich des Raumklimas	28
3.2.2a Messzeitraum Sommer - August 2011	28
3.2.2b Messzeitraum Herbst - Oktober 2011	30
3.2.2c Messzeitraum Winter - Februar 2012	30
3.2.2d Messzeitraum Sommer - Juli 2012	31
3.2.3 Thermografieuntersuchungen	32
3.2.4 Blower-Door-Test	32
3.3 Energieverbräuche im ersten Betriebsjahr	33
3.3.1 Elektrische Energie	34
3.3.1a Teilbereich Wärme gesamt	39
3.3.1b Teilbereich Lüftung Manatihaus	40
3.3.1c Teilbereich Wasseraufbereitung Manatihaus	42
3.3.1d Teilbereich Beleuchtung Manatihaus	43
3.3.2 Wärmeenergie	44
3.3.2a Wärmeerzeugung Gaskessel-BHKW-Solar	44
3.3.2b Erwärmung Lüftung Manatihaus	46
3.3.2c Erwärmung Beckenwasser Manatihaus,	47
3.3.2d Erwärmung Beregnungswasser Manatihaus	48
3.3.3 Solare Wärmeenergie	49
3.3.4 Bisherige Überlegungen bzw. Optimierungen	51
3.3.5 Ökologische Bilanzierung	61
3.3.6 Ökonomische Bilanzierung	62
3.3.7 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	63
4. Fazit	64
Ergänzung zum Abschlussbericht: Stand 31.01.2013	65
Literaturverzeichnis	80

Anhang

**Verzeichnis von Bildern, Diagrammen und Tabellen**

	<b>Seite</b>
Tabelle 1: Einheiten der Wärmelehre	5
Tabelle 2: SI-Einheiten	5
Tabelle 3: Nutzungs- und Beheizungskonzept Lagunenbecken	10
Tabelle 4: Stromverbrauch Beleuchtung Manatihaus	43
Tabelle 5: Gasverbrauch, Kessel-/Stromertrag und Wirkungsgrad	54
Bild 1: Luftbild 2011 (NürnbergLuftbild Dietz)	8
Bild 2: Übersichtsdarstellung	8
Bild 3: Darstellung der Einzelbauwerke	9
Bild 4: Blauer Salon – Unterwasserverglasungen zum Lagunenbecken	9
Bild 5: Blauer Salon – Unterwasserverglasungen zum Manatibecken	9
Bild 6: Prinzipdarstellung Traglufthalle mit Sicherungssystem für den Havariefall	11
Bild 7: Manatihaus Ansicht West/Schnittdarstellung	13
Bild 8-10: Manatihaus außen (während der Bauphase), innen vor/nach Bepflanzung	13
Bild 11: Manatihaus - Schnittdarstellung der Lüftungsöffnungen zur freien Querlüftung	14
Bild 12: Manatihaus - Lüftungsöffnungen an Südfassade	14
Bild 13: Beregnungs- bzw. Vernebelungsdüsen Manatihaus im Betrieb	14
Bild 14-15: BHKW mit Pufferspeicher	18
Bild 16-17: Solaranlage mit Pufferspeicher	18
Bild 18: Prinzipdarstellung Energiekonzept Manatihaus	19
Bild 19: Lüftungsgerät Blauer Salon	20
Bild 20: Manatihaus - Zuluftdüsen an Südfassade	20
Bild 21: Manatihaus - Lüftungsöffnungen an Nordfassade	20
Bild 22: Filtereinbringung in das Technikgebäude	24
Bild 23: Eiweißabschäumer	24
Bild 24-25: Leitungsführung bzw. Umwälzpumpen der Wasseraufbereitung	24
Bild 26: Prinzipdarstellung Wasseraufbereitung Lagune/Manatihaus	24
Bild 27: Baustelle Lagune 2009 (Grimm)	25
Bild 28: Thermografie Manatihaus, Fassade West am 14.02.2012	32
Bild 29: Luftdichtigkeitsmessung mit Leckagesuche durch Nebelgenerator	32
Bild 30-31: Ansichten Lagunenbecken	51
Bild 32: Ansicht Affenbergcafe	51
Bild 33: Warmwasserbereitung Affenbergcafe 04.07.2012, AT 13,7°C	55
Bild 34: Funktion Solaranlage 14.05.2012	55
Bild 35: Funktion Solaranlage 24.05.2012	57
Bild 36-37: Manatis	64
Bild 38: Delfinvorführung (Tiergarten Nürnberg)	64
Diagramm 1: Beheizungskonzept Lagunenbecken	10
Diagramm 2: Wasserschallmessung während der Bauphase	11
Diagramm 3: Energieverbrauchswerte Vergleichsgebäude	14
Diagramm 4: Tagesverlauf Sommertag Manatihaus	16
Diagramm 5: Nutzenergiebereitstellung	17
Diagramm 6: Raumtemperaturen Manatihaus August 2011	28
Diagramm 7: rel. Raumfeuchte Manatihaus August 2011	28
Diagramm 8: Raumklima Manatihaus Oktober 2011	29

Diagramm 9: Raumklima Manatihaus Februar 2012	31
Diagramm 10: Raumklima Manatihaus Juli 2012	31
Diagramm 11: Entwicklung der Endenergie für Lagune und Manatihaus	33
Diagramm 12: Entwicklung der Endenergie für das Manatihaus	33
Diagramm 13: Gesamtstromverbrauch Lagune-Manati in HT-/NT-Tarif	34
Diagramm 14: Stromverbrauchsaufteilung Sommerfall anhand Differenzrechnung	35
Diagramm 15: Effizienter BHKW-Betrieb	36
Diagramm 16: Lastgang Strom Lagune 2011	37
Diagramm 17: Lastgang Strom Lagune 2012	37
Diagramm 18: Tageslastgang Strom Lagune 04.07.2012	37
Diagramm 19: Tag, 05.09.2012, 13.30 Uhr, Außentemperatur 25°C	38
Diagramm 20: Nacht, 14.09.2012, 5.15 Uhr, Außentemperatur 10°C	38
Diagramm 21: Stromverbrauch für ISP01-Heizung gesamt	39
Diagramm 22: Stromverbrauch für ISP02-Fensterlüftung Manatihaus	40
Diagramm 23: Funktion Lüftungsanlage – Fenster – Berechnung Manatihaus	41
Diagramm 24: Stromverbrauch für die Wasseraufbereitung Manatihaus	42
Diagramm 25: Wärmeverbrauchsverlauf ab Nutzungsbeginn Lagune-Manati-Anlage	44
Diagramm 26: Prozentuale Aufteilung der Wärmeerzeugung im 1. Betriebsjahr	45
Diagramm 27: Aufteilung der Wärmeverbräuche, witterungsbereinigt	45
Diagramm 28: Wärmenutzung prozentual Lagune-Manati-Anlage	46
Diagramm 29: Verlauf Luftherwärmung Manatihaus	47
Diagramm 30: Verlauf Beckenwassererwärmung Manatihaus	47
Diagramm 31: Verlauf Beregnungswassererwärmung Manatihaus	49
Diagramm 32: Verlauf Solarertrag	49
Diagramm 33: Verlauf Solarertrag und Bedarf Beckenwassererwärmung	50
Diagramm 34: Taktung BHKW seit 16.02.2012	52
Diagramm 35: Taktung BHKW seit 12.03.2012	53
Diagramm 36: Betrieb Luftherhitzer Manatihaus 01.02.2012	59
Diagramm 37: Betrieb Lüftungsgerät Manatihaus 22.03.2012 (Beispieltag)	60
Diagramm 38: Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen Lagune	61
Diagramm 39: Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen Manatihaus	61
Diagramm 40: Primärenergetische Bewertung Lagune	62
Diagramm 41: Primärenergetische Bewertung Manatihaus	62
Diagramm 42: Energiekosten für Wärme und Strom Lagune	62
Diagramm 43: Energiekosten für Wärme und Strom Manatihaus	63



## Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

### Jahres-Primärenergiebedarf

Soviel Energie muss aus einer Energiequelle, z.B. Erdgas oder Erdöl, gewonnen werden, um ein Gebäude pro Jahr zu beheizen und mit Warmwasser zu versorgen.

### Primärenergie

Energiegehalt von Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen sind, z.B. fossile Brennstoffe.

Für die Bewertung des Primärenergiefaktors werden alle vorgelagerten Prozessschritte eines Energieträgers berücksichtigt, insbesondere also der Energieaufwand für die Gewinnung, die Aufbereitung und den Transport.

### Endenergie

Energie in der Form, wie sie beim Verbraucher ankommt und verbraucht wird, z.B. Heizöl.

### Jahres-Heizwärmebedarf

Energie, die die Heizungsanlage pro Jahr zum Beheizen des Gebäudes bereitstellen muß. Der Heizwärmebedarf setzt sich zusammen aus den Wärmegewinnen (Personen-, Gerätewärme, Solareinstrahlung) und den Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung).

### Trinkwasser-Wärmebedarf

Energie, die pro Jahr für die Erwärmung des Trinkwassers erforderlich ist.

### Transmissionswärmeverlust

Energie, die aufgrund des Wärmedurchgangs durch Außenwände, Fenster und Dach verloren geht.

### Lüftungswärmeverlust

Energie, die durch Lüften und Fugen (z.B. Fenster, Türen) verloren geht.

### Anlagenaufwandszahl

Maß für die Effizienz der Anlagentechnik (Heizkesseltyp, Installationsart, Aufstellungsort).

Tabelle 1: Einheiten der Wärmelehre [Rath10]

Größe	Formelzeichen	Einheit	Zeichen
Celsius-Temperatur	$t$	Grad Celsius ( $t = T - 273,15 \text{ K}$ )	$^{\circ}\text{C}$
<b>Temperatur</b>	$T$	<b>Kelvin (Basiseinheit)</b>	<b>K</b>
Temperaturdifferenz	$\Delta T$	Kelvin	K
Wärmekapazität	$C$	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} = \text{W} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmekapazität (spez.)	$c$	$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1} = \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	
Wärmemenge	$Q$	Joule = $\text{W} \cdot \text{s} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$	J

Tabelle 2: SI-Einheiten [Rath10]

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	$l, s, r$	Meter	m
Masse	$m$	Kilogramm	kg
Zeit	$t$	Sekunde	s
elektr. Stromstärke	$I$	Ampere	A
Temperatur	$T$	Kelvin	K
Stoffmenge	$n$	Mol	mol
Lichtstärke	$I$	Candela	cd

## 1. Zusammenfassung

Der Neubau von Außenbecken für die Haltung von Delfinen und Seelöwen (Lagune) und eines neuen Tropenhauses, vor allem zur Verbesserung der Haltungsbedingungen der Seekühe/Manatis, stellt ein besonderes Highlight im Tiergarten Nürnberg dar.

Das Tropen-/Manatihaus sollte im Passivhausstandard vergleichbar mit dem eines Schwimmbades errichtet werden. Der Baubeginn war im Mai 2009, die Fertigstellung erfolgte rechtzeitig im Juli 2011, so dass am 30. Juli 2011 die Delfinlagune ihrer bestimmungsgemäßen Nutzung übergeben werden konnte.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gewährte Fördergelder zur Umsetzung des energetischen Konzepts des Tropen-/Manatihauses, welches den Schwerpunkt des Berichts bildet. Eingerahmt wird dies von der Darstellung des Lagune-Gesamtkonzepts.

Das Kommunale Energiemanagement (KEM) führt seit Juli 2011 ein intensives messtechnisches Begleitmonitoring zusammen mit dem technischen Personal des Tiergartens durch.

### Ergebnisse im ersten Betriebsjahr

Es ergaben sich nach anfänglichen Problemen mit der Heizungstechnik am Beginn der Heizperiode 2011/2012 und anschließender diverser Hilfsmaßnahmen gute klimatische Verhältnisse im Manatihaus. Die Raumlufftemperaturen lagen überwiegend um die 26-27°C.

Die Raumlufffeuchte pendelte in einem akzeptablen Bereich zwischen 70 und 80 % r.F..

Im Frühjahr und Sommer 2012 wurden durch die vermehrte Nutzung der freien Lüftung über motorische Fenster und demzufolge der Anpassung an das Außenklima größere Schwankungen hinsichtlich Raumlufftemperaturen und -feuchten erreicht.

Die gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Manatihaus bewegten sich zwischen 370 ppm Außenluftniveau und 1.000 ppm bei starkem Besucherverkehr.

Wichtige Korrekturen sind am Heizungssystem erforderlich, um den Betrieb der Wärmezeuger zu optimieren (häufige BHKW-Taktung), und die thermische Solaranlage effizienter einzubinden. Darüber hinaus ist die unbefriedigende hydraulische Situation zu verbessern.

Die Energiebilanz ergibt für das erste Betriebsjahr einen Primärenergiewert über alle Medien (Wärme, Strom) von 6.451 MWh für die Gesamtanlage, für das Manatihaus von 1.660 MWh. Geplant waren 5.391 MWh bzw. 1.717 MWh.

Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen mit 1.420 t/a (Lagune) bzw. 366 t/a (Manati) leicht über bzw. unter dem Planungsziel von 1.187 t/a bzw. 383 t/a.

Der witterungsbereinigte Heizwärmeverbrauch im Neubau Lagune-Manati-Anlage betrug für das erste Betriebsjahr vom 31.07.2011 bis 31.07.2012 1.736,8 MWh. Für das Manatihaus wurden 429,0 MWh verbraucht. Ursprüngliche Zielwerte waren hierfür 1.416,5 MWh bzw. 335,7 MWh.

Der Jahresstromverbrauch beträgt inkl. aller technischen Anlagen 1.745,8 MWh (Lagune) bzw. 457,1 MWh (Manatihaus). Ziel waren hier 1.474,0 MWh und 518,2 MWh.

Die aktuellen Mehrverbräuche gegenüber den anspruchsvollen Zielen zeigen allerdings die Notwendigkeit einer weiteren Monitoring- und Optimierungsphase.

Die Mehrkosten für die energetische Verbesserung des Manatihauses betragen ca. 300.000 EUR, dies entspricht ca. 4 %. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ergibt eine Amortisationszeit gegenüber einer konventionellen Ausführung von etwa 10 Jahren.

## 2. Allgemeine Beschreibung und Ziele

Der Tiergarten Nürnberg hat 2007 mit konkreteren Planungen für den Neubau von Außenbecken für die Haltung von Delfinen und Seelöwen (Lagune) und eines neuen Tropenhauses, vor allem zur Verbesserung der Haltungsbedingungen der Seekühe/Manatis begonnen. Das erste Konzept mit den baulichen und anlagentechnischen Planungen sowie einem Energie- und Betriebskonzept stammte aus dem Jahr 2005. Seit dem Jahr 2007 ist das Kommunale Energiemanagement beim Hochbauamt der Stadt Nürnberg an den Planungen beteiligt. Es erfolgte eine erste energetische Optimierungsphase für organisatorische und bauliche Maßnahmen sowie hinsichtlich des Beheizungs- und Belüftungskonzepts.

Im Rahmen der Grundlagenermittlung stellte sich hinsichtlich seiner raumklimatisch hohen Anforderungen, der Neubau des Tropen-/Manatihauses als besonders anspruchsvoll heraus. Deshalb wurde mit Hilfe des 2007 beantragten und bewilligten Förderprojekts der DBU „Energiesparender Neubau des Tropen-/Manatihauses“ die weitere Optimierung der Energiebedarfe in Angriff genommen. Allgemein formuliertes Ziel war, die Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten soweit als möglich zu reduzieren, erneuerbare Energien einzubeziehen und insgesamt die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf ein Minimum zu senken.

Die wesentliche Komponente dieser energetischen Optimierung in der Planung war zunächst die Zielstellung, mit dem Neubau des Tropen-/Manatihauses den energetischen Standard eines Passivhauses vergleichbar mit dem eines Schwimmbades zu erreichen. Die 2007 bereits vorliegende erste Studie des Passivhausinstitutes Darmstadt zum energiesparenden Neubau von Schwimmbädern in einem Passivhausstandard konnte bereits in das Konzept und die Planungen einbezogen werden.

Weitere Zielstellungen waren:

- nachhaltige (vergleichsweise) niedrige Energie- und Wasserverbräuche des Manati-/Tropenhauses im tatsächlichen Betrieb durch Monitoring und Betriebsoptimierungsphase nach Inbetriebnahme,
- dabei Einhaltung der formulierten raumklimatischen Anforderungen,
- Verringerung der Tauwasserproblematik an Gläsern und Profilen im Winter und damit Reduzierung des Schadenspotenzials und Verringerung der Wartungsintervalle,
- Minimierung des Schalleintrages der Technikkomponenten in die Wasserbecken von Lagune und Manatihaus,
- sinnvolles, energie- und kosteneffizientes sowie regelungstechnisch abgestimmtes Gesamtkonzept zum Wärmeerzeugermanagement der Gesamtanlage unter Vorrang einzu- bindender erneuerbarer Energien.

Die gesamte Baumaßnahme umfasste die Erweiterung der bisherigen Delfin- und Seelöwenhaltung im Bestandsdelfinarium um eine Landschaftsanlage mit mehreren Außenbecken für Delfine und Seelöwen, den Neubau eines Tropen-/Manatihauses, die Integration eines so genannten Blauen Salons zur Unterwasserbeobachtung von Delfinen, Seelöwen und Manatis, die Errichtung eines Technikgebäudes, eines neuen Cafes im Lagunenbereich sowie Umbauarbeiten im Bestandsdelfinarium. Ein Novum für ein Projekt dieser Größenordnung war die geplante Umstellung der Wasseraufbereitung/Desinfektion statt unter Verwendung von Ozon statt Chlor. Die Gesamtkosten betragen ca. 30 Millionen EUR.

Mit den Fördermitteln der DBU wurde die Ausführung eines energetisch besseren Standards, als ursprünglich geplant, möglich. Einerseits wurde mit den Fördermitteln die Planungsphase unterstützt und zum anderen für ausgewählte Komponenten ein Baukostenzuschuss gewährt.



Weitere Fördermittel der KfW für die Errichtung der thermischen Solaranlage konnten eingebunden werden.



Bild 1: Luftbild 2011 (NürnbergLuftbild Dietz)

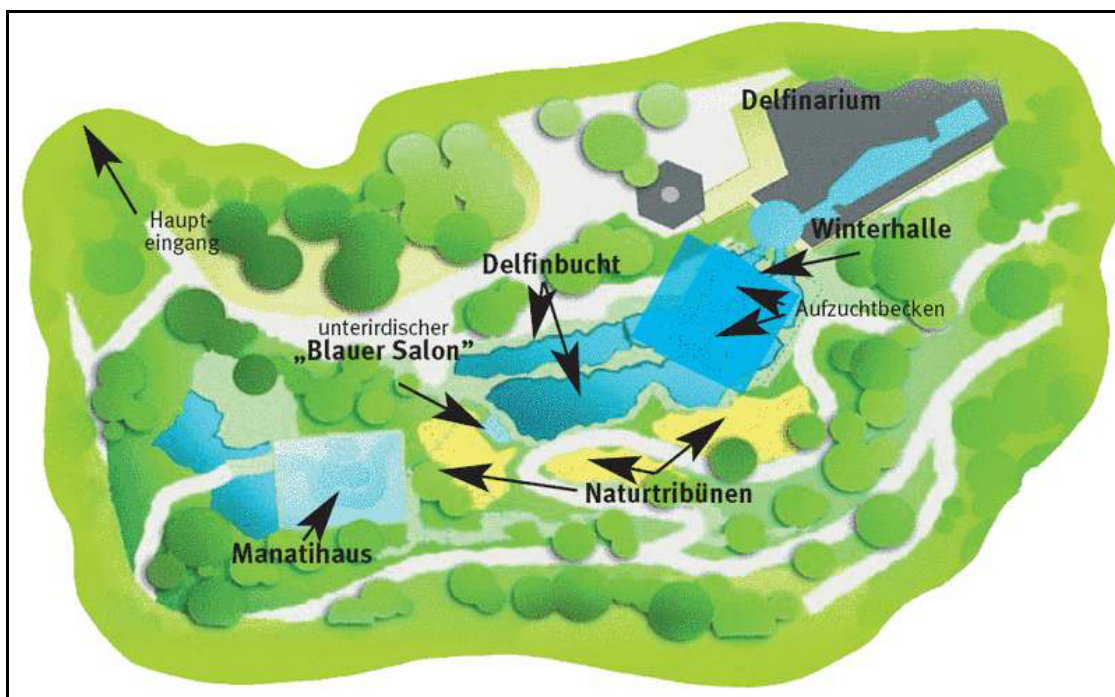


Bild 2: Übersichtsdarstellung

Das bestehende Delfinarium wurde 1970 erbaut. Es beherbergt ein großes Showbecken, ein kleineres Rundbecken für die Delfine und die Delfintherapie sowie mehrere kleine Einzelbecken für die Seelöwen. Das Rundbecken enthält zwei Verbindungsschleusen zur Lagune.



Die Lagune besteht aus sechs Becken mit einer Gesamtfläche von etwa 1.580 m<sup>2</sup> Wasserfläche (Wasservolumen etwa 5.500 m<sup>3</sup>). Dies soll perspektivisch Lebensraum für maximal 14 Delfine und eine Seelöwengruppe bieten. Für den Winterbetrieb ist neben der Nutzung des Bestandsdelfinariums eine temporäre Überdachung der Becken 1 und 6 (etwa 510 m<sup>2</sup> Wasserfläche, insgesamt etwa 680 m<sup>2</sup> Fläche) mit einer Traglufthalle eingeplant. Den Außenbecken zugeordnet sind naturnah gestaltete Zuschauertribünen mit etwa 1.500 Sitz- und Stehplätzen.

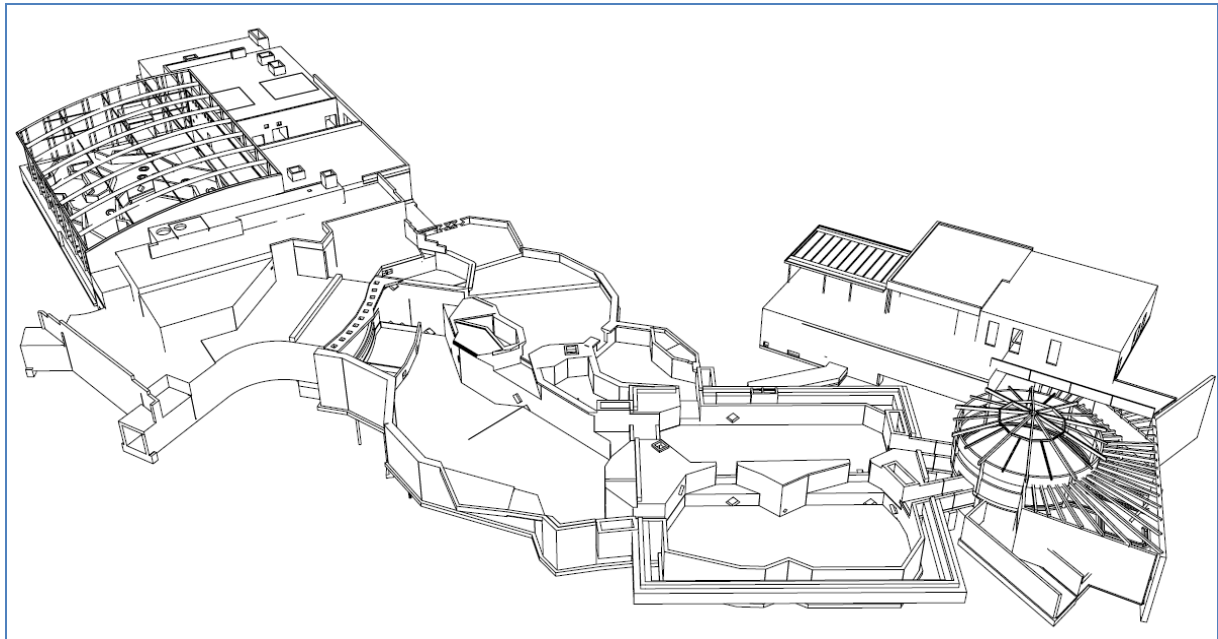


Bild 3: Darstellung der Einzelbauwerke

Das dreigeschossige Technikgebäude mit etwa 15.000 m<sup>3</sup> umbautem Raum wurde fast vollständig im Erdreich eingebaut, die Lüftungstechnik für das Tropen-/Manatihaus ist über dem Blauen Salon angeordnet. Im Technikgebäude sind alle Geräte zur Beheizung und Belüftung sowie die Wasseraufbereitungstechnik untergebracht.

Ein Technikversorgungsgang verläuft zwischen Bestandsdelfinarium durch die Lagunenlandschaft zum Technikgebäude und nimmt alle erforderlichen anlagentechnischen Verteilkomponenten auf. Für Technikgebäude und Technikgang erfolgte die wärmeschutztechnische Optimierung insbesondere zur Vermeidung von tauwasserbedingten Schäden.



Bild 4: Blauer Salon – Unterwasserverglasungen zum Lagunenbecken

Bild 5: Blauer Salon – Unterwasserverglasungen zum Manatibecken

Unterirdisch zwischen Lagune und Tropen-/Manatihäuser ist der Blaue Salon (etwa 550 m<sup>2</sup>, 2.600 m<sup>3</sup>) mit jeweils großen Unterwasserverglasungen zum Lagunen- und zum Manatibekken angeordnet. Er dient während der Öffnungszeiten des Tiergartens zur Unterwasserbeobachtung der Tiere und darüber hinaus für Veranstaltungen (max. 400 Personen).

Die Optimierungsmaßnahmen für das Tropen-/Manatihäuser konzentrierten sich vor allem auf die Verbesserungen des Wärmeschutzes bei der Gebäudehülle sowie energetische Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich des Beheizungs- und Belüftungskonzepts.

Zur Überprüfung eines energie- und kosteneffizienten Wärmeenergieerzeugungsmanagements wurden Energieeffizienzkriterien mit den Planungsbüros vereinbart.

Seit Inbetriebnahme Ende Juli 2011 soll das gesamte Projekt in einer Monitoringphase bis 2014 messtechnisch begleitet werden. Um tatsächlich auch die angestrebten niedrigen Verbräuche in allen Sparten zu erreichen, werden die Regelungs- und Betriebsparameter in der Beobachtungsphase weiter optimiert. Ergebnis vom ersten Betriebsjahr ist allerdings, dass die Mängelbeseitigung und Gewährleistungsverfolgung bei einer solch komplexen Bauaufgabe die Notwendigkeit zur Betriebsoptimierung überlagert. Konsequenz wird sein, die Monitoring- und Betriebsoptimierungsphase bis 2015 zu verlängern.

### 3. Gebäudekonzept und erste Betriebserkenntnisse

#### 3.1 Das Konzept

Grundsätzlich wurde ein Großteil der zu erwartenden Energieverbräuche bereits durch organisatorische und konzeptionelle Optimierungen zu Planungsbeginn reduziert, indem die ursprünglich geplante Beheizung der Außenbecken der Delfinlagune zunächst in der Höhe von ursprünglich 18°C auf 12 bis 14°C und in der Fläche von allen Becken auf die Becken 1 und 6 zwischen Projektleitung, Planungsteam und Tiergartenverantwortlichen vereinbart wurden. Das erforderte zwar langwierige, emotionale Abstimmungsgesprächsrunden und auch Kompromissfähigkeit und die gemeinsame Lösungssuche für die teilweise auch komplizierten Tierhaltungsprozesse, hat aber im Ergebnis zur wesentlichen Verringerung von Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten geführt.

Becken	Wasseroberfläche	Wasservolumen	beheizt/unbeheizt
1	286	1.091	Traglufthalle, beheizt von November bis Ostern
2	356	1.509	beheizt von Ostern bis Mai und September bis Oktober
3	304	1.757	beheizt von Ostern bis Mai und September bis Oktober
4	306	348	unbeheizt
5	106	230	unbeheizt
6	196	477	Traglufthalle, beheizt von November bis Ostern, offen beheizt von Ostern bis Mai und September bis Oktober
<b>Summen</b>	<b>1.577 m<sup>2</sup></b>	<b>5.448 m<sup>3</sup></b>	<b>nur Lagune</b>

Tabelle 3: Nutzungs- und Beheizungskonzept Lagunenbecken

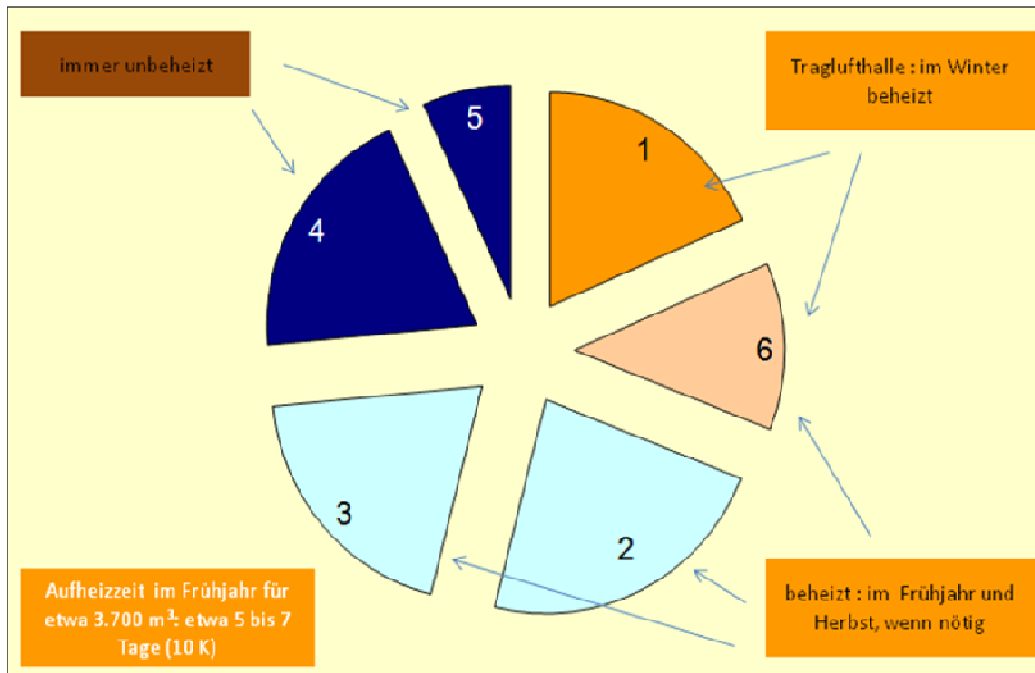


Diagramm 1: Beheizungskonzept Lagunenbecken

Wesentlicher Bestandteil dieser Kompromisslösung ist die Überdachung der Becken 1 und 6 in der Hauptheizperiode von November bis Ostern mit einer Traglufthalle.

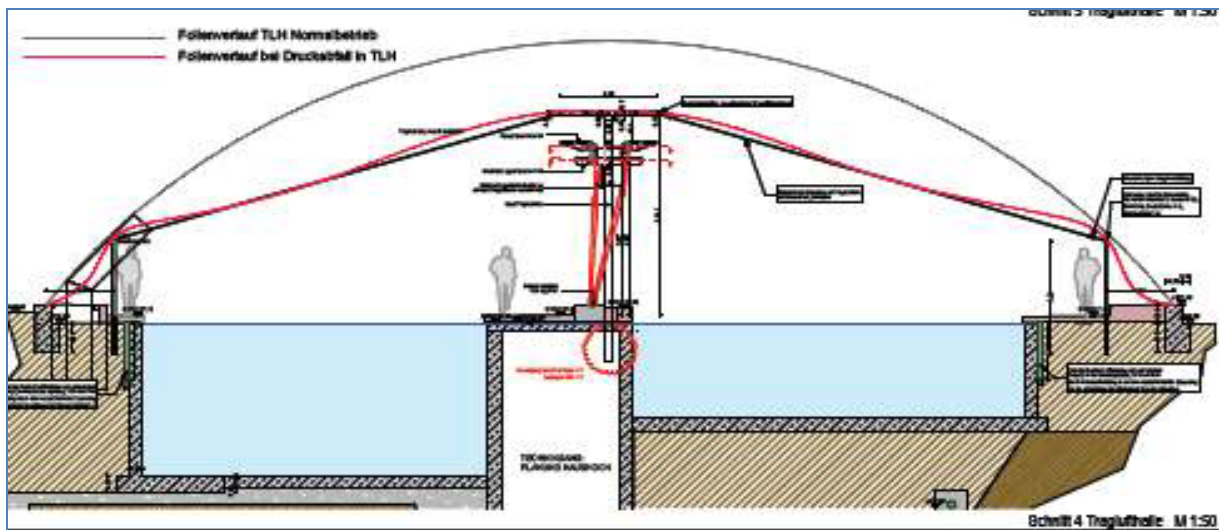


Bild 6: Prinzipdarstellung Traglufthalle mit Sicherungssystem für den Havariefall

Der U-Wert der dreilagigen transluzenten Hülle beträgt  $1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Eine vierlagige Folie hätte keine deutlichen Einsparungen bei den Transmissionswärmeverlusten mehr gebracht. Dies ist auch bedingt durch die relative kurze Standzeit der Halle, aber vor allem durch die relativ niedrigen Lufttemperaturen, die bei etwa  $16^\circ\text{C}$  liegen.

Spezielle Problematik Körperschallübertragungen und Schutz der Tiere vor Schallübertragung von Technikkomponenten:

Insbesondere Delfine sind nachgewiesen relativ empfindlich gegenüber Schall, vor allem gegenüber Körperschall. Alle Delfinarrien in Europa, die in den letzten 30 bis 40 Jahren gebaut wurden, sind in dieser Hinsicht nicht optimal. Es erfolgt die Übertragung von Gerä-

schen der Anlagentechnik, Wasseraufbereitung/Pumpen, Lüftung, Heizung in die Wasserbecken und damit als Körperschall an die Tiere. Der Hörbereich der Delfine liegt im Bereich von 150 Hz bis 200 kHz (Mensch 16 – 16 kHz). Im alten Delfinarium wurden Wasserschallpegel bis 98 dB gemessen. Dabei lagen die Lüftungsanlagen bis etwa 15 dB bei 25-100 Hz und die Umwälzpumpen bis etwa 30 dB bei 100 Hz-2,5 kHz über dem Grundgeräuschpegel. Durch eine Vielzahl konzeptioneller und planerischer Maßnahmen wurde darauf Einfluss genommen, die Körperschallübertragung in die neu gebauten Wasserbecken so gering wie möglich zu halten. Es wurden folgend Maßnahmen ergriffen:

- körperschallentkoppelte Befestigungen von Rohren, Traversen, Halterungen, Treppenstufen, körperschallentkoppelte Abhängungen, Kompensatoren, Körperschalldämmplatten (unter Fundamenten: Sylomer, Neopren, Schaumstoff),
- keine Befestigung von Leitungen an den Beton-Beckenrändern der Lagunenbecken,
- große Durchmesser und große Radien der Rohrleitungen.

Auch während der Bauphase wurden Wasserschallmessungen vorgenommen. Gleichzeitig wurden über den gesamten Bauablauf sowie davor und danach die Stresswerte der Delfine strukturiert erfasst. Eine Auswertung erfolgt im Rahmen einer Dissertation.

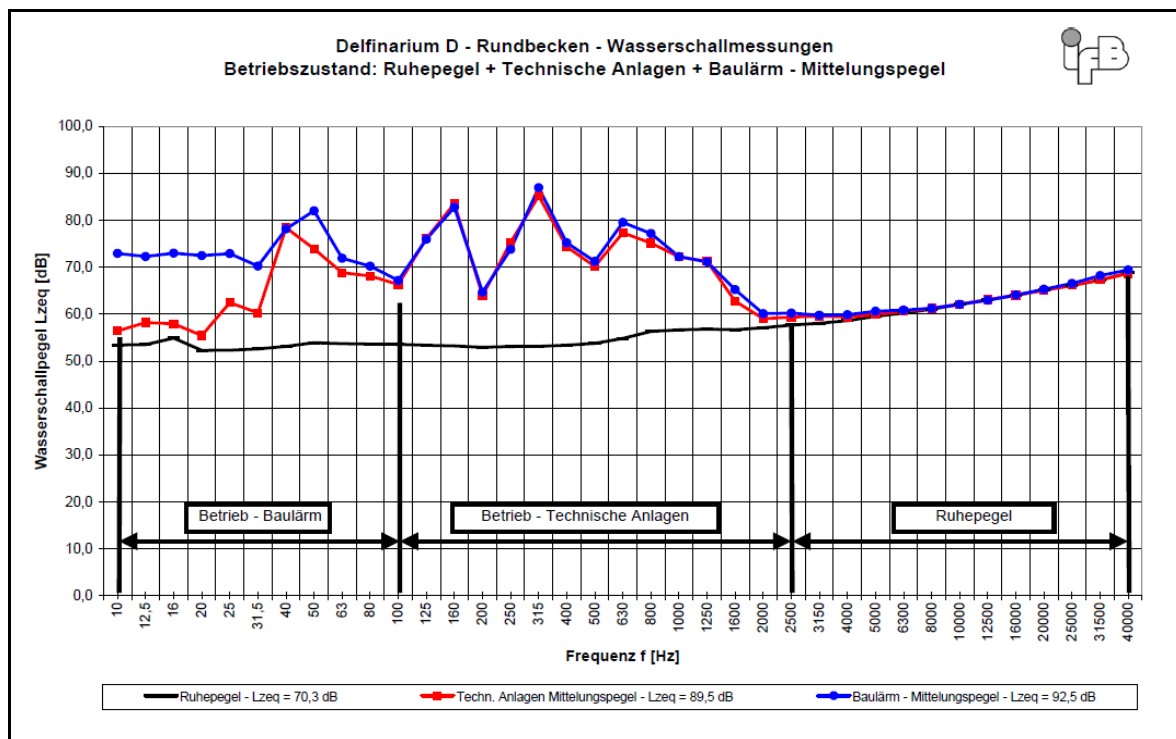


Diagramm 2: Wasserschallmessung während der Bauphase

Für 2012 ist noch eine abschließende Messung von Wasserschall in den einzelnen Wasserbecken bei unterschiedlichen Laststufen der Technikkomponenten geplant. Dann kann abschließend bewertet werden, ob die aufwendigen Maßnahmen auch erfolgreich waren.

### 3.1.1 Architektur

Das Manati-/Tropenhaus hat einen rechteckigen Grundriss und ist so angeordnet, dass zwei der eigentlichen Außenwände an das Technikgebäude und den Blauen Salon bzw. dessen Technikzentrale angrenzen. So werden bereits Wärmeverluste minimiert.

Die Grundfläche des Manatihauses beträgt etwa 700 m<sup>2</sup>, die Wasseroberfläche etwa 310 m<sup>2</sup>. Die Wassertiefe beträgt zwischen etwa 1 und 4 m, die lichte Raumhöhe etwa 4 bis 10 m.



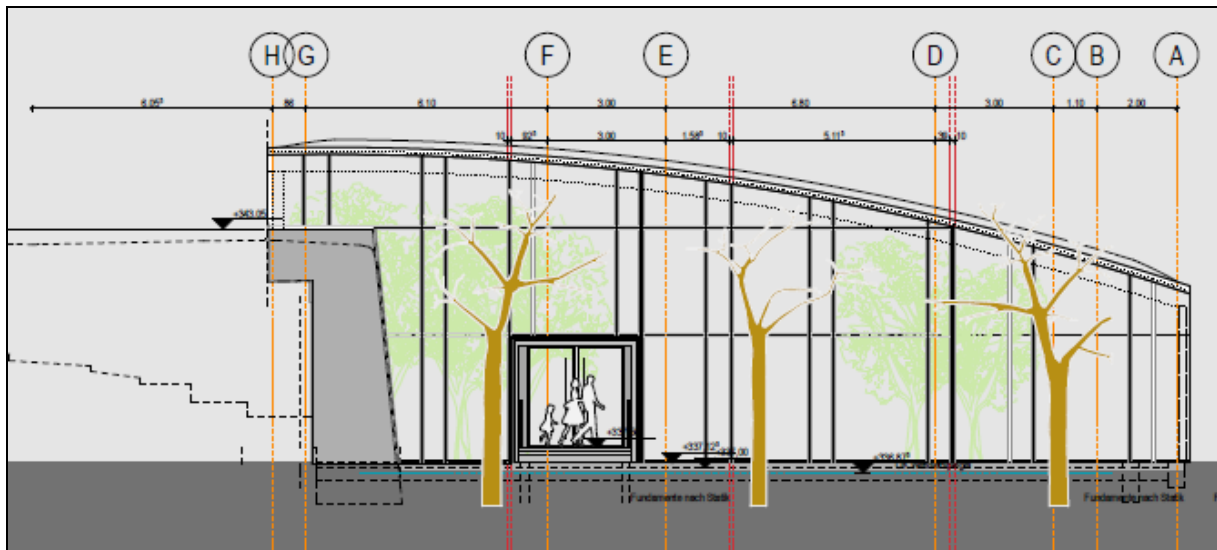


Bild 7: Manatihaus Ansicht West/Schnittdarstellung

An den beiden restlichen Außenwandflächen wurden weitgehend transparente Wandflächen in Form einer Pfosten-Riegel-Konstruktion mit thermisch getrennten Profilen und passivhaustauglicher Verglasung (Festverglasung als Dreischeibenverglasung, Fensterflügel als Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit Folie im Scheibenzwischenraum (Heat-Mirror-System zur Gewichtsreduzierung, U-Wert Verglasung  $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , U-Wert gesamt der Glasflächen inkl. Rahmen  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) eingebaut. An den Längsseiten (Süd-West- und Nord-Ost-Fassaden) sind großflächige Zu- und Abluftöffnungen (je Fassadenseite etwa  $30 \text{ m}^2$  freier Lüftungsquerschnitt) angeordnet, die beim Erreichen definierter Innen- und Außentemperaturen zur freien Lüftung geöffnet werden. Die Fensterflügel können in unterschiedlichen Kombinationen je nach Außenluftbedingungen motorisch geöffnet und geschlossen werden.

Alle opaken Flächen, gegen Erdreich und gegen unbeheizte Bereiche, sind mit 10 bis 16 cm Wärmedämmung (EPS bzw. XPS, WLG 035) versehen.

An den beiden Eingängen sind unbeheizte Windfänge angeordnet.

Die gewölbte Dachfläche hat eine dreilagige EFTE-Foliendachkonstruktion (U-Wert Folie  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , gesamt  $1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) auf den Stahltragwerksbindern erhalten. Die Folie ist erforderlich, um den photosynthetischen Anteil (PAR) des Lichtspektrums in das Gebäude zu lassen. Die Alternative wäre eine Zwei- oder Dreischeiben-Dachverglasung gewesen, unter denen die tropischen Pflanzen allerdings Wachstumsprobleme hätten (Beispiel Amazonienhaus Stuttgart) und dieser Nachteil dann nur durch energieintensive Pflanzenbeleuchtung hätte ausgeglichen werden können.

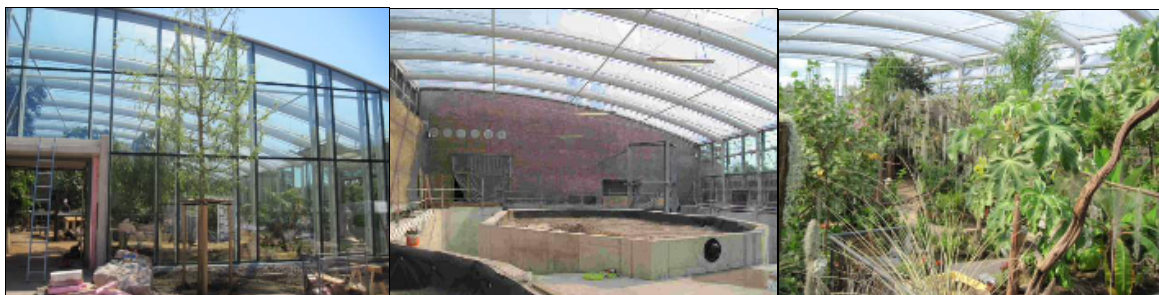


Bild 8-10: Manatihaus außen (während der Bauphase), innen vor/nach Bepflanzung

Im Sommer und in der Übergangszeit wird ab einer bestimmten Außentemperatur freie Lüftung, einschließlich Entfeuchtung des Tropen-/Manatihauses, über die motorisch betätigten Fensteröffnungen bewerkstelligt. Die großflächige Öffnung des Hauses soll dazu dienen, eine freie Lüftung im Sommer zu gewährleisten und damit einen Großteil Energie sparen zu helfen. In den Zeiten freier Lüftung wird die Lüftungsanlage komplett abgeschaltet. Eine ggf. erforderliche Wiederaufheizung des Gebäudes erfolgt dann weitgehend passiv durch die Nutzung der Sonnenenergie. Die u.U. notwendige „Wieder“-Befeuchtung auf 80 % relativer Luftfeuchte wird größtenteils durch Verdunstungen der Pflanzen und der Wasseroberfläche erreicht. Wird es doch zu trocken, soll mittels Beregnungsdüsen ein feiner Feuchtenebel im Manatihaus verteilt werden.

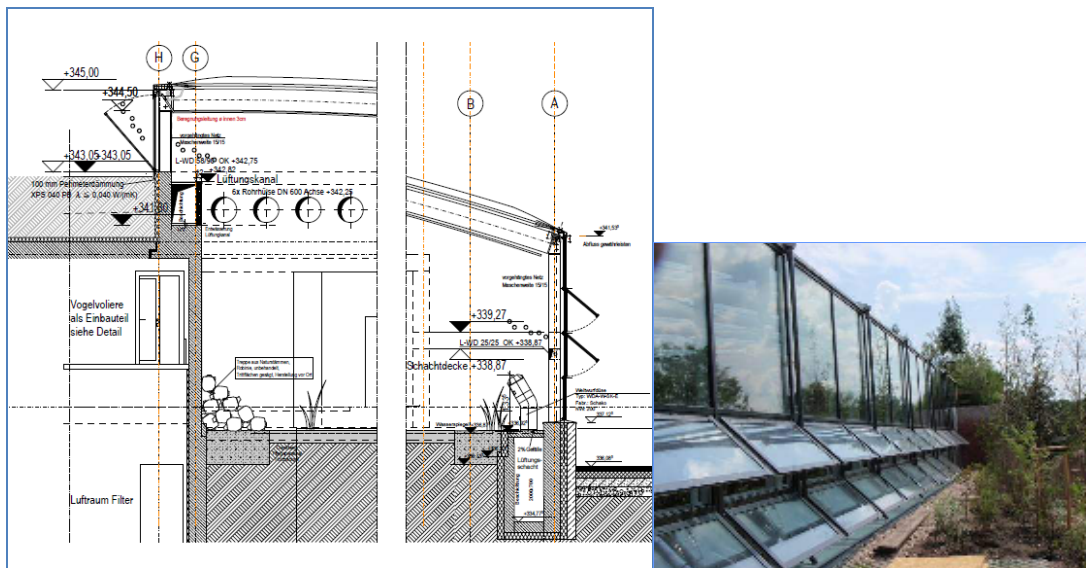


Bild 11: Manatihaus - Schnittdarstellung der Lüftungsöffnungen zur freien Querlüftung

Bild 12: Manatihaus - Lüftungsöffnungen an Südfassade

Die Wassertemperaturen im Manatibecken (Süßwasser) müssen ganzjährig mit 25 bis 26°C für die Seekühe betragen. Die Raumlufttemperaturen liegen deshalb etwa 2 K über den Wassertemperaturen bei 27 bis 28°C. Die großflächige Tropenbepflanzung benötigt relative Luftfeuchten von 75 bis 80 %. Die Nahrungsversorgung der Pflanzen erfolgt durch Gießen mit Schläuchen und die Beregnungsanlage mit 77 Düsen (Menge ca. 3-6 m<sup>3</sup>/Tag). Bei freier Lüftung treten dabei die maximalen Bedarfe für die etwa 2.100 m<sup>2</sup> Blattfläche auf.



Bild 13: Beregnungs- bzw. Vernebelungsdüsen Manatihaus im Betrieb

Die während vieler Besuche bei vergleichbaren Einrichtungen (u.a. Amazonienhaus Stuttgart, Masoalahaus Zürich, Tropenhaus Zoo Duisburg, Tropenhaus Zoo Hamburg, Botanische Gärten Augsburg und Erlangen, Tropenhaus Zoo München) gesammelten guten und schlechten Erfahrungen der dortigen Kollegen wurden in vielfältiger Form bei Planung und Bau des Manati-Tropenhauses berücksichtigt.

Besonders hilfreich hinsichtlich der Prognosen für Wärme- und Strombedarfe und die Betriebskostenplanung erwiesen sich auch die dadurch recherchierten Energieverbrauchswerte der vergleichbaren bzw. annähernd vergleichbaren Einrichtungen. Im Diagramm sind die recherchierbaren spezifischen Verbräuche, teilweise als Durchschnittswerte vergangener Jahre und für das Manati-/Tropenhaus die schlussendlichen Planungswerte dargestellt.

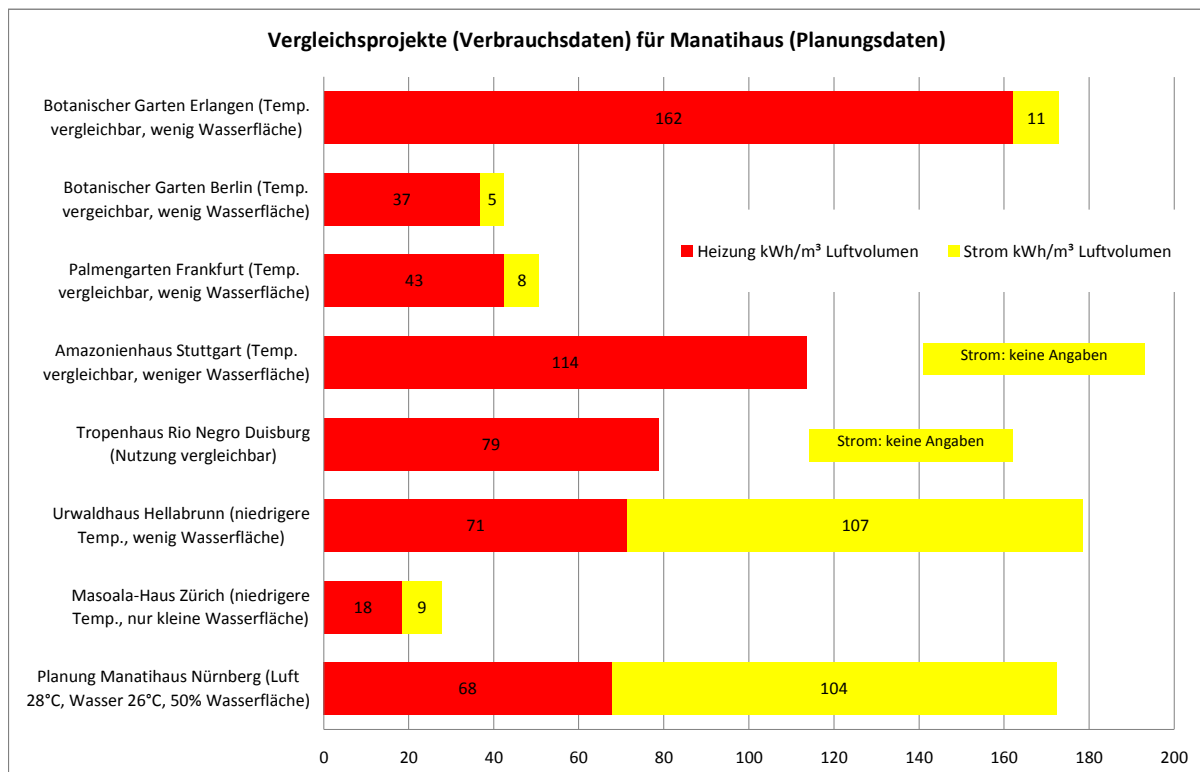


Diagramm 3: Energieverbrauchswerte Vergleichsgebäude

Nicht alle Gebäude sind direkt vergleichbar, da oft keine so große Wasserfläche und -volumen, wie im Manatihäuser, vorhanden sind, zum Teil auch nicht die hohen ganzjährig erforderlichen Luft- und Wassertemperaturen. Auch sind einige der Vergleichsgebäude bekanntermaßen dringend sanierungsbedürftig, wie der Botanische Garten in Erlangen.

Das Masoalahaus im Zoo Zürich schneidet am besten ab. Dort wurde mit viel Aufwand die Lüftungsanlage umgebaut. Die Beheizung erfolgt zudem mit Holz. Die spezifischen Verbräuche sind jedoch auch deshalb sehr niedrig, weil die Halle relativ hoch ist.

Die Häuser in Stuttgart, München und Duisburg stehen ebenfalls noch nicht so lange und sind als (konventionelle) Tropenhaus-Neubauten zu betrachten. Die Planungen und Zielwerte für das Manatihäuser sind als durchaus anspruchsvoll zu bezeichnen.

Für die gewächshauspezifische Thematik wurde ein externer Experte der FH Freising, Herr Prof. Köhler und für die Detailplanung der Glaskonstruktionen ein externer Fassadenberater, Herr Achenbach, hinzugezogen. Die Einbindung dieses Spezialwissens und Berücksichtigung der entsprechenden Punkte bei Planung, Bau und Betrieb trug wesentlich zum nun er-

folgreichen Betrieb des Hauses bei. Hier eine Aufzählung der wichtigsten Themen, die entsprechende Berücksichtigung fanden:

- Belüftungskonzept mechanische Lüftung: Einblastemperatur, -richtung, -geschwindigkeit, Durchströmungsverhältnisse, Anordnung der Pflanzen, Baumhaus, Ansaugverhältnisse- und -geschwindigkeiten, ggf. Beeinträchtigungen der Kleintiere,
- Belüftungskonzept freie Lüftung: Bemessung freier Querschnitt, Anordnung und Lager der Öffnungen, Auswahl der Motoren und Regelungsparameter,
- Verdunstungsmengen der Pflanzen zur Bemessung der Heizleistungen,
- Simulation der Heizenergiebedarfe unter besonderer Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung,
- Bewertung des Themas sommerliche Überhitzungen und abgeleitete Maßnahmen,
- Vorgaben für die Ausschreibung der Fassadenkonstruktion.

Bei der Materialauswahl wurden die stadtinternen Anforderungen der UMWELT-VERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVP) umgesetzt. Größte Aufmerksamkeit wurde dabei auf die Aspekte Nachhaltigkeit, Umweltverträglichkeit und Recyclingfähigkeit gelegt. Die zugrundeliegende „UVP-Checkliste“ sowie die „Umweltrichtlinien der Stadt Nürnberg“ wurden allen Ausschreibungen beigelegt.

Ein Bewertungsinstrument für graue Energie ist in Deutschland bisher nicht eingeführt, deshalb werden keine quantitativen Bewertungen dazu vorgenommen.

### 3.1.2 Anlagentechnik

Seit Anfang 2007 ist das Kommunale Energiemanagement an den Planungen der Lagune-Manati-Anlage beteiligt. Es erfolgte in Federführung von KEM zusammen mit dem externen TGA-Ingenieurbüro die Erstellung eines Energiekonzepts 2007-2008, um einen wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Heizbetrieb zu gewährleisten. Hierbei wurden verschiedene Heizsysteme untersucht. Als besonders anspruchsvoll stellten sich neben der Konzipierung der Maßnahmen für Beheizung und Belüftung die raumklimatisch hohen Anforderungen des Manatihauses heraus.

Mit einem überschlägigen Gesamtheizbedarf von 940 kW wurde zunächst folgendes Erstkonzept der Wärmeversorgung zur Umsetzung vorgeschlagen:

Die Hauptwärmeversorgung (Spitzenlast) sollte über zwei Gasbrennwertkessel mit je 460 kW Heizleistung erfolgen, mit der Ergänzung eines weiteren bei Sanierung des Delphinariums 1. Ein gasbetriebenes BHKW mit einer Leistung von 207 kW thermisch und 138 kW elektrisch wurde als Grundlastwärmeerzeuger vorgesehen, mit einer angedachten Laufzeit von ca. 6.500 Betriebsstunden (September bis Mai). Für die im Sommer erforderlichen geringen Wärmebedarfe (Beckenwasser und Raumwärme Manatihaus) wurden zwei gasbetriebene Luft-Wasser-Wärmepumpen mit je 40 kW Heizleistung integriert, welche die Vorteile Außenluftwärmenutzung und niedrige Systemtemperatur miteinander verbinden. Außerdem könnten damit die hohen Aufheiz- und Abstrahlverluste des BHKWs vermieden werden. Über drei Pufferspeicher mit je 2 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen sollte das BHKW sowie die Wärmepumpen in das Heizsystem eingebunden werden. Die Wärmeübergabe erfolgte mit Heizkörpern bzw. über Fußbodenheizung.

Im Hinblick auf dauerhaft niedrige Betriebskosten wurden weitere Möglichkeiten zur Energieeinsparung detaillierter untersucht:



Als Ergänzung zu der o.g. ersten Lösung mit einem Groß-BHKW wurde der Einsatz von zwei BHKW's (eine Variante mit zwei gleich großen BHKW's mit jeweils 117 kW thermisch, eine Variante mit einem großen und einem kleinen BHKW 207 kW/34 kW thermisch, keine Luft-Wasser-Wärmepumpen) verglichen.

Weiterhin wurde eine Variante mit nur einem BHKW, ergänzt durch die Installation einer thermischen Solaranlage (Solarabsorber bis max. 300 m<sup>2</sup>, Solarkollektoren bis max. 160 m<sup>2</sup>) zur Direktbeheizung des Manatiwassers auf dem freien, nach Süden orientierten Flachdach des Technikgebäudes untersucht.

Für die Weiterbetrachtung wurde die Variante zur Umsetzung mit einem BHKW 34 kW thermisch und Solarkollektoren von 120 m<sup>2</sup> ausgewählt.

Um die daraus entstehende „Grundlast-Konkurrenz“ besser einschätzen zu können, wurde ein Tagesverlauf für einen Sommertag simuliert.

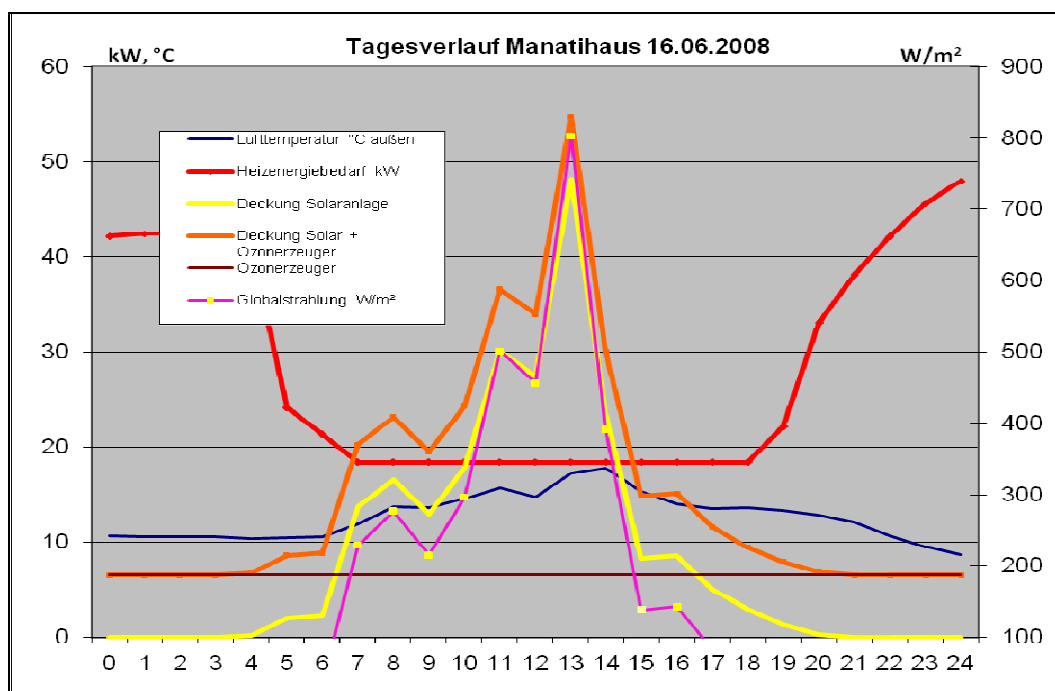


Diagramm 4: Tagesverlauf Sommertag Manatihaus

Es zeigte sich, dass die Solaranlage zusammen mit dem Ozonerzeuger (s.u.) von ca. 6.00 bis 15.00 Uhr den Heizenergiebedarf abdecken kann; anschließend muss das BHKW zuschalten, welches hier eine thermische Leistung von mindestens 41 kW benötigt.

Im Hinblick auf die zusätzliche Einbindung der Traglufthalle in das betrachtete Heizsystem und der damaligen Förderung des Bundesumweltministeriums für Mini-KWK-Anlagen bis 50 kW elektrisch, wurden nochmals zwei neue Varianten untersucht, ein BHKW mit 236 kW thermisch bzw. eines mit 117 kW, wobei letztere Variante aufgrund höherer Laufzeiten ausgewählt wurde.

Die Auslegung der Solaranlage mit 60 kW thermisch erfolgte auf den Mindestwärmebedarf des Manatibeckens im Sommer (ca. 17.800 kWh pro Monat). Grundsätzlich hat die Solaranlage Vorrang vor dem BHKW für die Beckenwassererwärmung des Manati- und auch der Lagunenbecken. Das BHKW soll nur dann zuschalten, wenn dies für die Nachheizung der Becken erforderlich ist bzw. zur Pufferladung. In der Betriebsstundenberechnung des BHKW's wurde die sommerliche Laufzeit der Solaranlage mit berücksichtigt; es ergaben sich

ca. 6.100 Betriebsstunden. Die optimierte und energieeffiziente Regelung dieser beiden Wärmeerzeuger fällt in die Monitoringphase. Die rechnerische Nutzenergiebereitstellung der einzelnen Wärmeerzeuger zeigt Diagramm 5.

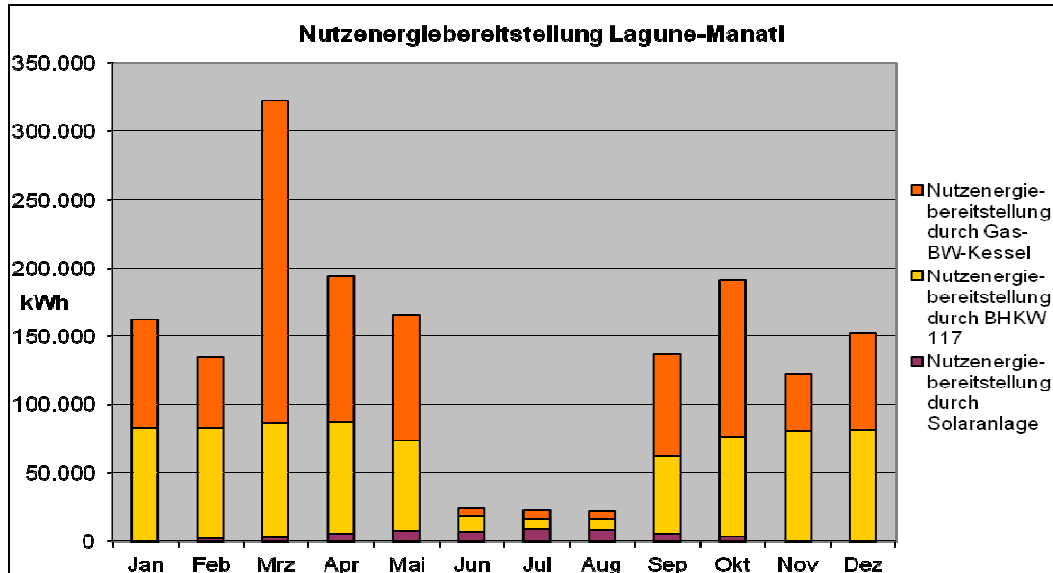


Diagramm 5: Nutzenergiebereitstellung

Der hohe Energiebedarf im März wird von der nun beginnenden Beheizung der Becken 2 und 3 in der Übergangszeit verursacht. Gleichzeitig sind die Becken 1 und 6 noch beheizt. Die Pufferspeichergröße des BHKW-Speichers wurde überprüft und ein Puffer mit 6 m<sup>3</sup> ausgewählt, aufgrund insgesamt geringerer Wärmeverluste. Um für den Fall, dass keine Abnahme vorliegen sollte, ausreichend Solarenergie puffern zu können, wurde der Solarpufferspeicher als Tagesspeicher ausgelegt (5 m<sup>3</sup>).

Die Variante Gas-Mikroturbine (im Vergleich zu BHKW-Einsatz) wurde untersucht, allerdings aufgrund ungewisser Kostensituation bzw. Betriebserfahrungen nicht weiter verfolgt.

Die Nutzung der Abwärme der beiden Ozonerzeuger vor den Eiweißabschäumern (1x Manatihaus, 1x Lagunenbecken) wurde ebenfalls geprüft (17,4 kW, Laufzeit ca. 18 h/d). Hier wird nun die Abwärme über einen Kühlwasserkreislauf in die jeweiligen Becken eingespeist.



Bild 14-15: BHKW mit Pufferspeicher

Bild 16-17: Solaranlage mit Pufferspeicher

#### Kurzbeschreibung der gewählten Heizungstechnik Lagune-Manati-Anlage gesamt:

- Grundlastbeheizung mit Gas-Brennwert-BHKW mit 97 kW thermischer Leistung (modulierend bis 70 kW), zusätzlich 4-20 kW über Abgaswärmetauscher, 50 kW elektrische Leistung (modulierend bis 37 kW), Gesamtwirkungsgrad mit Brennwerttauscher 104 %, Her-

steller/Typ Comuna-metall 2726-02. Dieses kann ca. 30 % der benötigten elektrischen Leistung der Lagune abdecken.

- Spitzenlastbeheizung mit zwei Gasbrennwertkesseln a 400 kW, Nutzungsgrad 109 % (je bei Systemtemperatur 40/30°C), Modulation bis 33 %. Hersteller/Typ Buderus Logano-Plus SB 615.
- elektronisch drehzahlgeregelte Umwälzpumpen
- Dämmung der Heizungsleitungen sowie Speichereinrichtungen nach EnEV §14.

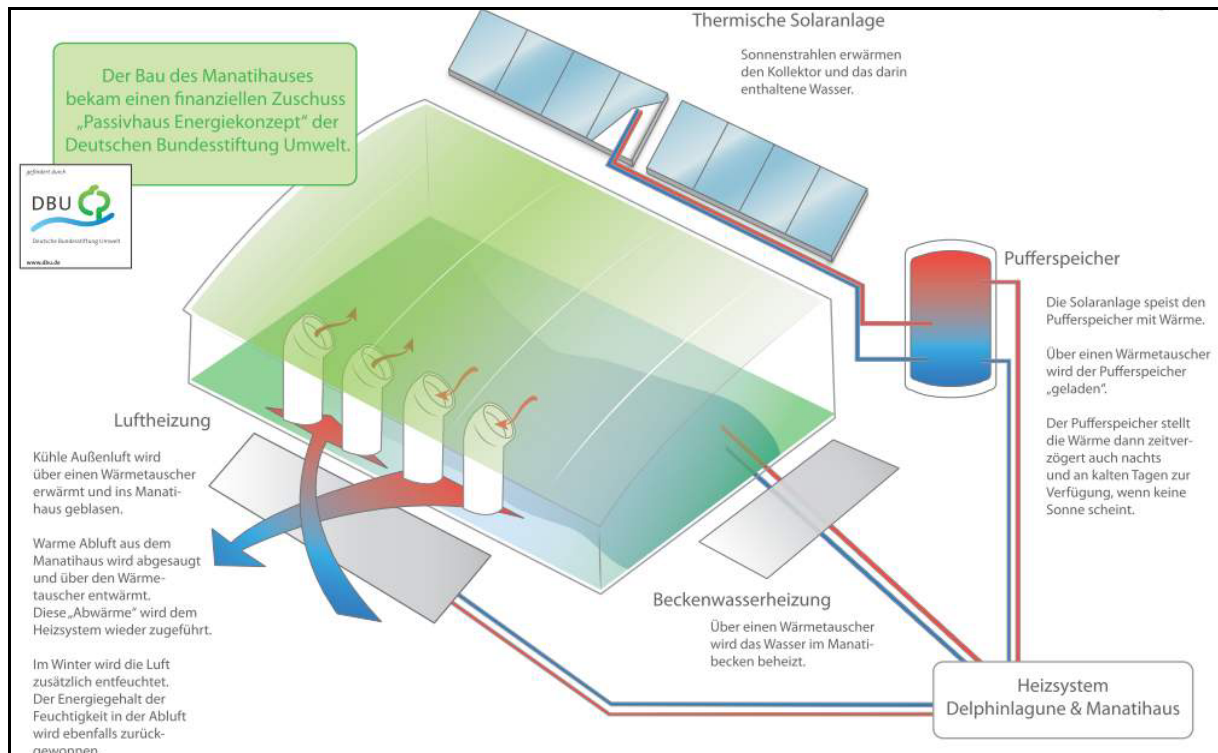


Bild 18: Prinzipdarstellung Energiekonzept Manatihaus

Systemtemperaturen der Hauptheizkreise (Vorlauf VL/Rücklauf RL):

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| ○ BHKW-Kreis:                           | 70 / 45 °C              |
| ○ Brennwertkessel:                      | 70 / 45 °C              |
| ○ Heizregister Lüftungsanlagen:         | 65 / 45 °C (233 kW)     |
| ○ Statische Heizung:                    | 60 / 45 °C (19 kW)      |
| ○ Fußbodenheizung:                      | 39 / 24 °C (37 kW)      |
| ○ Plattenwärmetauscher Beregnung prim.: | 40 / 25 °C (20 kW)      |
| ○ Plattenwärmetauscher Lagune prim.:    | 50 / 30 °C (150+300 kW) |
| ○ Plattenwärmetauscher Manati prim.:    | 50 / 30 °C (70 kW)      |
| ○ Plattenwärmetauscher Solar prim.:     | 47 / 32 °C (60 kW)      |
| ○ Plattenwärmetauscher Traglufthalle:   | 70 / 50 °C (170 kW)     |
| ○ Plattenwärmetauscher Torlufschleier:  | 60 / 45 °C (30 kW)      |
| ○ Plattenwärmetauscher Ozonerzeuger:    | 31 / 28 °C (35 kW)      |

### Kurzbeschreibung der Raumlufttechnik:

Im Manatihaus wird zur Bereitstellung des entsprechenden Raumklimas ein spezielles Lüftungsgerät aus dem Bäderbau mit mehrstufiger Wärmerückgewinnung eingesetzt, welches entfeuchtet, lüftet und beheizt (Menerga ThermoCond SolVent, Gerätetyp 372501).

Das Gerät besteht aus Luftfilter (Abluft F5, Zuluft F7), Hochleistungswärmeüberträger, Entfeuchtungswärmepumpe, Luftherhitzer und freilaufende Ventilatorräder, welche über Frequenzumrichter geregelt werden, sowie Bypass- und Umluftklappen. In diesem System wird die sensible und latente Wärme aus der Fortluft genommen und über die Entfeuchtungswärmepumpe an die Frischluft abgegeben. Dadurch ist nur eine geringe zusätzliche Wärmeleistung erforderlich, um die Raumkonditionen einhalten zu können. Je nach Außenlufttemperatur und -feuchte kann im Umluftbetrieb gefahren werden. Somit ist ein wirtschaftlicher Betrieb möglich, der über die integrierte Regelung gesteuert und optimiert wird.

Die stetige Regelung vergleicht die Ablufttemperatur und die Abluftfeuchte (Istwerte) mit den eingestellten Sollwerten. Bei einer Regelabweichung werden die Heiz- bzw. Kühlstufen angefordert (Pumpen-Warmwasser-Luftherhitzer, Wärmepumpe, Außenluftanteil).

Um eine Durchfeuchtung des Abluftfilters zu vermeiden, wird ab einer Abluftfeuchte (Messort im Gerät) von 80 % r.F. die Ablufttemperatur über einen PWW-Erhitzer angehoben.

Technische Daten:

Nennluftleistung: 25.000 m<sup>3</sup>/h

Rekuperator Temperaturwirkungsgrad: ca. 80 %

Rekuperator AUL-ZU-Leistung: 90,5 kW (AUL-FOL), 30,4 kW (UL)

Mindest-Außenluftanteil: 11 %

Entfeuchtungsleistung AB-ZU (UL): 86,7 kg/h

Entfeuchtungsleistung AB-ZU (AUL-FOL): 273,6 kg/h

Kondensatorleistung: 60 kW

Heizleistung Heizregister: 120 kW

Motoraufnahmeleistung: Zuluft 13,1 kW, Abluft 10,2 kW, Verdichter 8,6 kW

Das Gerät mit 25.000 m<sup>3</sup>/h wurde auf die geplante Luftleistung von 19.000 m<sup>3</sup>/h werksseitig vorbereitet und die Wärmepumpe für diese Leistung dimensioniert und angepasst. Das Lüftungsgerät kann nun mit Leistungen zwischen 16.000 und 21.000 m<sup>3</sup>/h betrieben werden. Durch die Gerätegröße wurden die Werte für die Spezifische Ventilatorleistung (SFP) Klasse 4 (1.250-2.000 W/m<sup>3</sup>sec.) eingehalten (ZU 1.084 W/m<sup>3</sup>s, AB 931 W/m<sup>3</sup>s).

Die Einblasung/Durchströmung erfolgt über verstellbare Weitwurfdüsen an der Südfassade, dies wurde durch Simulation optimiert; die Abluft über Abluftgitter an Nord- und Ostfassade.



Bild 19: Lüftungsgerät Blauer Salon

Bild 20: Manatihaus - Zuluftdüsen an Südfassade

Bild 21: Manatihaus - Lüftungsöffnungen an Nordfassade

Für den Blauen Salon wurde ein zentrales Zu- und Abluftgerät mit 2-stufiger rekuperativer Wärmerückgewinnung (> 75 %) installiert (Menerga Dosolair SolVent, Gerätetyp 541901). Die Anlage besteht aus Luftfilter (Abluft F5, Zuluft F7), Hochleistungswärmeüberträger, Luftherhitzer, Luftkühler und freilaufenden Ventilatorrädern, welche über Frequenzumrichter geregelt werden, sowie Bypass- und Umluftklappen. Durch den Hochleistungswärmeüberträ-



ger ist nur eine geringe zusätzliche Wärmeleistung erforderlich, um die Raumkonditionen einhalten zu können. Den Luftkühler versorgt ggf. im Sommer Brunnenwasser mit ca. 12°C. Über die im Gerät integrierte Regelung (Zeit, Temperatur) wird der wirtschaftliche Betrieb gesteuert und bei Bedarf die Heiz- bzw. Kühlstufen angefordert (Pumpen-Warmwasser-Luftwärmepumpe, Brunnenwasser, Außenluftanteil).

Die volle Luftleistung wird nur bei maximaler Personenbelegung (Veranstaltung) gefahren. Der reduziert Lüftungsbetrieb ist während des normalen Tiergartenbetriebs notwendig.

Die Einblasung erfolgt über verstellbare Weitwurfdüsen, die Abluft über Abluftgitter.

Technische Daten:

Nennluftleistung Veranstaltung: 15.000 m<sup>3</sup>/h

Nennluftleistung Normalbetrieb: 5.300 m<sup>3</sup>/h

Heizleistung Heizregister: 52 kW

Leistung Kühlregister: 63 kW

Mindest-Außenluftanteil: 10 %

Motoraufnahmeleistung: Zuluft 7,1 kW, Abluft 4,6 kW

Spezifische Ventilatorleistung: (ZU 1.598 W/m<sup>3</sup>s, AB 1.078 W/m<sup>3</sup>s).

Die Traglufthalle wird über ein eigenes Lüftungsgerät versorgt. Das Gerät besteht aus Luftfilter (EU3), Lufterhitzer und einem elektrisch betriebenen Ventilator (4 kW), welcher über einen Frequenzumrichter gesteuert wird. Ersatzventilator auf Dieselmotorbasis.

Die volle Luftleistung von 10.400 m<sup>3</sup>/h wird im Aufblasfall der Halle benötigt, welche dann zur Erhaltung der Hallenstabilität auf ca. 5.000 m<sup>3</sup>/h reduziert werden kann, je nach Undichtigkeit der Halle. Integrierte Regelung nach Raumtemperatur und Hallendruck.

In der Lagune-Manati-Anlage gibt es noch weitere Lüftungsanlagen zur Übersicht:

- Abluftanlage WC-Räume Blauer Salon (760 m<sup>3</sup>/h, 0,62 kW)
- Mechanische Entrauchung Blauer Salon (16.000 m<sup>3</sup>/h, 5,5 kW)
- Zu-/Abluftgerät Dusche/Umkleiden Technikgebäude (900 m<sup>3</sup>/h, 1,10 kW, WRG > 55 %)
- Abluftanlage für WCs Technikgebäude (900 m<sup>3</sup>/h, 0,62 kW)
- Zuluftanlage für die Küche Affenbergcafe (5.000 m<sup>3</sup>/h, 2,3 kW)
- Zu-/Abluftanlage für die Gaststätte Affenbergcafe (2.500 m<sup>3</sup>/h, 2,4 kW, WRG > 55 %)
- Abluftanlagen für WC-Räume Affenbergcafe (3x 60 m<sup>3</sup>/h, 3x 0,21 kW).

### **Kurzbeschreibung der Beleuchtungsinstallation:**

In den einzelnen Bauteilen der Lagune-Manati-Anlage wurden Beleuchtungsanlagen neu aufgebaut, die in Abhängigkeit des Bauteiles und der jeweiligen Nutzer unterschiedlichen Anforderungen unterliegen.

Dabei wurden folgende Teilanlagen für die Beleuchtung unterschieden:

- a) Außenbeleuchtung
- b) Beleuchtung Technikgebäude
- c) Beleuchtung Manatihaus (siehe Pkt. 3.3.1d)
- d) Beleuchtung Blauer Salon
- e) Beleuchtung Nebenraumsperre.

Die Außenbeleuchtung der Lagune kann v.a. in folgende Gruppen unterteilt werden:

- a) Wegebeleuchtung

Aufgrund der Betriebsweise des Tiergartens ist ein Besucherverkehr bei Dunkelheit nur bei Abend- bzw. Sonderveranstaltungen im Blauen Salon bzw. im Manatihaus zu erwarten.

Beleuchtungsstärke:  $\geq 2$  lx in der Wegachse

Pollerleuchten mit Holzfuß und Kompaktleuchtstofflampe (85x Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell).

b) Ausleuchtung Traglufthalle

Die Traglufthalle wird nur für den Winterbetrieb der Becken 1 und 6 aufgebaut. Dort ist kein Besucherverkehr vorgesehen.

Beleuchtungsstärke: keine Anforderungen

Scheinwerfer (4x Leistung je 1000 W, Halogenlampe Eff.kl. D, 4x Leistung je 400 W, Halogenlampe Eff.kl. D, manuell).

Das Technikgebäude dient der Aufnahme der für den Betrieb der Lagune-Manati-Anlage erforderlichen Aufbereitungs- und Heizungstechnik. Weiterhin sind in diesem Bauwerk einige wenige die Arbeitsplätze des Tierpflegepersonals untergebracht.

Wannenleuchten mit Leuchtstoffröhren Eff.kl. B (119x Leistung je 2x 58 W, Leuchtstofflampe, 10x Leistung je 1x 58 W, Leuchtstofflampe, 5x je 1x 36 W, Leuchtstofflampe).

Strahler (4x Leistung 1000 W, Halogenlampe, Eff.kl. D).

Schaltungsart Manuell Ein/Aus, Zentral-Aus.

Der Blaue Salon ist sowohl als Besucherbereich (tagsüber), als auch als Veranstaltungsort (abends) geplant. Im Normalbetrieb des Tiergartens soll der Blaue Salon im Wesentlichen an den Panoramascheiben eine Unterwassereinsicht in das Manati- und in ein Lagunenbecken ermöglichen.

a) Besucherbereich

Beleuchtungsstärke 250 lx, unterschiedliche Beleuchtungsprofile.

Scheinwerfer (82x je 50 W, Halogenlampe Eff.kl. D,)

Stromschiene-Scheinwerfer (40x Leistung je 24 W, LED-Strahler Eff.kl. A)

Wandeinbauleuchten (6x Leistung je 5 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B).

b) Scheibenbeleuchtung

Beleuchtungsstärke: keine Anforderungen

Scheibenbeleuchtung (LED-Leiste 4x Leistung je 1,5 W, je 18 LED Eff.kl. A).

Aufgrund des Bauortes unter dem Kiosk auf dem Delfinariumsvorplatz muss die neue Nebenraumspanne auch als Ersatz für die bisher dort eingebauten Toiletten dienen. Daher wird diese Gebäudespanne sowohl von Besuchern des Kiosks, als auch von den Tierpflegern des Delfinariums genutzt, für welche dort neue Arbeitsplätze eingerichtet wurden. Weiterhin dient ein Teil der Nebenraumspanne zur Aufnahme von Wasseraufbereitungstechnik für die Delfinlagune sowie Lagerräume für Gefrierfisch.

a) Arbeitsplatzräume

Wannenleuchte (Flur/Fischküche, 10x Leistung je 2x 58 W, Leuchtstoffl. Eff.kl. B, manuell),  
Rasterleuchte (Aufenthaltsraum, 2x je 2x 58 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart automatisch mit manueller Eingriffsmöglichkeit, Schaltsystem Präsenzmelder/Dämmerungsschalter mit Umgehungsmöglichkeit über Tastschalter),

Wannenleuchte (Umkleide, 3x Leistung je 2x 58 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, manuell),

Deckeneinbauleuchte (WCs/Dusche, 4x Leistung je 1x 26 W, Leuchtstoffl. Eff.kl. B, manuell)

b) Technikräume

Wannenleuchte (7x Leistung je 2x 58 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, manuell).

### c) Besucherräume

Deckeneinbauleuchte (9x Leistung je 26 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart automatisch, Schaltsystem Bewegungsmelder mit akustischem Schwellwertschalter).

#### **Kurzbeschreibung der Wasseraufbereitungsanlagen:**

Die Becken der Delfinlagune im Nürnberger Tiergarten sind mit einem Gesamtvolumen von ca. 5.500 m<sup>3</sup> in 6 Abschnitte (Becken 1- 6) aufgeteilt. Sie sind mit Salzwasser (2 bis 3%) gefüllt, welches vor Ort aus tierparkeigenen Brunnenwasser und Kochsalz erzeugt wird.

Je nach Jahreszeit und Betriebsweise (Sommer-, Übergangs- oder Winterbetrieb) werden die Becken als Warm- oder Kaltwasserbecken betrieben. Jedes Becken ist mit eigenen Wassereinspeisungen sowie Oberflächen- und Grundabzügen ausgestattet. Dabei werden die Volumenströme jedes Beckens sowohl einspeise- als auch ablaufseitig durch entsprechende Durchflussmessgeräte erfasst. Die Becken können je nach Jahreszeit und Bedarf (z.B. Mutter-Kalb-Becken 1) komplett separiert oder nur mit Trenngittern untereinander abgegrenzt werden. Sie werden außerdem über Schleusen in den Becken 1 und 6 mit dem bestehenden Delphinarium verbunden.

Für den Winterbetrieb der Becken 1 und 6 werden diese mit einer Traglufthalle überbaut, um so Wärmeverluste zu begrenzen bzw. den Winterbetrieb der Becken erst zu ermöglichen.

Um zur artgerechten Tierhaltung stets ein sauberes, klares und den hygienischen Anforderungen entsprechendes Beckenwasser zur Verfügung stellen zu können, wurde im neuen Technikgebäude eine mehrstufige Aufbereitungsanlage installiert, über die das Salzwasser aus den einzelnen Becken zur Reinigung im Kreislauf geführt wird.

Aus den Becken fließt das Wasser über Oberflächen- und Bodenabzüge in freiem Gefälle zwei Rotationsklärern zu (Leistung je max. 1.200 m<sup>3</sup>/h). Hier werden Grobstoffe wie Laub, Äste, Futterreste, in die Becken gefallene Gegenstände usw. entfernt.

Aus den unter den Rotationsklärern liegenden Rohwasserbehältern (kalt/warm je 130 m<sup>3</sup>) wird das Wasser mit sechs Umwälzpumpen (Leistung je max. 400 m<sup>3</sup>/h) entnommen und zum Teil über die von oben nach unten durchströmten drei Mehrschichtfilter (Leistung je max. 400 m<sup>3</sup>/h, Durchmesser 5 m) in die Becken zurück gefördert. Alle Umwälzpumpen sind mit einem Frequenzumrichter ausgestattet und werden drehzahl geregelt betrieben. Somit ist der umgewälzte Volumenstrom über die Frequenz- und damit die Drehzahlverstellung für die betreffende Aufbereitungsstraße einstellbar. In den Mehrschichtfiltern werden störende Wasserinhaltsstoffe wie Trübstoffe, Mikroorganismen, Phosphat usw. mittels Flockungsfiltration entfernt.

Andere Teilströme werden über mehrere sogenannte Eiweißabschäumer (Leistung 2x max. 400 m<sup>3</sup>/h, 1x max. 200 m<sup>3</sup>/h und 1x max. 120 m<sup>3</sup>/h) in die Becken zurückgeführt. In den Eiweißabschäumern werden durch den Zusatz von ozonhaltiger Luft kleinste Schmutzpartikel und insbesondere organische Verbindungen wie Eiweiße usw. aus dem Wasser entfernt.

Die Aufbereitungsanlage im bestehenden Delphinarium wird weiter betrieben und zur Steigerung ihrer Reinigungsleistung um zwei Eiweißabschäumern (Leistung je max. 100 m<sup>3</sup>/h) erweitert. Die Chlorierung wird damit dort eingestellt.

Zur dauerhaften Sicherstellung ihrer Funktion müssen die Mehrschichtfilter regelmäßig durch Rückspülung mit Wasser und Luft gereinigt werden. Das bei den Spülungen anfallen-

de Schlammwasser wird mittels einer aufwändigen Spülwasserrückgewinnungsanlage (Membranfiltration, UF-Anlage) aufbereitet und in den Salzwasserkreislauf zurückgeführt (Rückgewinnungsrate bis zu 95 %).



Bild 22: Filtereinbringung in das Technikgebäude

Bild 23: Eiweißabschäumer

Bild 24-25: Leitungsführung bzw. Umwälzpumpen der Wasseraufbereitung

Die separate Wasseraufbereitung für das Manatihaus (Beckengröße 675 m<sup>3</sup>, Süßwasser) wurde ebenfalls im neuen Technikgebäude untergebracht. Sie ist mit zwei Trommelsieben (Leistung zusammen max. 430 m<sup>3</sup>/h), zwei abwechselnd betriebenen Umwälzpumpen (Leistung je max. 400 m<sup>3</sup>/h), einem Mehrschichtfilter Nr. 4 (Leistung max. 250 m<sup>3</sup>/h, Durchmesser 4 m) und einem Eiweißabschäumer (Leistung max. 170 m<sup>3</sup>/h) ähnlich aufgebaut.

Auch hier ist eine regelmäßige Spülung des Mehrschichtfilters erforderlich. Das bei den Spülungen anfallende Schlammwasser wird auch weitestgehend zurück gewonnen und in den Süßwasserkreislauf zurückgeführt. Bei der Aufbereitung und auch der Rückgewinnung werden das Süßwasser der Manatianlage und das Salzwasser der Lagune strikt voneinander getrennt gehalten.

Alle wichtigen Parameter beider Aufbereitungsanlagen (Wasserstände, Volumenströme, Wasserbeschaffenheiten usw.) werden zur Sicherstellung der bestmöglichen Wasserqualität laufend überwacht und an das zentrale Leitsystem der Anlage übertragen.

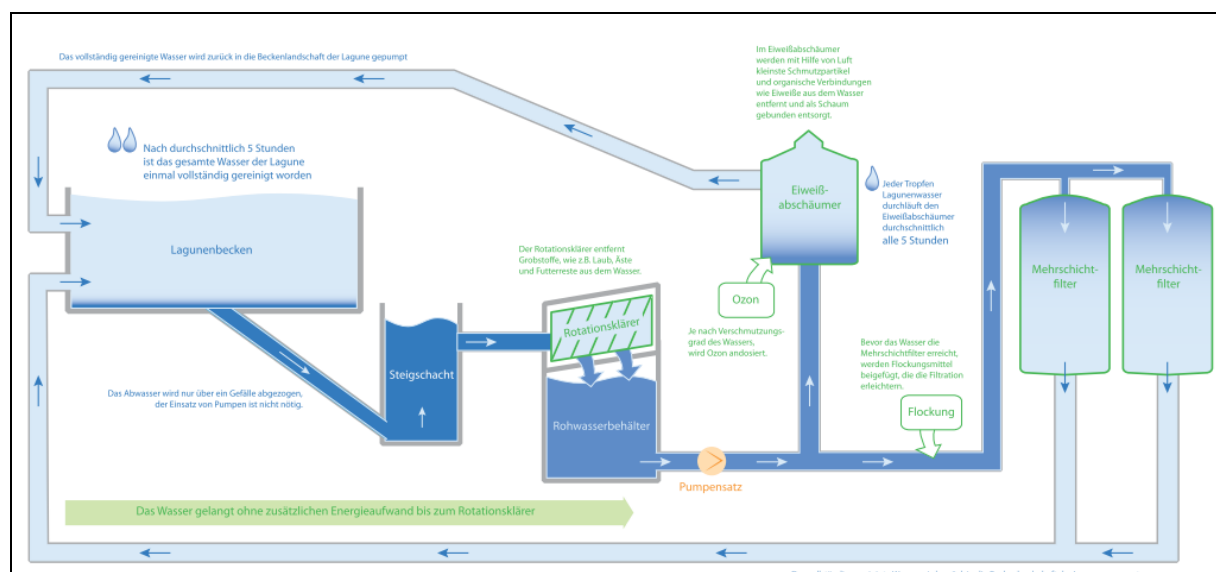


Bild 26: Prinzipdarstellung Wasseraufbereitung Lagune/Manatihaus



Die Ausführung der Gebäude- bzw. Prozessleittechnik siehe Pkt. 3.1.4, S. 25.

### 3.1.3 Beschreibung des Projekt- bzw. Bauablaufs

Seit Anfang 2007 ist das Kommunale Energiemanagement an den Planungen der Lagune-Manati-Anlage beteiligt. Unter Federführung von KEM wurde zusammen mit dem externen TGA-Ingenieurbüro das Energiekonzept erarbeitet (2007 bis 2008).

Im Januar 2008 wurde im Bau- und Vergabeausschuss des Stadtrates der Entwurf/Objektplan für den Neubau von Delfinlagune und Manatihäuser beschlossen. Die Baugenehmigung wurde mit Bescheid vom 24.06.2008 erteilt.

Die Rohbauarbeiten begannen im Mai 2009 für das Technikgebäude, für das Manatihäuser im September 2009.

Im Herbst 2009 wurden die Leistungsverzeichnisse der TGA-Gewerke versandt.

In Verbindung mit der Erstellung des MSR-LVs (Versand im Februar 2010) wurde das messtechnische Konzept für die 2- bis 3-jährige energetische Optimierung des Manatihäuser und der Lagunenlandschaft fertigentwickelt.

Anfang 2010 begann im Technikgebäude die Montage der Wassertechnik, im April/Mai 2010 die Montage der HLSE-Technik, im Mai 2010 wurden schließlich die Filter für die Wasseraufbereitung Lagune-Manati angeliefert und eingebracht. Die genannten Arbeiten Wassertechnik und HLSE-Technik zogen sich bis ca. Dezember 2010 hin (gilt auch für Verbindungstechnikgang zwischen Neubau Lagune-Manati und Bestand Delfinarium 1).

Im Manatihäuser dauerten die Rohbauarbeiten bis Herbst 2010. Ab diesem Zeitpunkt starteten die Ausbau- und Fassaden-/Dacharbeiten, die Montage der Wassertechnik begann vorher im August 2010, ab Oktober/November 2010 schließlich die HLSE-Technik.

Bis März 2011 wurden im Manatihäuser die Restarbeiten bei Wassertechnik und HLSE-Technik abgeschlossen, ebenfalls bis zu diesem Zeitpunkt die Bau- bzw. Fassaden-/Dacharbeiten.

Folgende „Meilensteine“ sind bei der technischen Ausrüstung zu nennen:

- Solaranlage: Januar 2011 Fertigmontage, April 2011 Inbetriebnahme
- Gasbrennwertheizung: April 2011 Inbetriebnahme
- Fensterlüftung Manatihäuser: Anfang April 2011 Inbetriebnahme
- Lüftungsanlage Manatihäuser: Ende April 2011 Inbetriebnahme
- BHKW: Mai 2011 Inbetriebnahme
- Funktionsprüfung der Beckenwassererwärmung: Mai 2011
- Aufheizung der Lagune- und Manatibecken: Juni 2011
- Fertigstellung des MSR-Netzwerks Heizung-Lüftung: Juni/Juli 2011
- Aufschaltung aller Zähler: Juli 2011

Die Luftdichtigkeit wurde mittels eines Blower-Door-Tests kontrolliert (Juli 2011, 0,93 1/h).



Bild 27: Baustelle Lagune 2009 (Grimm)

Nachdem von April bis Juli 2011 die Gestaltung der Außenanlagen (Sitzflächen, Bepflanzung, Naturstein) in vollem Gange war, konnte die Einweihung am 28. Juli 2011 durchgeführt werden, die offizielle Eröffnung fand am 30. Juli 2011 statt.

Die Monitoring- und Betriebsoptimierungsphase inkl. Arbeiten zur Mängelbeseitigung startete mit dem Nutzungsbeginn ab August 2011.

Im September 2011 wurden die Abnahmen für MSR- und Heizungstechnik durchgeführt, im Juni 2012 schließlich die Abnahme der Lüftungstechnik.

Eine Grundsatzbesprechung zwischen Tiergarten und KEM über die Durchführung der Optimierung fand im Oktober 2011 statt.

Im Dezember 2011 erfolgte eine Schulung ‚Gebäudeleittechnik‘ für alle technischen Nutzer. Ausführliche Thermografieuntersuchungen an Manati-/Tropenhaus, Technikgebäude und Traglufthalle wurden im Januar und März 2012 durchgeführt.

### 3.1.4 Messtechnische Begleitung

Um bei Neubauten und energetisch relevanten Bestandssanierungen das Optimum an Energieeffizienz zu erreichen, ist es von großer Bedeutung, die Objekte nach Inbetriebnahme durch ein systematisches Monitoring weiter zu begleiten. Dies erstreckt sich von der Erfassung und Bewertung der Verbräuche über die Optimierung der Regelungseinstellungen bis zu notwendigen Eingriffen in die Anlagenkomponenten und bezieht das Nutzerverhalten direkt ein. Dies ermöglicht eine wirksame Minimierung der tatsächlichen Verbräuche.

Diese Betriebsoptimierung ist allerdings nicht mit der Mängelbeseitigung gleichzusetzen. Sie ist ein Instrument, um durch Beobachtung (vor Ort, GLT-Fernzugriff) den bereits niedrig geplanten Energieverbrauch möglichst weiter zu senken. Für einen effizienten Betrieb müssen auch z.B. unterschiedliche Wärmeerzeuger wie Gaskessel, BHKW und Solaranlage aufeinander abgestimmt werden.

Da es bereits zu Planungsbeginn unterschiedliche Auffassungen zum Wärmeerzeugermanagement zwischen KEM und dem Planungsbüro für Heizungs-/Lüftungstechnik gab, wurden im Zuge der Leistungsphase Ausführungsplanung (März 2010) Effizienzkriterien vereinbart, deren Einhaltung je im Sommer- und Winterbetrieb das Planungsbüro schuldet:

- Die Netzurücklauftemperatur liegt ganzjährig  $\leq 45^{\circ}\text{C}$ .
- Die Rücklauftemperatur zu den BWK liegt ganzjährig  $\leq 45^{\circ}\text{C}$ .
- Wärmeerzeugermanagement:
  - Die Brennerleistung der BWK 1+2 zeigt stabiles Regelverhalten (kein unnötiges Takten und schnelles Verändern der Leistung).
  - In der Heizbetriebszeit, in der die/der Kessel auch benötigt werden, läuft das (Grundlast-)BHKW auf Vollast.
  - Das BHKW zeigt stabilen Betrieb, wenig/keine Taktung (Mindestlaufzeit gemäß Bafa-Antrag).
- Bei solarer Einstrahlung vorrangige Nutzung der Solarenergie für die Beckenwassererwärmung vor den fossilen Wärmeerzeugern gewährleisten.
- Die Temperatur im gemeinsamen Rücklauf von den PWT der Wasserbecken sollte ganzjährig  $\leq 30^{\circ}\text{C}$  betragen.

Die Monitoringphase erstreckt sich im Falle der Lagune-Manati-Anlage von der Inbetriebnahme Ende Juli 2011 bis ca. Mitte 2014 und wird von KEM durchgeführt. Danach soll das Gebäude in das laufende Energiecontrolling der Stadt Nürnberg übernommen werden. Darüber hinaus ist die Analyse des Raumklimas und des Sommerverhaltens eine weitere wichtige Aufgabe, welche durch Vor-Ort-Begehungen bzw. –messungen unterstützt wird.

Wesentlicher Punkt in der Monitoringphase ist die Überprüfung der Einhaltung der Effizienzkriterien im Sommer- und Winterbetrieb.

Für die messtechnische Begleitung wurde ein Zählerkonzept realisiert, welches neben den Hauptzählern für die Medien Gas, Strom und Wasser weitere Nebenzähler je Anlage, Bauteil bzw. Informationsschwerpunkt (ISP) beinhaltet.

Die weiterhin relevanten bzw. erfassten Daten sind die externen Wetterbedingungen, die Raum- und Beckenwasserkonditionen (v.a. Manatihaus), der Strom-, Energie- und Wasserverbrauch, die Regelparameter der haus- und wassertechnischen Anlagen und der Fenster. Im Anhang ist die Übersicht über alle Zähler sowie das MSR-Schema der Heizungsanlage und der Lüftungsanlage Manatihaus beigefügt.

In der Lagune-Manati-Anlage wurden zwei getrennte Systeme realisiert:

- Gebäudeleittechnik für heizungs- und lüftungstechnische Anlagen
- Prozessleitsystem für die Wasseraufbereitung.

### **Gebäudeleittechnik für heizungs- und lüftungstechnische Anlagen**

Eine zentrale gewerkeübergreifende Gebäudeleittechnik (Kieback+Peter DDC4000) dient der sicheren und effizienten Betriebsführung und führt alle TGA-Komponenten zusammen. Sie regelt und steuert den Betrieb der heizungs- und lüftungstechnischen Anlagen und ist als BACnet-Controller ausgeführt, welcher die Anforderungen nach ISO 16484-6 und die Konformität nach ISO 16484-5:2007 erfüllt. Weiterhin werden Betriebs- und Störmeldungen erfasst und dokumentiert. Alle Sollwerte, Istwerte sowie Verbrauchswerte können von der GLT registriert und archiviert werden, Trendaufzeichnungen sind möglich.

Die GLT besteht im Wesentlichen aus vier Informationsschwerpunkten:

Über die ISP01 werden die Heizkessel, das BHKW, der Heizungsverteiler, die Solaranlage und die Beckenwärmetauscher gesteuert und geregelt.

Die unter ISP02 geführte MSR-Einrichtung ist vorwiegend für die Fenstersteuerung des Manatihauses zuständig; untergeordnet verschiedene Ablüfter sowie die Fußbodenheizung Blauer Salon. Im Notstrombetrieb werden über den ISP02 die Fenster und die Lüftungsanlage Manatihaus sowie die notwendigen Heizungspumpen weiter betrieben.

Eine Wetterstation auf dem Dach misst die Hauptklimaparameter.

Die ISP03 regelt für die Nebenraumspange den Heizungsverteiler, die Lüftung Duschens/Umkleiden, die Lüftung WCs und die Regelung der Traglufthalle.

Die ISP04 steuert in der Nebenraumspange den Heizungsverteiler Affenbergcafe, die Lüftung von Küche sowie Gastraum.

Für die Messwerterfassung und –auswertung ist ein GLT-Rechner im Technikraum UG eingerichtet. Die Daten werden von dort über das städtische Intranet an den PC des zuständigen Mitarbeiters des Kommunalen Energiemanagements weitergeleitet und von diesem regelmäßig analysiert (z.B. Trendanalyse) und ausgewertet. Das Technikpersonal des Tiergartens überprüft den Betrieb der Anlagen vor Ort (Störungen) und ändert Sollwert- oder Zeiteinstellungen je nach Erfordernis und in direkter Absprache mit KEM.

Die Aufschaltung der GLT Heizung/Lüftung auf die Arbeitsplätze im Hochbauamt zur Überwachung der Funktionen und als Basis für die energetische Optimierung erfolgte Ende 2012.

### **Prozessleitsystem für die Wasseraufbereitung**

Alle Verfahrensschritte der Wasseraufbereitung können automatisch gesteuert werden. Dazu ist eine speicherprogrammierbare Steuerung eingesetzt und miteinander vernetzt (Ethernet mit Standard-Protokoll TCP/IP). Typ Steuergerät: Siemens S7-400.

Der Steuerungsanlage übergeordnet ist eine Prozessleitsystemanlage zur erweiterten Erfassung und Visualisierung aller betriebsrelevanten Parameter der Teilbauwerke und der Teilanlagen sowie deren Archivierung und Protokollierung installiert worden. Das Leitsystem verfügt über einen separaten Rechner mit Serverbetriebssystem, welcher in das Ethernet der Steuerungsanlage integriert ist. Mit dem Aufbau der Leittechnik ist auch eine qualifizierte Störmeldeverarbeitung eingerichtet.

Für das energietechnische Monitoring werden ausgewählte Messwerte im Prozessleitsystem aufgezeichnet, archiviert und über eine Fernzugangsmöglichkeit bereitgestellt.

An die Archivierung werden folgende prinzipielle Anforderungen gestellt:

- Spontanarchiv (Kurzzeitarchiv)
- Langzeitarchiv (zyklisch)
- Rearchivierungsfunktion (Offlinearchiv, eingelagerte Daten)

Das Leitsystem verfügt über einen integrierten Kurvenbaustein zur Trenderstellung.

## 3.2 Ergebnisse der Messdatenauswertung

### 3.2.1 Bisherige Betriebserfahrungen technische Gebäudeausrüstung

Seit Eröffnung der Lagune-Manati-Anlage wurden vom Betreiber team und von den Mitarbeitern des Hochbauamtes verschiedene Erkenntnisse und Erfahrungen gesammelt. Problematische werden hier stichpunktartig aufgeführt (nähere Erläuterungen im Text):

- fehlerhafte Funktion bzw. Aufschaltung der Zähler für Gas und Wasser
- Stromzähler für Lüftungsgeräte Manatihaus und Blauer Salon im Sept. 2012 eingebaut
- temporär zu geringe Raumtemperaturen im Manatihaus im Winter, daher Überprüfung der Heizlastberechnungen erforderlich
- uneffizienter Betrieb des BHKWs, häufiges Takten, Nichteinhaltung der definierten Effizienzkriterien beim Wärmeerzeugermanagement
- Regelungskorrekturen bei Lüftungsanlagen Manatihaus und Blauer Salon
- Nachrüstung der Einbindung der Solaranlage in das Heizsystem erforderlich
- uneffizienter Betrieb der Solaranlage
- hydraulische Mängel im Heizsystem bezüglich Wärmeverteilung, daher Überprüfung der Rohrnetzberechnungen nötig.

### 3.2.2 Erkenntnisse bezüglich des Raumklimas

Anhand der vorhandenen Messwertaufzeichnungen konnte das Raumklima und damit das Energiekonzept überprüft und Handlungsanweisungen bzw. Empfehlungen zur weiteren Optimierung gegeben werden.

Hinweis: In den grauen GLT-Schaubildern entspricht die angezeigte Ablufttemperaturanzeige Kanal (in °C) tatsächlich der Abluftfeuchteanzeige Kanal (in % r.F.).

#### 3.2.2a Messzeitraum Sommer - August 2011

Kurz nach Inbetriebnahme der Anlage wurden in der ersten Augushälfte 2011 Messungen an der Südfassade durchgeführt. Leider sind bei realen Feuchtwerten um die 100 % die Temperaturmessgeräte öfters „ausgestiegen“, so dass z.T. Messwerte fehlen.

Die Referenzwerte der Außentemperatur stammen von der Wetterstation Nürnberg-Buch.

Ablesbar sind die schwankenden Raumtemperaturen zwischen 22 und 32°C. Sehr gut ist auch der Tag-/Nachtunterschied der Außentemperatur zu erkennen.



Entsprechend der Grafiken sind drei Zeiträume feststellbar:

1. vom 2.8. bis 7.8.: mit Fensterlüftung
2. vom 9.8. bis 10.8.: mit mechanischer Lüftung inkl. Zulufttemperaturregelung
3. vom 11.8. bis 18.8.: mit Fensterlüftung.

Mit Fensterlüftung wird innen eine gute Temperatursteuerung erreicht (2 bis 4°C über außen), mit mechanischer Lüftung abhängig von der Einstrahlung teilweise innen bis zu 13°C über außen. Die relative Luftfeuchte schwankt von 40 bis 100 %. Bei Fensterlüftung tagsüber sinkt der Wert auf ca. 40 % ab. Hier kann mit der Sprühdüsenberegnung entgegengesteuert werden. Bei mechanischer Lüftung werden minimale Feuchtegrade von ca. 60 % erreicht (Außenluftbetrieb, Entfeuchtungsbetrieb mit Wärmepumpe). Der maximale und häufigste Wert liegt allerdings bei > 90 %, abhängig von den häufig durchgeführten Beregnungsphasen (bis zu 17x in 24 Stunden à 3 min.). Die Gärtner hatten Bedenken wegen zu wenig Bewässerung während der Anwachsphase der Pflanzen.

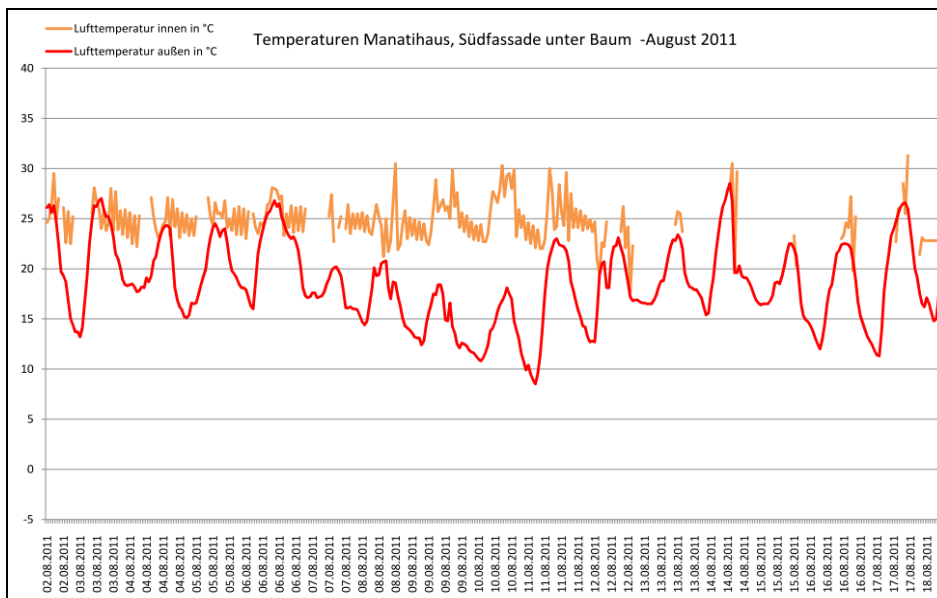


Diagramm 6: Raumtemperaturen Manatihaus August 2011

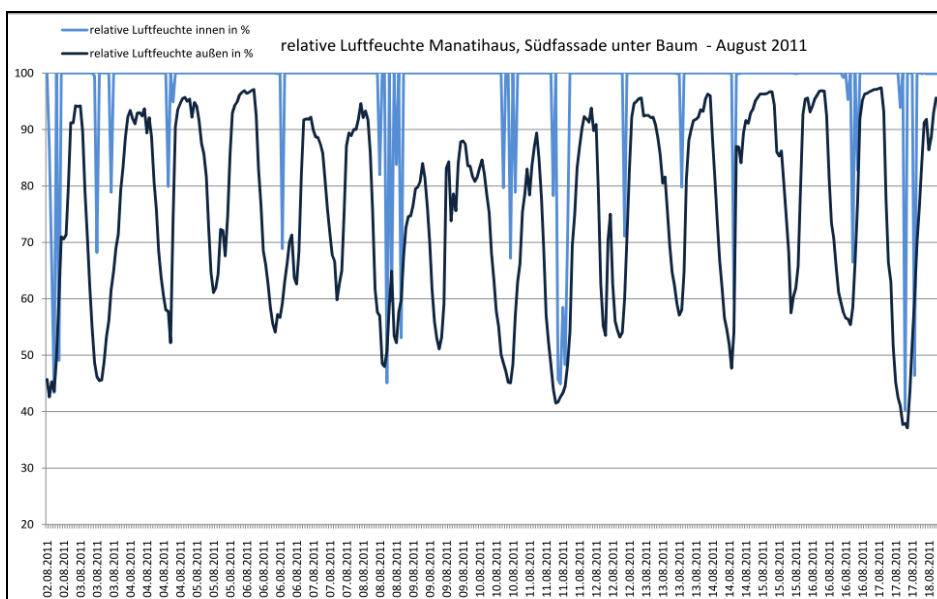


Diagramm 7: rel. Raumfeuchte Manatihaus August 2011

### 3.2.2b Messzeitraum Herbst - Oktober 2011

Ab Ende September 2011 wurde festgestellt, dass die Raumtemperatur im Manatihaus bereits bei moderaten Temperaturen der Übergangszeit nachts zu stark absinkt; Messungen ergaben auf bis 23,5°C; als Sollwert waren 26-27°C festgelegt.

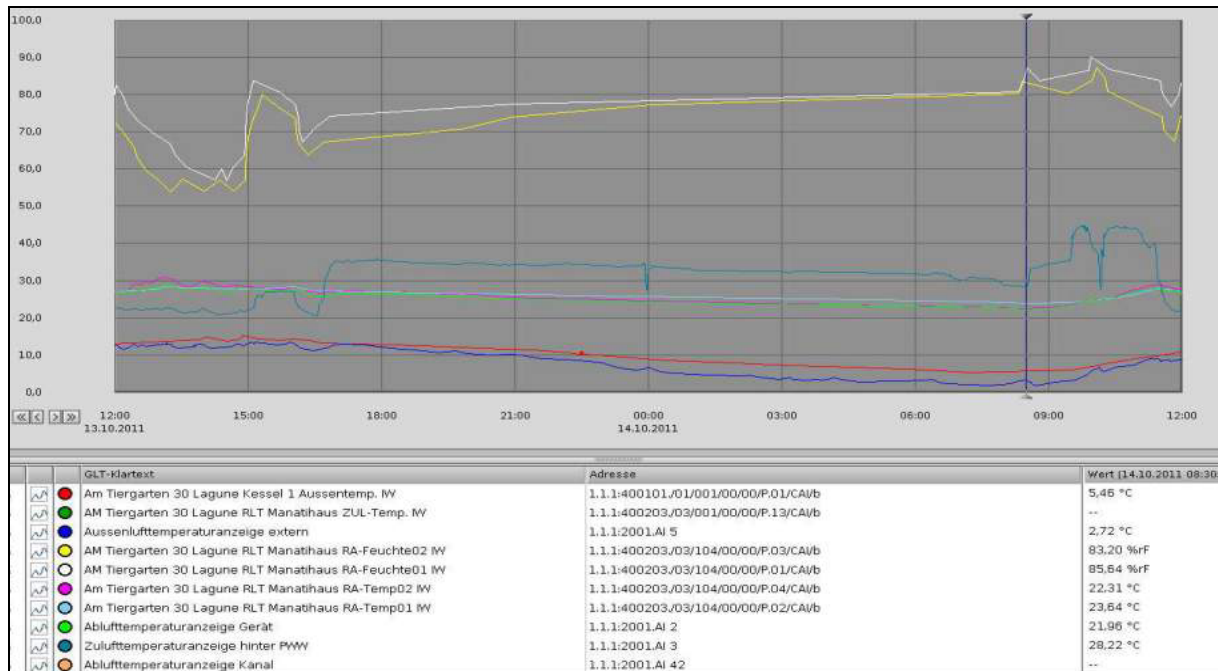


Diagramm 8: Raumklima Manatihaus Oktober 2011

Am 14.10.2011, 9.00 Uhr morgens, kam es sogar zu einem Absinken bis auf 22,2°C, die Wassertemperatur lag bei 26,1°C. Vorausgegangen war, dass am 13.10.2011 die Wärmeerzeugung nur durch das BHKW und teilweise durch die Solaranlage erfolgte, beide Gaskessel waren aus und blieben auch über Nacht aus (Außentemperatur bis Minimum 1,5 °C). Durch die geringe Heizleistung sank die erzeugte Zulufttemperatur bis auf 28°C ab. Das Gebäude kühlte mit zu geringer Wärmezufuhr nachts aus. Das Einschalten beider Kessel erfolgte dann am 14.10.2011 um 9.15 Uhr manuell durch das Tiergartenpersonal. Die nächtliche relative Feuchte lag bei 70-80 %. Tagsüber wurden die Fenster teilweise manuell geöffnet (Außentemperatur bis 15°C), die Feuchte sank auf ca. 55 % ab. Beregnung nur 10.00 und 15.00 Uhr, jeweils 3 min..

### 3.2.2c Messzeitraum Winter - Februar 2012

Ab dem 01.02.2012 stellten sich zwei besonders kalte Wochen mit minimalen Außentemperaturen von bis zu -20°C ein. Das Diagramm zeigt eine konstante Zulufttemperatur von ca. 50°C von nachmittags bis vormittags; die Ablufttemperatur liegt bei 27°C und fällt nur wenig ab. Die beiden Torluftschleieranlagen sind in Betrieb und liefern 2 bzw. 10 kW. Erreicht wird eine Wärmetauscherleistung von etwa 120 kW. Nachts fährt die Lüftungsanlage Umluftbetrieb. Die relative Feuchte liegt konstant bei ca. 75 % (Sollwert 80 %). Tagsüber verändern Sonneneinstrahlung und Beregnung die jeweiligen Kurvenverläufe. Die Beregnung erfolgt nur um 12.00, 14.00 und 16.00 Uhr für je 3 min.; die Entfeuchtungswärmepumpe ist tagsüber aufgrund der durch die Beregnung eingebrachten Feuchte in Betrieb.

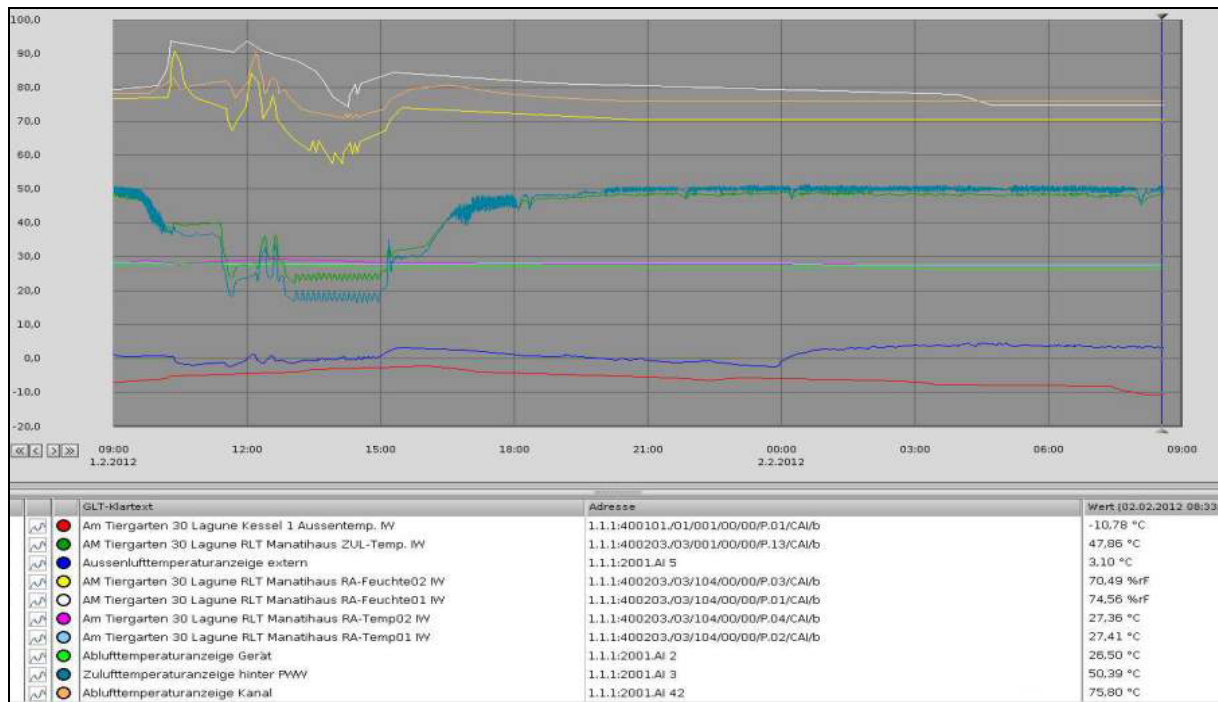


Diagramm 9: Raumklima Manatihaus Februar 2012

### 3.2.2d Messzeitraum Sommer - Juli 2012

Die nächtliche relative Feuchte liegt regelungstechnisch gesteuert bei ca. 75-80 %. Ab ca. 10.30 Uhr am nächsten Vormittag öffnen temperaturgesteuert die Fenster und die rel. Feuchte sinkt auf ca. 40-50 %. Beregnungsphasen sind von 12.00 - 16.00 Uhr (5x à 3 min.), um 6.00 Uhr und um 18.30 Uhr, jeweils 20 min.. Am Tag sinkt die Raumtemperatur nach dem Fensteröffnen auf ca. Außentemperaturniveau.

Die nächtliche Raumtemperatur pendelt zwischen 26,5 und 28°C. Die gesteuerte Zulufttemperatur erreicht bis zu 40°C, über das Heizregister werden hierzu bis zu 40 kW bereitgestellt; abwechselnd dazu läuft der Entfeuchtungsbetrieb der Wärmepumpe.

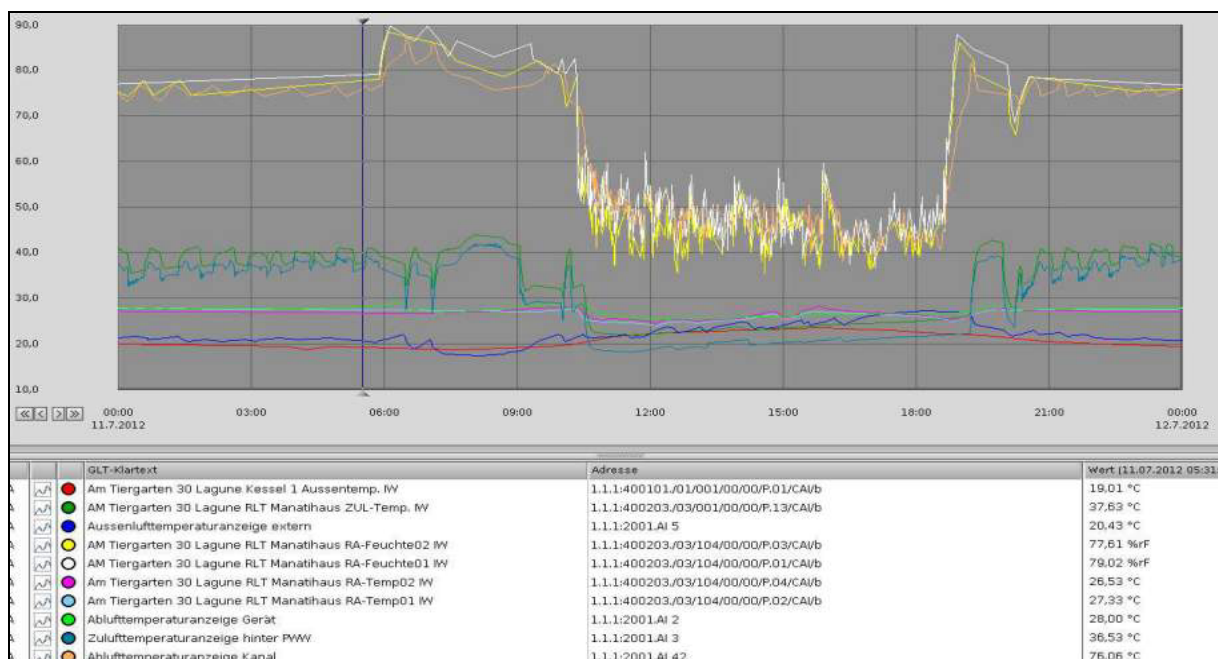


Diagramm 10: Raumklima Manatihaus Juli 2012

Rückblickend kann das Raumklima im Manatihaus als gut bewertet werden.

### 3.2.3 Thermografieuntersuchungen

Thermografieuntersuchungen konnten erst nach der Inbetriebnahme bei niedrigen Außentemperaturen durchgeführt werden. Dies erfolgte für alle beheizten Gebäude des Bauvorhabens am 14.02.2012 und am 06.03.2012. Bericht siehe Anlage.

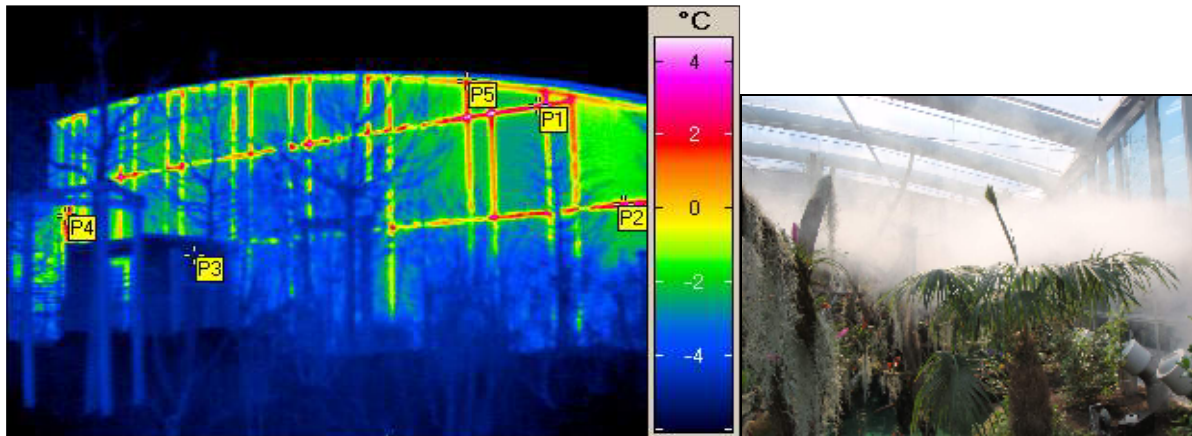


Bild 28: Thermografie Manatihaus, Fassade West am 14.02.2012

Bild 29: Luftdichtigkeitsmessung mit Leckagesuche durch Nebelgenerator

Die Thermografieuntersuchung zeigt insgesamt für das Gebäude einen sehr guten Wärmeschutzstandard. Untersucht werden konnten nur die Glasfassaden. Die Dichtigkeit der Dachkonstruktion wurde mittels Blower-Door-Untersuchung festgestellt.

Die Raumtemperaturen liegen mit im Mittel 28°C relativ hoch. Insofern liegen auch die Oberflächentemperaturen auf den Außenbauteilen höher, als bei konventionellen Gebäuden im Winter. Undichtigkeiten, Leckagen, etc. wurden nicht gefunden.

Die Fensterflügel der Westfassade, die hohen Anforderungen hinsichtlich Temperatur, Feuchte und biologischen Belastungen ausgesetzt sind, schließen erstaunlich dicht.

Im Windfangbereich West gab es Bedarf für Nachbesserungsarbeiten.

Das Einbringtor für die Manatis stellt erwartungsgemäß eine wärmeschutztechnische Schwachstelle dar.

### 3.2.4 Blower-Door-Test

Am 06.07.2011 wurde die Luftdichtigkeitsmessung mit Leckagesuche durchgeführt. Zur Visualisierung von möglichen Leckagen wurde ein Nebelgenerator, unterstützt durch Anemometeranalyse der Fassadenbereiche in Mannhöhe, verwendet. Bericht siehe Anlage.

Der gemessene  $n_{50}$ -Wert lag bei 0,93 1/h und liegt damit unter dem Zielwert der städtischen Standards für Gebäude mit Lüftungsanlagen von 1,0 1/h.

Zusammenfassend lässt sich folgendes sagen:

- das Dach, inkl. Anschlüsse ist dicht,
- relativ undicht war die untere Fuge des Einbringtores für die Manatis, die noch etwas nachgearbeitet wurde, bleibende Undichtigkeiten sind systembedingt,
- kleinere Undichtigkeiten gab es bei drei Fensterflügeln, die nachgearbeitet wurden,
- einige Durchdringungen von Kabel und Rohrdurchführungen zu angrenzenden Technikräumen waren noch nicht verschlossen und wurden provisorisch abgedichtet, damit ist der gemessene Wert um einiges schlechter, als er sich im Betrieb ergibt.



Eine weitere Kontrollmessung war nicht möglich, da dann die Tiere (Vögel, Schmetterlinge, Affen, Schildkröten, Frösche, Ameisen, Fische, Manatis etc.) bereits an das Haus für die Eröffnung am 30.07.2011 gewöhnt wurden.

### 3.3 Energieverbräuche im ersten Betriebsjahr

Die Zielwerte aus dem Jahre 2008 für Wärme und Strom werden für den Neubau der Lagune-Manati-Anlage im ersten Betriebsjahr nicht erreicht. Der deutliche Unterschied jedoch auch schon dieser Verbräuche gegenüber den Sollwerten des ersten Planungskonzepts 2005 ist erkennbar, vgl. Diagramm 11. Allein schon die Festlegung der anspruchsvollen Ziele und deren planerische Umsetzung reduzieren offensichtlich die Verbräuche gegenüber Standardplanungen erheblich. Die höheren Verbräuche im ersten Betriebsjahr gegenüber der Zielsetzung 2008 belegen allerdings die Notwendigkeit der (weiteren) Optimierungs- und Monitoringphase, stellen aber auch die Frage nach Qualität der Planungen.

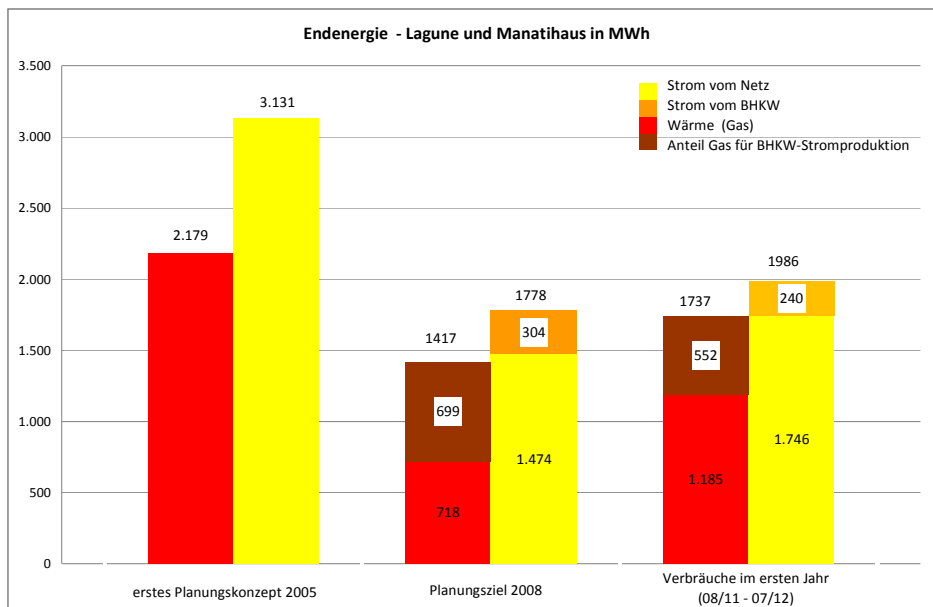


Diagramm 11: Entwicklung der Endenergie für Lagune und Manatihaus

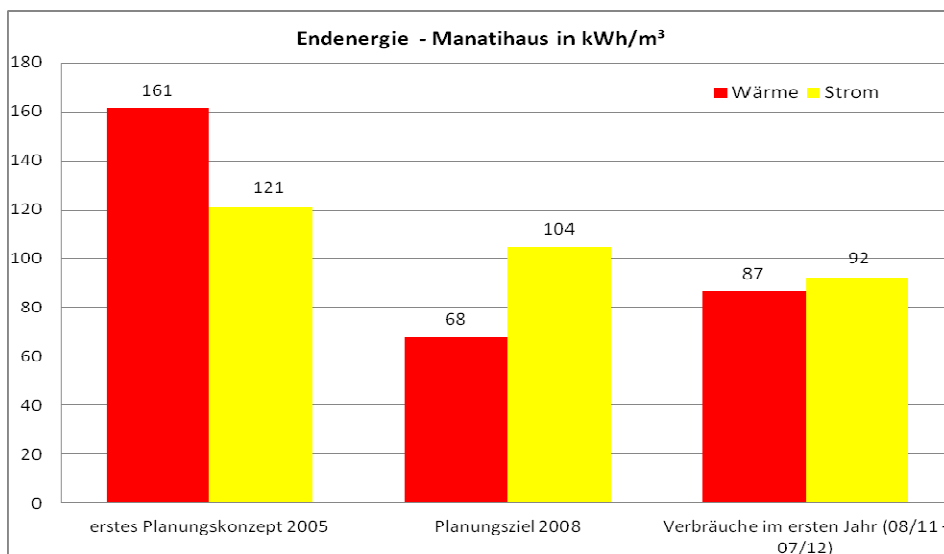


Diagramm 12: Entwicklung der Endenergie für das Manatihaus

### 3.3.1 Elektrische Energie

Der Stromverbrauch in der Lagune wird über die Einspeisung des städtischen EVU (NERGIE AG) mit eigenem Zähler inkl. separatem Messwandlerzähler gemessen.

Eigens für die neue Lagune-Manati-Anlage wurde im Technikgebäude eine Mittelspannungsschaltanlage und eine Transformatorstation 20/0,4 kV errichtet.

Den Stromverlauf von 31.07.2011 bis 31.07.2012 zeigt nachfolgendes Diagramm.

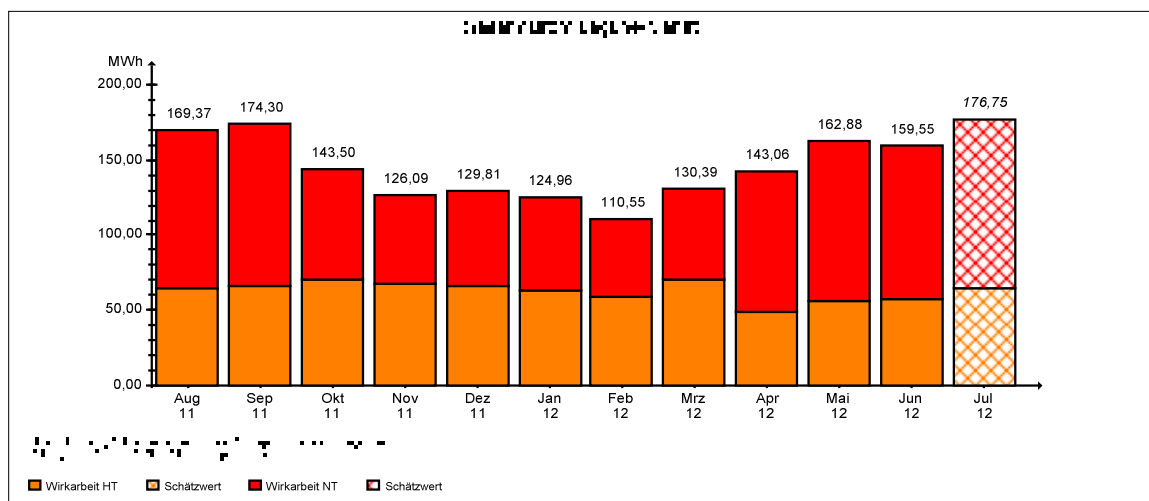


Diagramm 13: Gesamtstromverbrauch Lagune-Manati in HT-/NT-Tarif

Insgesamt ergibt sich ein Stromverbrauch von

- 1.745,8 MWh für das erste Betriebsjahr.
- Bei Bezug auf NGF 346,5 kWh/m<sup>2</sup> (NGF: beheizte und unbeheizte Technikflächen)
- Bei Bezug auf Wasserfläche Lagunen-/Manatibecken gesamt 923,7 kWh/m<sup>2</sup>

Der Gesamtstromverbrauch der Lagune-Manati-Anlage ist monatsweise aufgetragen und in Haupt- und Nebentarif unterteilt.

Deutlich wird im obigen Diagramm auch, dass die Verbräuche im Haupttarif ab Nutzungsbeginn ganzjährig ähnlich hoch waren, während im Nebentarif ausgeprägte Spitzen in den Sommermonaten auftreten.

Die leichten Schwankungen im Haupttarif (gleichmäßiger Sockelwert bei ca. 60 MWh) sind von der Nutzungsintensität des Affenbergcafes abhängig.

Der Nebenstromtarif (wochentags von 22.00-6.00 Uhr, samstags von 13.00-24.00 Uhr, sonn-/feiertags von 0.00-6.00 Uhr) liegt im Winter bei ca. 60 MWh, im Sommer jedoch bei bis zu 110 MWh. Dies ist erstaunlich, denn welche Anlagenteile laufen im Sommer vermehrt nachts bzw. am Wochenende? Nach Überprüfung der Daten ergibt sich ein Mehrverbrauch der Wasseraufbereitung von ca. 7,5 MWh (Mai/Juni gegenüber März/April). Weiterhin ist das BHKW in den Sommermonaten häufig aus (tagsüber wegen geringem Wärmebedarfs bzw. hoher solarer Verfügbarkeit, nachts wegen hydraulischer Probleme im System BHKW-Puffer), so dass der Strombezug über das EVU steigt. Überschlägig ermittelt fehlen hier nachts etwa 12,1 MWh. Eine weitere Klärung der Restdifferenz seitens der Fachplaner steht aktuell noch aus.

Die Verbräuche für Strom liegen für das erste Betriebsjahr mit 1.745,8 MWh noch weit über den geplanten Bedarfswerten von 1.474,0 MWh; dies zeigt den weiteren Ansatz hinsichtlich einer Verbrauchsoptimierung.

In diesem Zusammenhang ist u.a. auch die Betriebsweise der Wassertechnik zu nennen, welche gemäß Anordnung Tiergarten wegen Qualitätsproblemen der Beckenwässer seit Herbst 2011 auf höchster Qualitätsstufe und damit höchster Stromverbrauchsstufe gefahren wird. Auslöser war eine unzuverlässige Funktion der Eiweißabschäumer, welche eine mangelnde Ozonierung bzw. Beckenwasserdesinfektion bewirkten mit gefährlicher Keimbildung als Folge. Zum Ausgleich wurde die Wasseraufbereitung über die Sandfilter auf Maximalleistung gestellt, bei vollem Pumpenbetrieb. Die Nachbesserungsarbeiten erstreckten sich bis September 2012.

Durch Unterzähler kann der Stromverbrauch der Lagune-Manati-Anlage noch weiter detailliert werden. Dies geschieht in der Elektrotechnik durch Unterzähler (Janitza UMG 96s bzw. 507), welche als Messwerte neben Strom, Frequenz und Spannung hauptsächlich Wirkleistung, Scheinleistung sowie Blindleistung aufzeichnen. Aufgeteilt wird dies in die Bereiche Gesamteinspeisung NSHV, Einspeisung BHKW, Blauer Salon, Nebenraumspange (NRS) und Ultrafiltration. Die Messungen erfolgen seit September 2011. Probleme bestehen, da die Zählerstände Prozessleitsystem bzw. UMG-Messgerät teilweise voneinander abweichen.

Bei der Wasseraufbereitungstechnik ist eine Vielzahl von elektronischen Motorsteuerbausteinen (MID) in den Schaltanlagen der Lagune-Manati-Anlage eingebaut. Neben Strom, Frequenz und Spannung wird hauptsächlich Wirkleistung, Scheinleistung, Betriebsstunden sowie Motorstarts gemessen und aufgezeichnet. Unterschieden wird nach Eiweißabschäumern, Pumpen, Druckluft- und Ozonerzeugern. Die Datenaufzeichnung erfolgte teilweise ab September 2011, für alle Pumpen jedoch erst ab Februar 2012. Eine Summe „Stromverbrauch Wassertechnik“ wird nun im September 2012 programmiert.

In der TGA erfolgt die Zählung durch die Unterteilung in die Informationsschwerpunkte (ISP): 1=Heizung, 2=Fensterlüftung Manatihaus, 3=Nebenraumspange, 4=Affenbergcafe. Dazu separat gezählt sind Lüftungsanlagen für Manatihaus und Blauer Salon. Die Verbrauchsdatenaufzeichnung startete hier zum 28.07.2011 (ISP02) bzw. erst zum 01.11.2011 (ISP01, 03, 04) bzw. erst Ende September 2012 (RLT Manati/Blauer Salon).

Beispielhaft für den Zeitraum 01.04.2012 bis 30.06.2012 soll hier die tatsächliche Stromverbrauchsaufteilung für die Lagune-Manati-Anlage aufgezeigt werden.

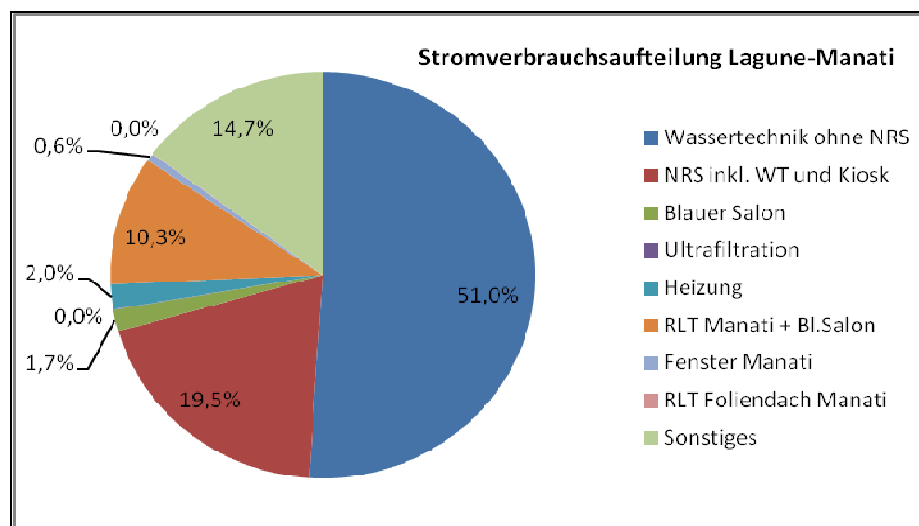


Diagramm 14: Stromverbrauchsaufteilung Sommerfall anhand Differenzrechnung

Dieses Diagramm zeigt deutlich die Strom-Hauptnutzungen für den Sommerfall:

Der Anteil Wassertechnik Lagune-Manati ohne die Verbraucher in der Nebenraumspange NRS nimmt mit 51,0 % den größten Raum ein. Dessen Anlagen sind allerdings essentiell für einen ordnungsgemäßen Betrieb.

An zweiter Stelle folgt die Nebenraumspange mit dem Kiosk (Affenbergcafe), welches naturgemäß ab Frühling höhere Verbräuche aufweist (19,5 %).

Anschließend der Teil Sonstiges mit 14,7 %. Dieser besteht aus einem Teil Regelung für die Wassertechnik, aus den Stromverbräuchen für Server, Soleanlage sowie Beleuchtung bzw. Steckdosen im Manatihaus und im Technikgebäude. Er besitzt keine weiteren Unterzähler, deshalb ist das Ergebnis als Differenzrechnung zwischen Stromlieferung und Stromnutzung geschätzt. An vierter Stelle folgen die Lüftungsanlagen für Manatihaus und Blauer Salon mit 10,3 %. Die Stromverbräuche für die Heizung (2,0 %) reduzieren sich demgegenüber und fallen weit weniger ins Gewicht.

Das Manatihaus hat in diesem Zeitraum einen Anteil von 17,35 % am Gesamtstromverbrauch für die Wassertechnik ohne Nebenraumspange.

Im erstellten Energiekonzept bzw. den durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nahmen das BHKW und dessen Stromproduktion einen hohen Stellenwert ein.

Prognostiziert war ein Ertrag von 304.150 kWh bei jährlichen 6.083 Betriebsstunden. Tatsächlich wurden im ersten Betriebsjahr nur 239.752 kWh erzeugt, bei 4.848 Stunden.

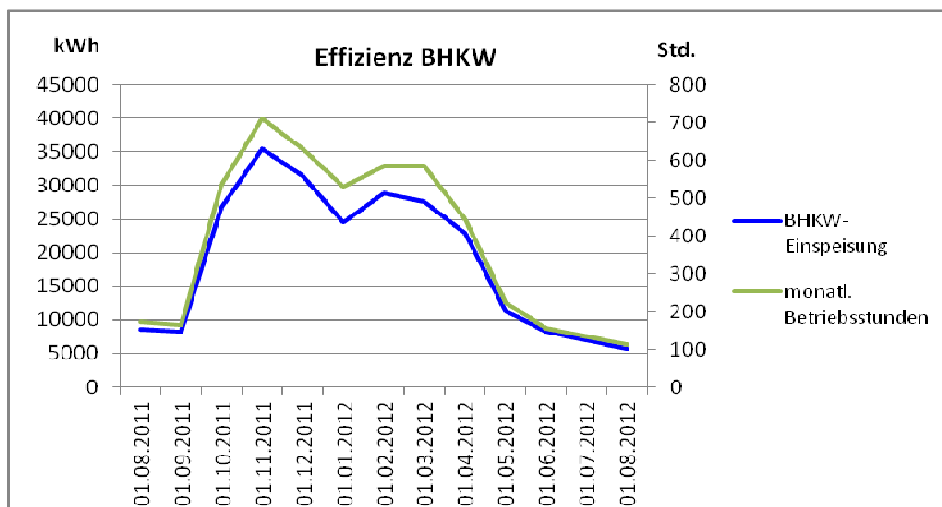


Diagramm 15: Effizienter BHKW-Betrieb

Im Verlaufsdigramm zeigt sich die Ertragsspitze im November 2011 mit 35.504 kWh. Seit-her wurden durch vermehrten Taktbetrieb nur noch (winterliche) Stromertragswerte zwischen 23 und 29 MWh erreicht.

Weitere Untersuchungen zu BHKW-Betrieb bzw. -Effizienz siehe Pkt. 3.3.4.

Die Stromproduktion des BHKW wurde in die NSHV der Lagune-Manati-Anlage eingespeist; zukünftig ist angedacht, Stromüberschüsse an den restlichen Tiergarten weiterzuleiten.

Für verschiedene Zeiträume wurden Lastgänge angefertigt, welche die bezogene Leistung verdeutlichen.



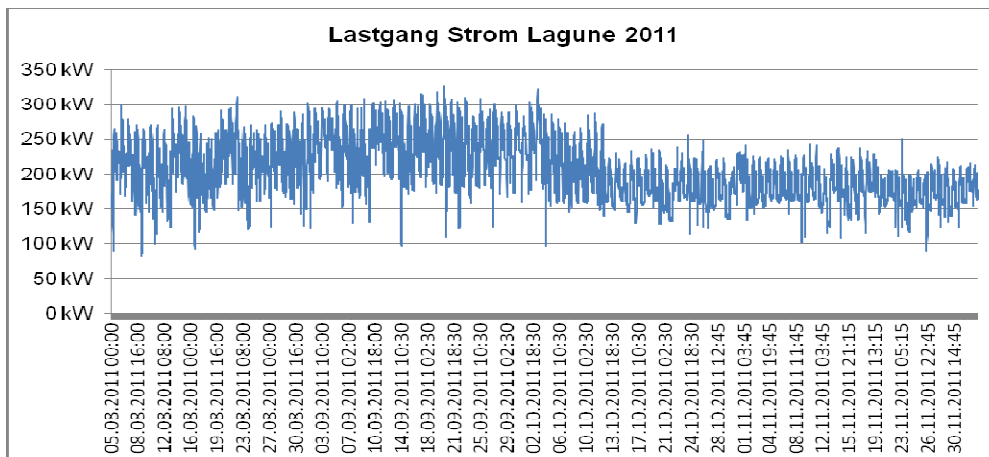


Diagramm 16: Lastgang Strom Lagune 2011

Im Zeitraum August bis November 2011 wurden nach Anfangswerten zwischen 150 und 300 kW ab Oktober 2011 die Regelungen aller technischen Gewerke angepasst. Zudem verließen die meisten Firmen die Baustelle.

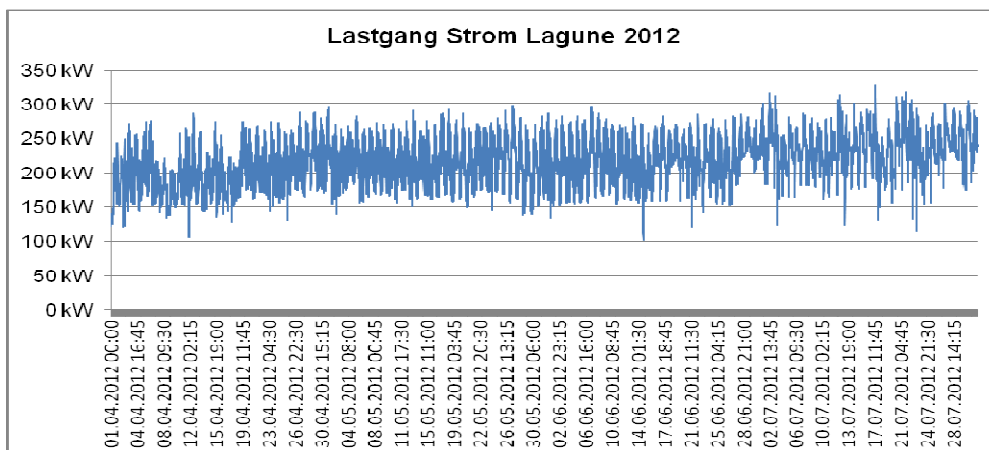


Diagramm 17: Lastgang Strom Lagune 2012

Im Zeitraum April bis Juli 2012 liegt die Bandbreite gleichmäßig zwischen 150 und 300 kW.

Nachfolgend ein Beispiel für einen Tageslastgang „normaler Betriebstag“, 04.07.2012.

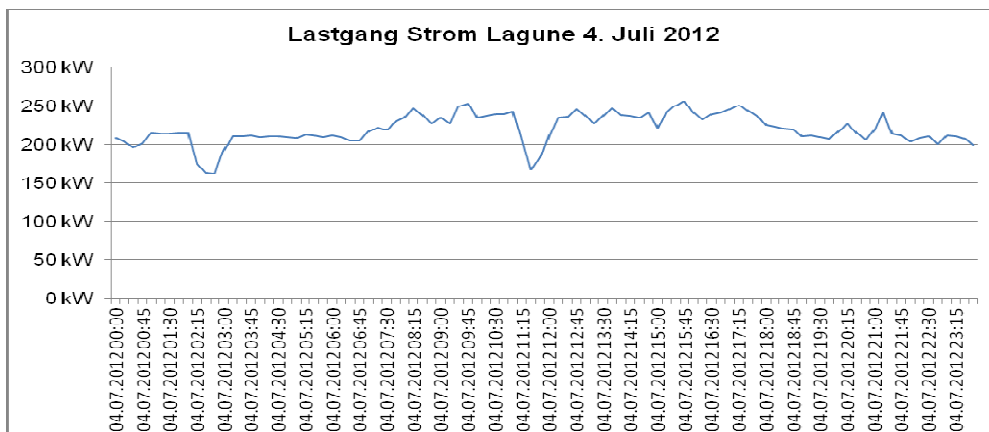
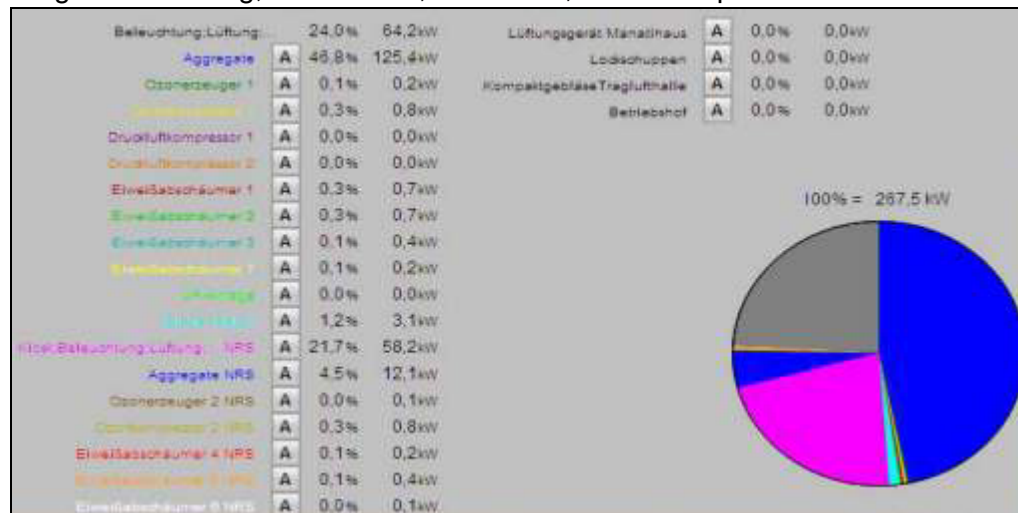


Diagramm 18: Tageslastgang Strom Lagune 04.07.2012

Es zeigt sich ein gleichmäßiger Verlauf hauptsächlich zwischen 200 und 250 kW; nachts bzw. mittags erfolgt eine kurzzeitige Senkung auf ca. 170 kW im Betrieb der Wassertechnik.

Wie sich die Einspeiseleistung prozentual verteilt, zeigen nachfolgende Diagramme aus dem Prozessleitsystem, unterschieden in Tag und Nacht.

Diagramm 19: Tag, 05.09.2012, 13.30 Uhr, Außentemperatur 25°C



Zur weiteren Verdeutlichung (Schriftfarbe gemäß Diagramm):

Beleuchtung/Steckdosen Technikgebäude und Manatihaus, Heizung gesamt, RLT Manatihaus (auch Fenster) und Blauer Salon, Soleanlage = Sonstiges

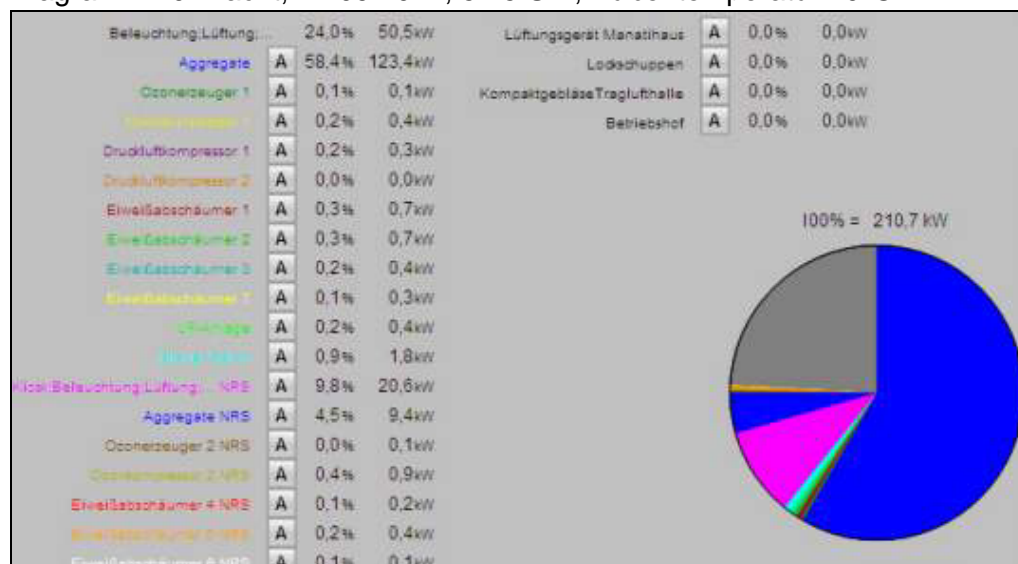
Aggregate: Wassertechnik Lagune-Manati (Pumpen, Dosierungen, Klappen u.ä.)

Kiosk Affenbergcafe, Beleuchtung Kiosk und Räume Nebenraumspange, Lüftung Kiosk und Räume Nebenraumspange, Aufzug Nebenraumspange

Aggregate NRS-Nebenraumspange: Wassertechnik (Pumpen, Dosierungen, Klappen u.ä.)

Deutlich sichtbar wird hier, dass allein die Wassertechnik Lagune-Manati einen Anteil von fast 50 % (125,4 kW) einnimmt, die TGA in Technikgebäude und Manatihaus ca. 24 % (64,2 kW) und der Kiosk- und Nebenspangenbereich auch schon ca. 22 % (58,2 kW).

Diagramm 20: Nacht, 14.09.2012, 5.15 Uhr, Außentemperatur 10°C



Hier wird ersichtlich, dass bei einer Gesamtleistung von nur 210,7 kW die Wassertechnik Lagune-Manati zwar einen größeren Anteil von 58,4 % einnimmt, aber wiederum die gleiche Leistung benötigt (123,4 kW). Die TGA in Technikgebäude und Manatihaus ebenfalls ca. 24 %, aber nur 50,5 kW beträgt; der Kiosk- und Nebenspangebereich sinkt aufgrund noch nicht begonnenen Tagbetriebs auf 9,8 % (20,6 kW).

### 3.3.1a Teilbereich Wärme gesamt

Für die Stromversorgung der gesamten wärmetechnischen Anlagen (Schaltschrank ISP01) wurden im ersten Betriebsjahr (31.07.2011-31.07.2012) 47.911 kWh (9,5 kWh/m<sup>2</sup> NGF Lagune-Manati-Anlage) verbraucht. Dies wurde hochgerechnet, da die Datenaufzeichnung erst ab 01.11.2011 erfolgte. Als Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 52.000 kWh angesetzt.

Anhand des Verhältnisses beim Wärmeverbrauch zwischen Manatihaus und Lagune-Manati-Anlage gesamt (ca. 25 %) kann der wärmeseitige Stromverbrauch für das Manatihaus abgeschätzt werden: 11.833 kWh (16,9 kWh/m<sup>2</sup> NGF Manatihaus, Zielwert 12.300 kWh).

Im Diagramm 21 zeigt sich der Stromverbrauch der Heizungstechnik inkl. Regelung.

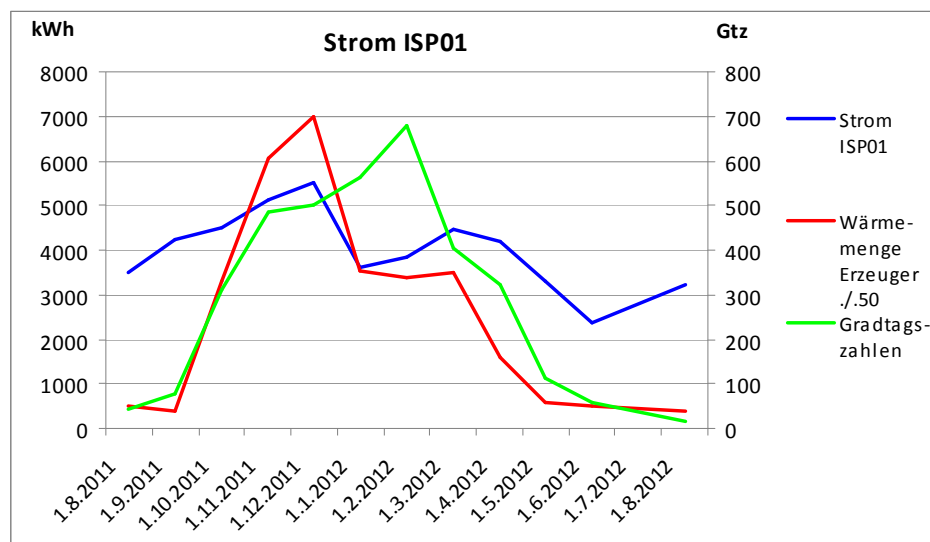


Diagramm 21: Stromverbrauch für ISP01-Heizung gesamt

Es ist erkennbar, dass der Stromverbrauch für die Heizung und die erzeugte Wärmemenge (witterungsbereinigt) einen ähnlichen bzw. parallelen Verlauf nehmen, mit einem Maximum im Dezember. Allerdings passen diese beiden Kurven nicht ganz zum Verlauf der Gradtagszahlen, mit Maximum im Februar (Kälteeinbruch), was auf die nutzungsspezifische Beckenwassererwärmung deutet.

Trotz geringem Wärmebedarfs ab Mai 2012 bewegt sich der Stromverbrauch auf einem Sockelwert von etwa 2,5 bis 3 MWh.

Der Sommerverbrauch resultiert aus dem Betrieb der Pumpen bzw. Antriebe für

- Warmwasserbereitung Affenbergcafe
- Solaranlage
- Beckenwassererwärmung Manatihaus
- BHKW (elektrische Nennleistung 37,6 kW Generator).

Hier ist noch weiterer Klärungsbedarf erforderlich.

Hinsichtlich des Strombedarfs der eingebauten Umwälzpumpen siehe Anhang.

### 3.3.1b Teilbereich Lüftung Manatihaus

Hier erfolgt die Zählung über Schaltschrank ISP02 sowie über die beiden Schaltschränke der Lüftungsgeräte Manatihaus und Blauer Salon. Im Betrachtungszeitraum 31.07.2011 bis 31.07.2012 können leider keine Angaben zum Stromverbrauch der jeweiligen Lüftungsgeräte gemacht werden, da die entsprechenden Zähler von den beauftragten Fachplanern trotz mehrmaliger Mahnungen nicht eingebaut wurden.

Da der nachträgliche Einbau (ca. 0,5 Tage) ein Abschalten der Anlagen erfordert und nur bei guter Witterung ohne Heizbedarf möglich ist, wurde der Einbau bisher mehrmals verschoben und endlich zum 08.08.2012 realisiert. Die Aufschaltung auf die GLT ist nun für Ende September 2012 geplant.

Vorhanden ist ein Unterzähler für das Lüftungsgerät Foliendach-Manatihaus, welcher ab Einbau im April 2012 einen Verbrauch von 0,2 MWh zeigt (Motorleistung 0,55 kW, Luftleistung ca. 800 m<sup>3</sup>/h).

Der Unterzähler für das Lüftungsgerät der Traglufthalle wurde ebenfalls erst im April 2012 montiert. Hier sind aufgrund der Demontage der Traglufthalle Mitte März 2012 dann keine Verbräuche mehr aufgetreten (Motorleistung 4 kW).

Für den Schaltschrank ISP02, welcher als Hauptverbraucher den motorischen Fensterbetrieb an der Nord- bzw. Süd-Fassade des Manatihauses beinhaltet, soll für das erste Betriebsjahr der Stromverbrauch dargestellt werden.

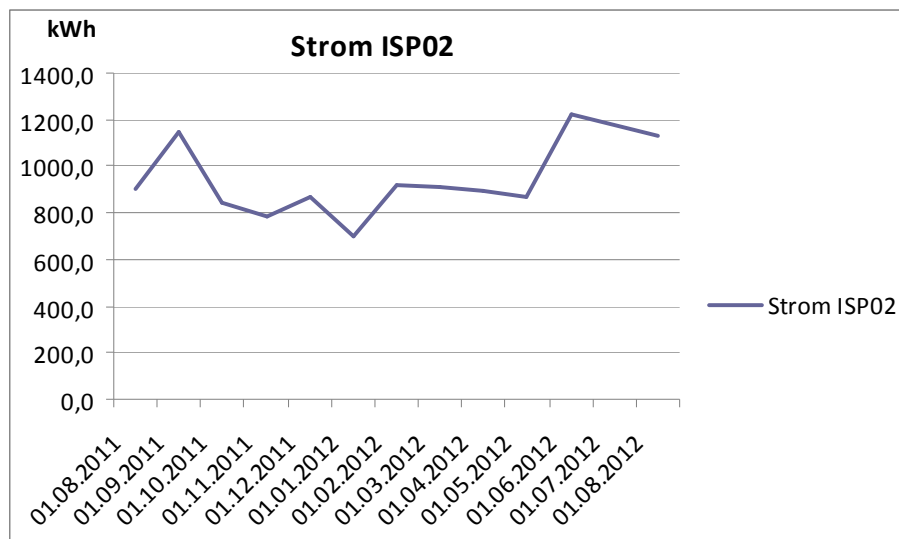


Diagramm 22: Stromverbrauch für ISP02-Fensterlüftung Manatihaus

Deutlich sichtbar wird der erhöhte Energieaufwand im Frühjahr und Sommer für den Betrieb der Fensterflügel im Manatihaus. Der Jahresstromverbrauch betrug hierfür ca. 11.179 kWh. Nach überschlägiger Berechnung anhand Schätzung der Betriebsstunden der Ventilatoren und Schätzung der Laufzeit der Wärmepumpe ergibt sich für das Lüftungsgerät Manatihaus ein jährlicher Stromverbrauch von etwa 161,2 MWh. Mit dem Fensterverbrauch insgesamt 172,4 MWh (245,9 kWh/m<sup>2</sup> NGF Manatihaus).

Als ursprünglicher Zielwert für den Stromverbrauch im Manatihaus für mechanische Lüftung und Fensterlüftung waren 147.000 kWh angesetzt.

An der Nordfassade befinden sich 32 Fenster (Öffnungswinkel >36°), an der Südfassade 26 Fenster (Öffnungswinkel >49°), über welche auf das Raumklima im Manatihaus Einfluss ge-



nommen wird. Es befinden sich an jedem Fensterflügel seitlich je zwei Motoren mit nicht steter Tandemsteuerung (GEZE E 250 mit RWA 110E).

Techn. Daten: Hub 300 mm, Öffnungszeit 30 sec., Wirkleistung 20 W, Einschaltdauer 30 %.

Die Fensterflügel können in unterschiedlichen Kombinationen je nach Außenluftbedingungen motorisch geöffnet und geschlossen werden. Dies geschieht über eine Mittelwertbildung aus den Reglern Temperatur (Kühlen) und Entfeuchten und entsprechender Einteilung in 10 Stufen, welche dann den Fenstern beliebig und rotierend zugeordnet werden.

Die Fenstersteuerung ist generell ab der einstellbaren Außentemperatur 10°C freigegeben, bis Mitte Mai 2012 waren 16°C eingestellt.

Bei einer Windgeschwindigkeit ab 10 m/sec. und bei Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel) schließen die Fenster automatisch.

Die Fenster können bei künstlicher Beregnung geschlossen werden oder je nach Klimaverhältnissen auch geöffnet bleiben. Nach Ablauf eines Beregnungsprogramms erfolgt eine einstellbare Wartezeit, bevor die Fenstersteuerung wieder freigegeben wird.

Die Lüftungsanlage wird im Normalfall bei freier Lüftung und bei Beregnung ausgeschaltet. Anders verhält es sich, wenn die Raumtemperatur im Gebäude im Sommer zu hoch wird. Bei Überschreitung des Grenzwertes ‚Überhitzungsschutz Manati 30°C‘ werden zuerst alle Fenster zwangsweise geöffnet. Anschließend wird nach einstellbarer Verzögerung der Zuluftventilator mit 100 % Außenluft eingeschaltet. Steigt die Raumtemperatur weiter bis zum Grenzwert ‚Notkühlung 35°C‘, wird die Beregnung (ohne Erwärmung) aktiviert, solange bis der obige Grenzwert 30°C wieder unterschritten ist. Diese Notkühlfunktion wurde allerdings vom Tiergarten deaktiviert.

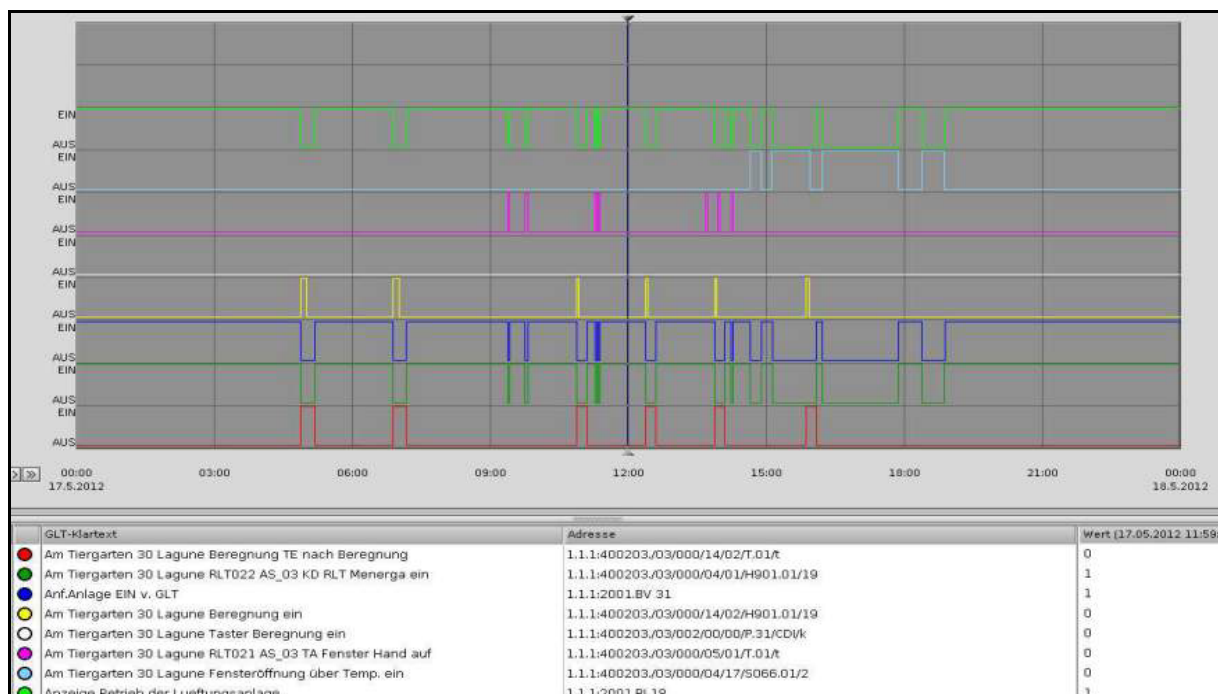


Diagramm 23: Funktion Lüftungsanlage – Fenster – Beregnung Manatihaus

Nach Aussagen der Tiergartenleitung ist diese mit der Fenstersteuerung bzw. dem resultierenden Raumklima zufrieden, so dass keine Änderungen hierfür erforderlich sind. Im Sommer und in der Übergangszeit wird die freie Lüftung auch zu einer (gezielten) Entfeuchtung des Manatihauses führen. Ursprünglich war vorgesehen, die Beregnungsanlage

zur Befeuchtung einzusetzen. Der Grund für die Deaktivierung der in der Regelungsbeschreibung aufgeführten Befeuchtung über die Beregnung lag darin, dass sich die Temperaturregelung über die Fenster und die Befeuchtung über die Beregnung gegenseitig ungünstig beeinflusst hatten und zu hohen Temperaturen im Manatihaus führten.

### 3.3.1c Teilbereich Wasseraufbereitung Manatihaus

Um die erforderliche Wasserqualität für die Tiere ganzjährig sicherstellen zu können, ist ein ständiger Betrieb der komplexen Wasseraufbereitungstechnik mit hohem Energieeinsatz nötig. Die Zählung der Verbräuche der Hauptaggregate erfolgte ab September 2011 bzw. erst ab Februar 2012 für alle Pumpen (für manche Pumpen fehlen aktuell immer noch Werte). Für das Manatihaus wurden die Stromhauptverbraucher im Vergleich zu den im Prozessleitsystem registrierten Umwälzmengen aufgetragen. Fehler traten hier in den Daten für März 2012 und Juli 2012 auf.

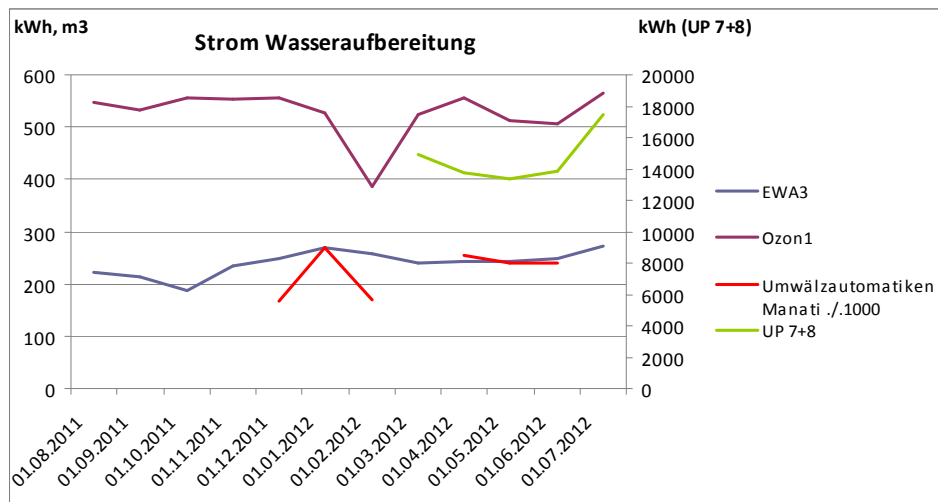


Diagramm 24: Stromverbrauch für die Wasseraufbereitung Manatihaus

Definition:

Eiweißabschäumer 3 (Motorleistung 3,8 kW)

Ozonerzeuger 1 (Motorleistung 7,8 kW)

Umwälzpumpen 7 und 8 (Motorleistung je 18,5 kW)

Dazu weitere Aggregate: Spülwasserpumpe 5 (3,0 kW), Schmutzwasserpumpe 3 (2,4 kW), Trommelsiebe (Rotationsklärer) 3 und 4 (je 0,55 kW), Druckluftkompressor 1 (8,9 kW), Spülwasserpumpen 3 und 4 (Motorleistung je 18,5 kW).

Siehe auch das Anlagenschema Wasseraufbereitung Manatihaus im Anhang.

Im Februar 2012 kam es zu temporären Problemen im Ozonsystem. Im Juli 2012 stiegen die Verbräuche an aufgrund unbeabsichtigten Kaltwasserzulaufs in das Manatibecken und anschließender Tätigkeiten zur Herstellung des Sollzustandes.

Anhand der verfügbaren Daten aus dem Prozessleitsystem konnte hierfür eine Summe für den Stromverbrauch im ersten Betriebsjahr ermittelt werden, inkl. Aufschlag für die Steuerung: 254.104 kWh (819,7 kWh/m<sup>2</sup> Wasserfläche). Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 465.000 kWh.

### 3.3.1d Teilbereich Beleuchtung Manatihaus

Für die Messung der Stromverbräuche von Beleuchtung und Steckdosen im Manatihaus wurden aufgrund nicht gegebener Verhältnismäßigkeit keine Unterzähler vom Fachplaner Elektro vorgesehen, daher ist hierfür der Anteil am Stromverbrauch nicht konkret ermittelbar. Das Manatihaus ist als eine Art Wintergarten errichtet worden. Im Normalbetrieb ist mit ausreichend Tageslichteinfall zu rechnen, so dass eine künstliche Beleuchtung nur bei seltenen Abendveranstaltungen (auch im Blauen Salon) erforderlich wird.

Die busgesteuerte Elektroinstallations- und Beleuchtungsanlage wurde wie folgt realisiert:

Der Besucherweg im Manatihaus ist in Form einer Holzstegkonstruktion ausgeführt, so dass die Besucher zum Teil über den Wasserflächen geführt werden. Dessen Beleuchtung wurde über acht pollerähnliche Leuchten realisiert (Standfuß aus Holz inkl. Doppelsteckdose, aufgesetzt eine eingekapselte Standard-Wandeinbauleuchte, Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell).

Um den Besuchern des Blauen Salons eine Unterwassereinsicht in das Manatibecken zu ermöglichen, wurden vor den Scheiben 9 überflutbare LED-Strahler installiert (Leistung je 36 W, Leuchtdioden Eff.kl. A, Schaltungsart manuell).

Zur Arbeitsbeleuchtung wurde in allen vier Ecken des Manatihauses je ein Scheinwerfer angebracht (Leistung je 1000 W, Halogenlampe Eff.kl. D, Schaltungsart manuell).

Zur Realisierung von Effektbeleuchtungen im Pflanzenbewuchs des Manatihauses dienen insgesamt 10 Erdspießleuchten mit wechselbaren, farbigen Vorsatzscheiben (Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell).

Im Schleusenbereich „Felsentunnel“ (Zugang zum Manatihaus) wurden 12 Wandeinbauleuchten in die betonierten Wände eingesetzt (Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell). An der Hinterwand des Zuganges befindet sich ein Pflanzbeet, welches mittels 44 Decken- und Wandstrahlern beleuchtet wird (Leistung je 70 W, Halogenlampe Eff.kl. D, Schaltungsart manuell).

Für die Beleuchtungsstärke gab es außer für die Wegebeleuchtung ( $\geq 2$  lx in der Wegeachse) keine Anforderungen.

Entlang der Randstreifen an der Nord- und Südfassade wurden je drei Elektranten mit Steckdosen aufgebaut; an der Nordwand durch die Wandbegrünung verdeckt. Auf der Insel des Manatihauses befindet sich ein weiterer Elektrant. Im Außenbereich an der Südfassade in direkter Nähe zum Zugangstor wurde ebenfalls ein Elektrant (Freiluftverteiler) angebracht. Die Nutzung der Elektranten/Steckdosen (Kraftstrom) erfolgt bedarfsabhängig je nach Erfordernis des Tiergartenpersonals.

Überschlägig wird der Stromverbrauch Beleuchtung Manatihaus im ersten Jahr errechnet.

Tabelle 4:

Beleuchtungsart		Anzahl	Leucht- mittel (W)	Betriebs- dauer (h)	Nutzungs- tage	Stromver- brauch (kWh)
Wegebeleuchtung	Poller	8	18	8	182	210
Felsengang	Eingang	12	18	8	182	314
	Pflanzlicht	44	70	8	182	4.484
Arbeitsscheinwerfer		4	1000	2	210	1.680
Scheibenbeleuchtung	Unterwasser	9	36	8	210	544
Effektbeleuchtung	effektabhängig geschätzt	10	18	8	182	262
<b>Gesamt</b>						<b>7.495</b>

Unter Berücksichtigung der Öffnungszeiten im Manatihaus (8-19.30 Uhr April bis September, 9-17 Uhr Oktober bis März) ergibt sich ein geschätzter Stromverbrauch von etwa 7,5 MWh pro Jahr ( $10,7 \text{ kWh/m}^2$  NGF Manatihaus), welcher von der Beleuchtung des Felsenganges dominiert wird. Dazu kommt ein nicht bezifferbarer Anteil für die Nutzung der Steckdosen. Die Beleuchtung ist insgesamt abhängig von Tageslichtverhältnissen, Nutzungsintensität und Nutzerverhalten.

### 3.3.2 Wärmeenergie

Für das erste Betriebsjahr vom 31.07.2011 bis 31.07.2012 betrug der Gasverbrauch (Zähler N-ERGIE AG) witterungsbereinigt für die Gesamtanlage Lagune/Manatihaus 1.736,8 MWh.

- Bei Bezug auf NGF  $344,7 \text{ kWh/m}^2$
- Bei Bezug auf Wasserfläche  $918,9 \text{ kWh/m}^2$

Den Wärmeverbrauchsverlauf ab Nutzungsbeginn zeigt nachfolgendes Diagramm.

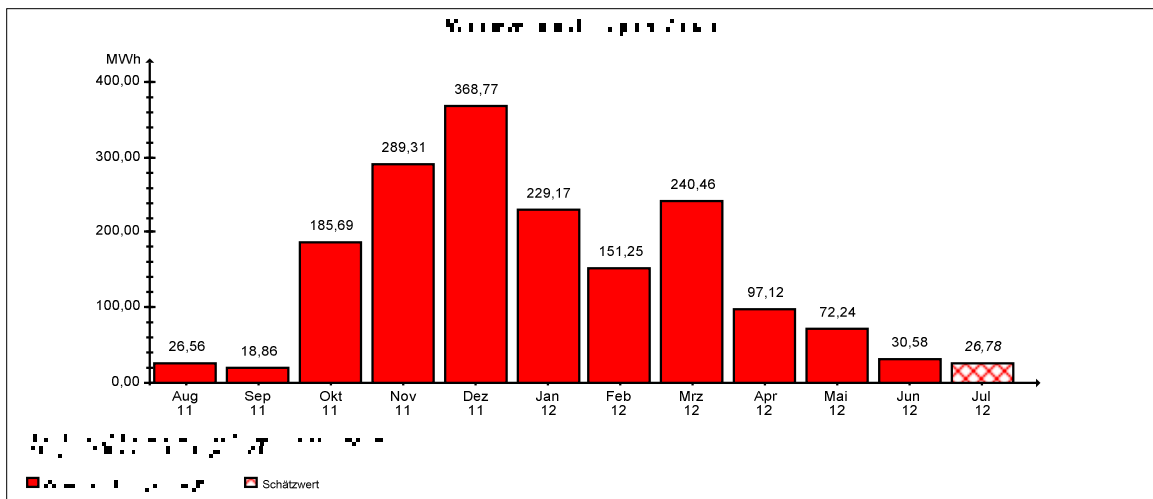


Diagramm 25: Wärmeverbrauchsverlauf ab Nutzungsbeginn Lagune-Manati-Anlage

Die daraus entstandenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen betragen witterungsbereinigt  $441,32 \text{ to}$ . Bezogen wurde eine Gasmenge von  $147.410 \text{ m}^3$ , nicht witterungsbereinigt. Der Umrechnungsfaktor für Erdgas betrug  $10,41$  bis 01.01.2012 (N-ERGIE AG).

Die Verbräuche für Wärme liegen für das erste Betriebsjahr mit  $1.736,8 \text{ MWh}$  deutlich über den geplanten Werten von  $1.416,5 \text{ MWh}$ ; dies bedingt weitere Maßnahmen, vor allem hinsichtlich Mängelbeseitigung, aber auch der Betriebsoptimierung.

In den Sommermonaten Juni bis September wird noch ein Sockelverbrauch von bis zu  $30,6 \text{ MWh}$  für die Beckenwassererwärmung und Raumlufttechnik, hier v.a. Manatihaus, sowie die Nebenraumspange inkl. Kiosk benötigt. Im März schlägt der Beheizungsbeginn der Becken 2 und 3 zu Buche sowie die weitere Beheizung von Becken 1 und 6 (Traglufthalle). Seit Beendigung der Winterpause der Delfine am 14.03.2012 schwimmen diese wieder in der freien Lagune.

#### 3.3.2a Wärmeerzeugung Gaskessel-BHKW-Solar

Da es sich hier um eine Kombination aus verschiedenen Wärmeerzeugern handelt, ist es interessant darzustellen, welcher Wärmeerzeuger welchen Anteil beiträgt. Dies konnte anhand der seit Ende Juli 2011 aufgeschalteten Wärmemengenzähler nachvollzogen werden.



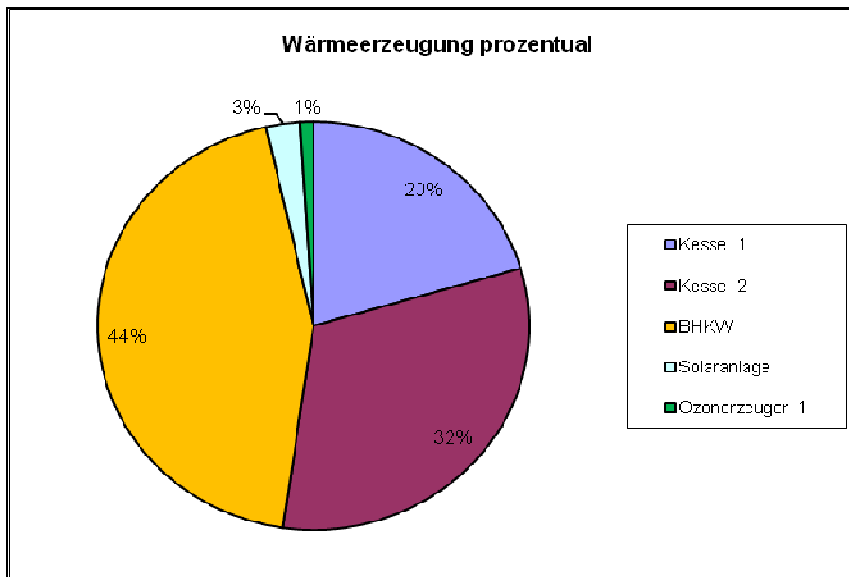


Diagramm 26: Prozentuale Aufteilung der Wärmeerzeugung im 1. Betriebsjahr

Die Hauptwärmeerzeugung erfolgte im ersten Betriebsjahr über das erdgasversorgte Blockheizkraftwerk. Am Wärmemengenzähler wurden hierfür 593,7 MWh angezeigt. Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 710 MWh.

Die weitere Beheizung des Gebäudes wurde über die beiden Gaskessel realisiert. Kessel 2 nimmt mit 427,2 MWh die zweite Position ein, deutlich vor Kessel 1 mit 274,8 MWh. Die unterschiedlichen Beiträge der beiden Kessel zur Wärmeerzeugung zeigen sich auch nachfolgend im Diagramm 27. Anhand der Trendaufzeichnungen wurde dies im Winter 2011/2012 festgestellt und bemängelt, woraufhin die Regelungseinstellungen geändert wurden.

Die Solaranlage trägt mit 34,2 MWh bisher nur sehr wenig zur Wärmebereitstellung bei.

Als letztes soll noch der Ozonerzeuger 1 mit etwa 13,2 MWh aufgeführt werden.

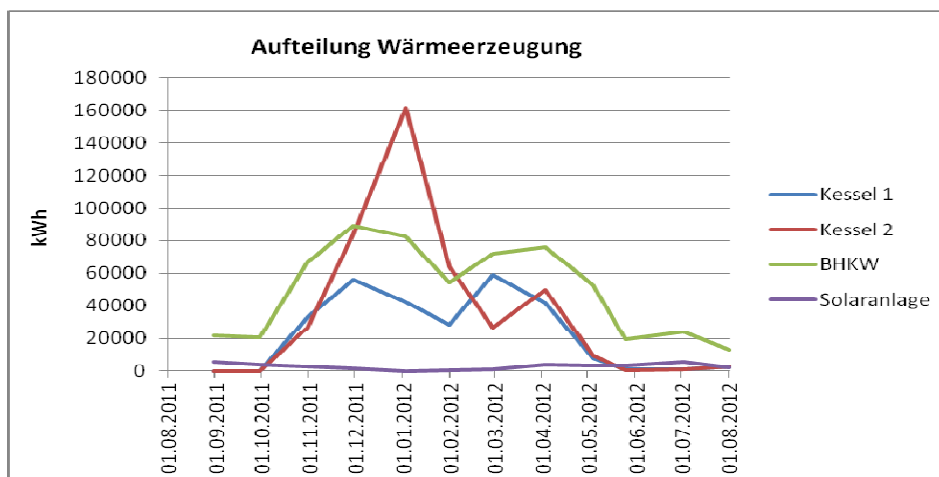


Diagramm 27: Aufteilung der Wärmeverbräuche, witterungsbereinigt

Bei Kessel 2 zeigt sich eine ausgeprägte Spitze im Monat Dezember 2011. Offensichtlich konnte der geplante turnusmäßige Wechsel in der Kesselführung regelungstechnisch nicht umgesetzt werden, da das Betreiberpersonal des Tiergartens eine Handschaltung der Kesselfolge eingestellt hatte.

Als ausgeprägter Wärmeverbraucher kommt für den Monat Dezember 2011 die Beckenbeheizung für die Becken 2 und 3 in Betracht; laut Wärmemengenzähler ergab sich hier ein

Anstieg von allein 104,7 MWh. Die Nutzung der Lagune erfolgte bis Ende Januar 2012, die Wassertemperaturen lagen zur Eingewöhnung anfangs bei 19°C, später bei 16-17°C und damit noch nicht bei den geplanten 12 bis 14°C.

Das BHKW erreichte ein Ertragsmaximum im November 2011.

Nicht aufgetragen wurde der Ozonerzeuger 1 (Manatihaus) mit einer durchschnittlichen Wärmeleistung von 1,1 MWh pro Monat und der Ozonerzeuger 2 (Lagune), welcher erst im Februar 2012 angeschlossen wurde.

Der Wärmeenergieverbrauch im ersten Betriebsjahr in der Lagune-Manati-Anlage kann anhand der verfügbaren Wärmemengenzählerdaten zugeordnet werden. Es zeigt sich deutlich, dass hier maßgeblich der Anteil für die Lüftung des Manatihauses dominiert, welcher sich mit 34,4 % (283,2 MWh) darstellt. Der Verbrauch für die o.g. Beckenwasserwärmung 2 und 3 nimmt mit 29,6 % (243,9 MWh) ebenfalls einen sehr großen Anteil ein. Die Nutzung durch die Delfingruppe erfolgte aufgrund Beheizung und Witterung bis Ende Januar 2012.

Dagegen wird für die Manati-Beckenwasserwärmung nur 10,8 % benötigt (88,7 MWh).

Zu erwähnen ist hier, dass für die Beckenwasserwärmung 1 und 6 aufgrund fehlender oder falscher Zählerdaten offensichtlich keine Heizenergie erforderlich wurde. Die Becken wurden aber im Winter ab Februar 2012 für die Tierhaltung genutzt und auch beheizt, die Traglufthalle wurde am 01.02.2012 aufgestellt; Wassertemperaturen ca. 15-17°C.

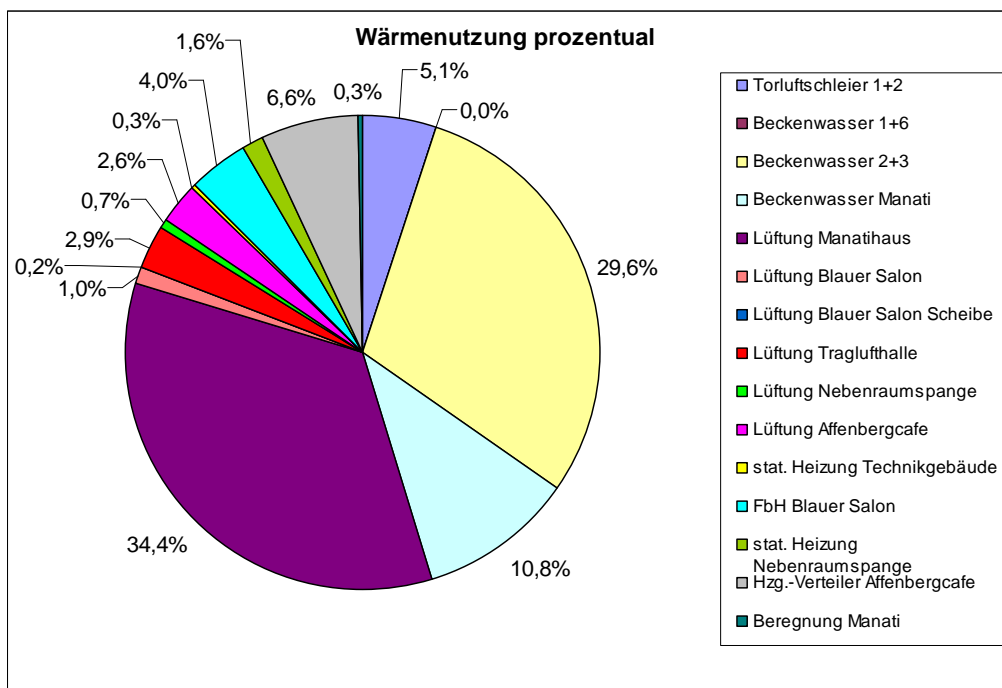


Diagramm 28: Wärmenutzung prozentual Lagune-Manati-Anlage

### 3.3.2b Erwärmung Lüftung Manatihaus

Das Manatigebäude wird über die raumluftechnische Anlage beheizt. Die Lüftungsanlage regelt mit einer Zuluft-/Abluftkaskade die Zuluft innerhalb der Begrenzungssollwerte (Raumtemperatur, Raumfeuchte).

Zusätzlich kommen 2 Torluftschieleanlagen an Ein- und Ausgang zum Einsatz (2x 15 kW).

Über einen Türkontakt wird der Torluftschiele nach Nutzzeitprogramm Manatihaus freigegeben und regelt mit 3 Lüfterstufen auf eine Einblastemperatur von 35°C. Unter 17°C Außentemperatur wird Frostsicherheit hergestellt.

Im Oktober 2011 machte sich ein deutlicher Anstieg des Wärmeenergiebedarfs bemerkbar, so dass zusätzlich die beiden Torluftschiefer manuell stufig zugeschaltet wurden (teilweise zu geringe Raumtemperaturen nachts). Im November 2011 und im Februar 2012 wurden witterungsbedingt die höchsten Verbräuche erzielt.

Die Sollwerte für die Temperatur lagen bei 27-27,5°C, für die rel. Feuchte bei 65-80 %.

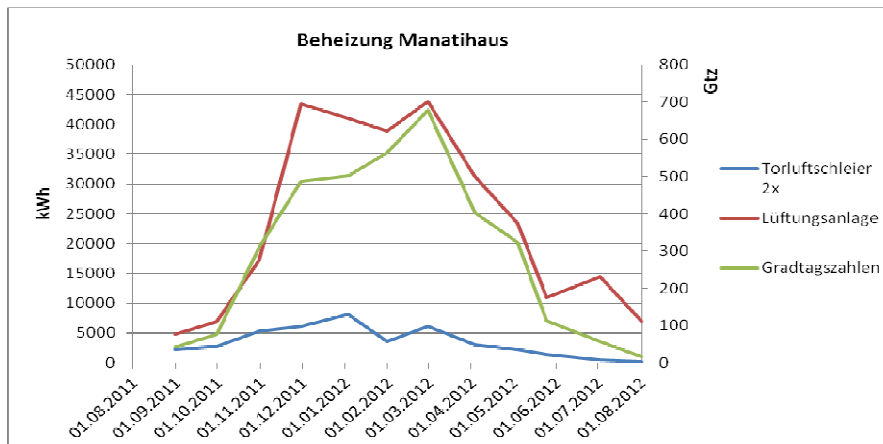


Diagramm 29: Verlauf Lüfterwärmung Manatihaus

Im ersten Betriebsjahr wurde für die Beheizung des Manatihauses über die Lüftung und die Torluftschiefer insgesamt rund 325,0 MWh Wärme verbraucht (463,6 kWh/m<sup>2</sup> NGF Manatihaus). Allein die permanent zugeschalteten Torluftschiefer trugen mit 41,8 MWh dazu bei, d.h. mit 12,9 %. Ohne diese und die erhöhte Zulufttemperatur von anfänglich 44°C auf 50°C sowie die Hebung der Heizungsvorlauftemperatur auf 70°C (ohne bedarfsabhängiger MIN-MAX-Gleitung zwischen 60 und 70°C) wäre die nötige Beheizung des Manatihauses schwierig geworden. Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 110 MWh. Hier ist weiterer Klärungsbedarf Bau/Technik erforderlich.

### 3.3.2c Erwärmung Beckenwasser Manatihaus

Über einen Temperaturfühler im Leitungsrücklauf vom Manati Becken wird die Beckenwassertemperatur geregelt. Bei Erreichen einer Temperatur von < 25°C wird das PWW-Nachheizsystem aktiviert, bei Erreichen des Sollwertes von 26°C wieder abgeschaltet.

Die Abwärme des Ozonerzeugers 1 mit ca. 17,4 KW wird über einen Plattenwärmetauscher ganzjährig ins Beckenwasser eingeleitet, automatisch bei Anforderung der Ozonanlage von der Wasseraufbereitung.

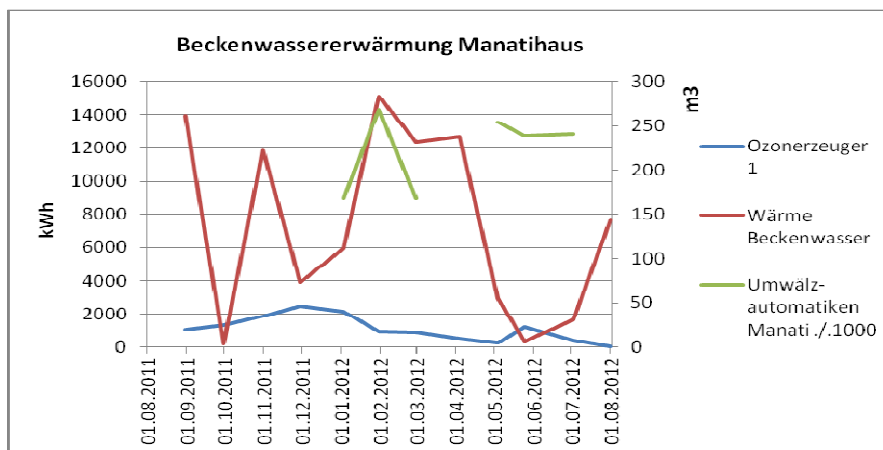


Diagramm 30: Verlauf Beckenwassererwärmung Manatihaus

Das obige Diagramm 30 zeigt den Verlauf der Beckenwassererwärmung im ersten Betriebsjahr im Manatihaus, aufgetragen im Vergleich zu den im Prozessleitsystem registrierten bzw. vorhandenen Umwälzmengen.

Am 17.07.2011 kam es zu einer unkontrollierten Temperaturabsenkung des Manatiwassers auf nahezu 21°C, wobei eine Wassertemperatur von 20°C absolut lebensbedrohlich für die Manatis ist. Der Betriebsmonat August 2011 zeigte daraufhin einen entsprechenden Einregel- bzw. Nachheizaufwand.

Der Aufheizbedarf im Oktober 2011 ist aktuell nicht erklärbar.

Vom Januar bis April 2012 zeigte sich die normale Winterbeheizung.

Am 17.07.2012 wurde durch das defekte Ventil der Brunnenwassernotkühlung RLT Blauer Salon Unmengen von kaltem Brunnenwasser in den Rohwasserbehälter Manatikreislauf eingespeist und die Beckentemperatur auf 23°C abgekühlt.

Die Leistung des Ozonerzeugers erreichte im November 2011 das Maximum.

Für die Beckenwassererwärmung wurden 101,9 MWh Wärmeenergie (328,7 kWh/m<sup>2</sup> Wasserfläche Manatibecken) aufgewendet, natürlich inkl. erwähnter Pannen, Ozonerzeuger allein etwa 13,2 MWh. Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 200 MWh (bei geschätzten 20 m<sup>3</sup> Nachspeisung/Tag).

Da ein Zähler für die Brunnenwasser-Nachspeisung einzeln für das Manatibecken nicht vorhanden ist, sondern nur eine Gesamtzählung vor den beiden Spülwasserbehältern Lagune, und eine Verhältnisberechnung Lagune/Manati aktuell von der Wassertechnikfirma programmiert wird, kann nur eine überschlägige Ermittlung der Nachspeisemenge erfolgen.

Gemäß Aussage Tiergartenpersonal wird alle 2-3 Tage eine Filterspülung (Inhalt 62,8 m<sup>3</sup>) durchgeführt und frisches Brunnenwasser (10-12°C) in das Becken eingeleitet. Mit Austrittstemperatur von 25°C ergibt sich eine Mischwassertemperatur von ca. 23,8°C; aufgeheizt auf Solltemperatur 26°C werden pro Vorgang 1.725 kWh benötigt, pro Monat dann etwa 753,6 m<sup>3</sup> bzw. 20.700 kWh.

Hier sind deutliche Abweichungen zwischen Prognose und tatsächlichem Betrieb vorhanden.

### **3.3.2d Erwärmung Beregnungswasser Manatihaus**

Das Manatihaus ist in 7 Zonen aufgeteilt, um einen Sprühnebel mit aufbereitetem Wasser verteilen zu können. Es gibt insgesamt 77 Düsen mit je 4 Sprühköpfen und max. je 7,5 l/h, Liter/Stunde; gesamt 2,31 m<sup>3</sup>/h. Dazu kommen 5 Zapfstellen im Haus mit aufbereitetem Manatiwasser zum Gießen mit Schlauch und 2 Zapfstellen im Haus zum Gießen mit Osmosewasser. Installiert wurde ein Speicher mit 3 m<sup>3</sup> Inhalt.

Bei Beregnung oder Wasserentnahme durch den Schlauch im Manatihaus wird ein in der Rohrleitung des Osmosewassers befindlicher Strömungswächter betätigt. Dieser Strömungswächter schaltet die Umwälzpumpe Vorregelung ein, damit Wärme zum Plattenwärmetauscher Beregnung gefördert wird und das Osmosewasser erwärmt. Konstante Wassertemperaturregelung auf 25°C.

Die Beregnung erfolgt mit 1. Priorität über einen Wochenzeitplan und kann auch über ein Tastertableau manuell gesteuert werden.

Aktuell: um 6.00 und 18.45 Uhr je 20 min., von 12.00 bis 17.00 Uhr stündlich je 3 min..

Ab Nutzungsbeginn wurde festgestellt, dass das Manatiwasser durch die gemeinsame Nutzung des Rückspülwasserbehälters für Süß- und Salzwassersystem minimal salzhaltig (0,1 %) ist, und daher nicht als Gießwasser verwendet werden konnte. Somit wurde ausschließlich mit Osmosewasser gegossen, wobei der Speicher teilweise nicht ausreichte.



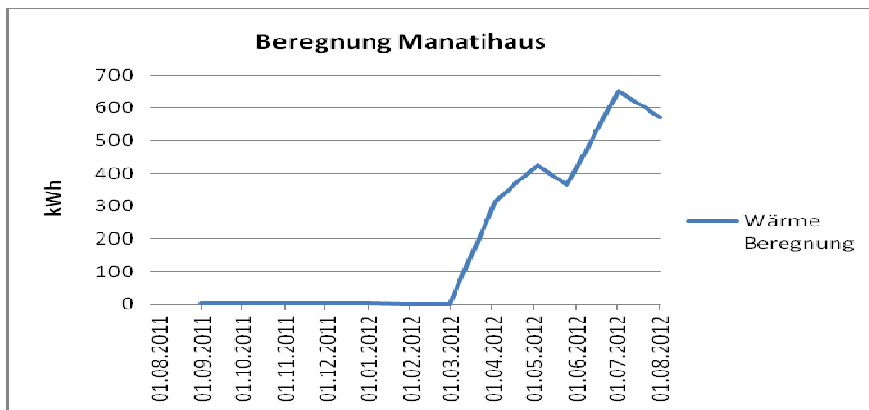


Diagramm 31: Verlauf Beregnungswassererwärmung Manatihaus

Große Probleme bereitete die Temperatur des Beregnungswassers. Da die Erwärmung des Wassers erst bei geschaltetem Strömungswächter beginnt, wird zunächst das in der Rohrleitung zu den Düsen befindliche „kalte“ Wasser verbraucht. Dieses Wasser ist nach Aussagen der Nutzer zu kühl, 18-20°C statt der gewünschten 25°C, und daher für die Pflanzen eher ungeeignet. Hier wurden verschiedene Vorschläge unterbreitet, z.B. Osmosewasser puffern, Zirkulationsleitung oder Rohrbegleitheizung, aber nicht umgesetzt.

Ab März 2012 wurde verstärkt testweise die Beregnung inkl. Erwärmung angewandt. Im Juni 2012 wurde dann entschieden, mit eingespeisten 15 m<sup>3</sup> Brunnenwasser täglich den Chloridgehalt im Beckenwasser zu senken und den Salzgehalt regelmäßig zu messen. Dies wurde seither durchgeführt und das Gießwasser teilweise auf Reinwasser Manati umgestellt. Ein Wasserzähler für die Beregnung bzw. das Gießen mit Osmosewasser wurde vom Fachplaner vergessen und wird nun nachgerüstet. Pro Tagesverbrauch wird eine Wassermenge von 2,2 m<sup>3</sup> allein für die Beregnung abgeschätzt. Über die Zapfstellen ist der nutzungsabhängige Verbrauch nicht abschätzbar.

Im ersten Betriebsjahr wurden für die Erwärmung des Beregnungswassers 2.341 kWh verbraucht. Zielwert aus der Energiebedarfsberechnung Lagune-Manati-Anlage waren ursprünglich 22.500 kWh (bei 3 m<sup>3</sup> Beregnung/Tag).

### 3.3.3 Solare Wärmeenergie

Um das kostenlose solare Energieangebot des Sommers nutzen zu können, wurde als ein Herzstück des Gebäudeheizsystems die thermische Solaranlage installiert. Die Heizwärmebedarfsdeckung sollte weitgehend solar bzw. mittels BHKW erfolgen, so dass die beiden Gaskessel im Sommer und teilweise auch in den Übergangszeiten wenig zuheizen müssten.

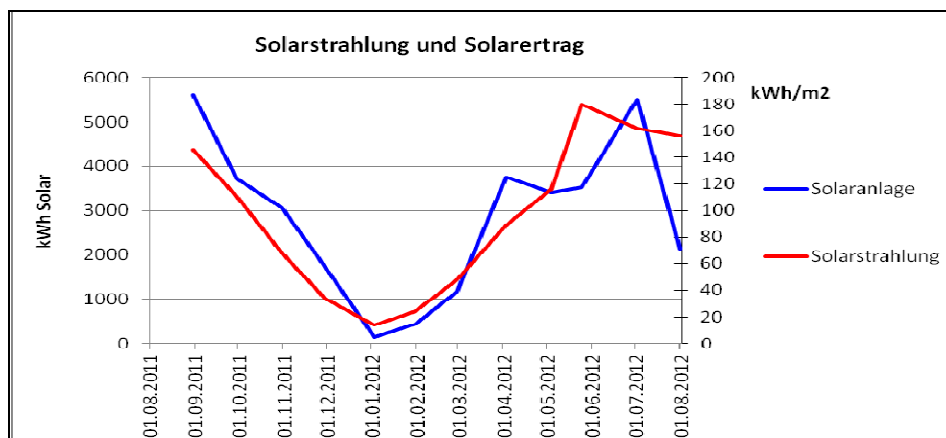


Diagramm 32: Verlauf Solarertrag

Den Verlauf des solaren Wärmeertrages zeigt das obige Diagramm 32. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Wärmeertrag der Solaranlage proportional zur verfügbaren Solarstrahlung verläuft. Die Solaranlage lieferte im ersten Betriebsjahr 34,2 MWh Wärmeenergie an das Heizsystem der Lagune-Manati-Anlage.

Das nächste Diagramm zeigt die Schwierigkeiten mit der Effizienz der Solaranlage im Vergleich zum tatsächlichen Heizbedarf der Beckenerwärmung.

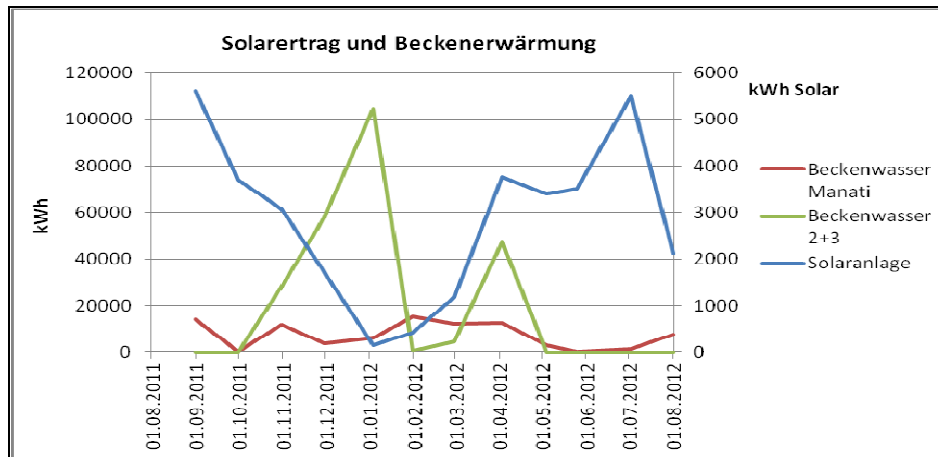


Diagramm 33: Verlauf Solarertrag und Bedarf Beckenerwärmung

Im Sommer, bei hohen Solarerträgen, besteht von Seite der Wasserbecken kein bzw. wenig Heizbedarf. Der wenige Heizbedarf wird von der Solaranlage gedeckt, z.B. April bis Juni 2012. Die überschüssige Solarwärme wird im Solarpuffer, im BHKW-Puffer (s.u.) bzw. bedarfsabhängig in das Heiznetz eingespeist.

Im Winter ist der verfügbare Solarertrag gering im Vergleich zu den Bedarfen der Beckenerwärmung. Dieser wird fast vollständig über die Gaskessel bzw. das BHKW gedeckt (ab Oktober 2011 bis März 2012).

Der Deckungsgrad der Solaranlage am Bedarf der Beckenerwärmung (Manati, Lagune 2+3, ohne Lagune 1+6) beträgt ca. 10,3 % für das erste Betriebsjahr.

Der erzielte Solarertrag mit 34,2 MWh/a liegt im unteren Bereich zwischen 36 MWh/a (bei 300 kWh/m<sup>2</sup> durchschnittlichem Jahresertrag) und 48 MWh/a (bei 400 kWh/m<sup>2</sup>), d.h. es gibt noch deutlichen Verbesserungsbedarf hinsichtlich Regelung und Hydraulik.

Weitere Untersuchungen zur Solaranlage siehe Pkt. 3.3.4.

Um die reichlich vorhandene sommerliche Solarenergie nicht nur in den Wasserbecken einzusetzen, sondern möglichst auch für den evtl. Wärmebedarf im Heizsystem, z.B. für die Warmwasserbereitung im Affenbergcafe, wurde nachträglich eine Umschichtung der überschüssigen Solarenergie (Solarpuffer durchgeladen) in den BHKW-Puffer installiert.

Der installierte Wärmemengenzähler zur Zählung der Entlademengen des Solarpuffers zeigt allerdings exakt die gleichen Werte an wie der Zähler der Solarstation im Sekundärkreis. Bei einer Prüfung vor Ort ergab sich, dass der betreffende Zähler elektrisch noch gar nicht verkabelt war. Dies soll nun zeitnah umgesetzt werden.

Für den hydraulischen Abgleich der beiden Teilflächen der Solaranlage wurden leider keine Tacosetter installiert; dies soll ggf. nachgerüstet werden.



Bild 30-31: Ansichten Lagunenbecken

Bild 32: Ansicht Affenbergcafe

### 3.3.4 Bisherige Überlegungen bzw. Optimierungen

#### a. Temperaturen und Betriebszeiten

Im Laufe des ersten Betriebsjahres hat sich zwischen KEM und dem technischen Tiergartenpersonal eine enge Zusammenarbeit entwickelt, Begehungen und Informationsaustausche finden statt, um den störungsfreien und effizienten Betrieb der Anlagen im Sinne der Nutzerzufriedenheit zu gewährleisten. Mögliche Änderungen an den Einstellungen der Regelung (Zeit, Sollwerte, seit Oktober 2011) werden abgestimmt und entsprechende Probephasen durchgeführt; die vorgenommenen Änderungen werden dokumentiert.

Schwerpunkt der Arbeiten ist neben dem Klima im Manatihaus natürlich die Funktion des Heizsystems. Die Kontrolle der Wasseraufbereitungstechnik obliegt hierbei komplett dem Tiergartenpersonal.

#### b. Effizienzkriterien Kessel/BHKW

Die vereinbarten Effizienzkriterien wurden im ersten Betriebsjahr einer eingehenden Überprüfung unterzogen. Dies erfolgte aufgeteilt auf die Winter- und die Sommerperiode.

Für die Steuerung der Gesamt-Vorlauftemperatur des Heizsystems gibt es zwei Bereiche:  
Winter: Sollwert zwischen 60 und 70°C

Sommer: Sollwert zwischen 50 und 60°C

#### **Winter 2011/2012**

Nach Teillastbetrieb im Herbst 2011 lief das BHKW im November und Dezember 2011 auf Dauerbetrieb bzw. Vollast (bis 22.12.2011); danach nur noch auf Ein-Aus-Betrieb. Teilweise liefen ein bis zwei Gaskessel unabhängig von Mindestlaufzeit bzw. Pufferladung. Im Normalfall sollte der Kessel ohne Wärmeanforderung nach Ablauf der Mindestlaufzeit ausschalten. Dies wurde durch Eingriff in die Regelungstechnik am 17.01.2012 vorerst beseitigt. Ursache war hier, dass das Kriterium für das Abschalten des Führungskessels (Pufferspeicher durchgeladen bis zum zweiten Fühler von unten) öfters nicht erfüllt wurde. Dies wurde so geändert, dass der Führungskessel abgeschaltet wird, wenn an diesem Fühler der Sollwert Kesselanlage bis auf 5 K erreicht wurde. Das BHKW wird erst dann abgeschaltet, wenn am obersten Pufferfühler ein Wert von 2 K über dem Sollwert erreicht wurde.

Ab dieser Regelungskorrektur konnte wieder ein Vollastbetrieb erreicht werden; gelegentlich gab es kurze Betriebsunterbrechungen (z.B. am 09. und 14.02.2012: beide Kessel starten auf max. Leistung, VL-Temperatur des Kessels bzw. des Verteilers erreicht 80-85°C, das BHKW (Sollwert VL-Temperatur 74°C plus 4 K Überhöhung, max. zulässige VL-Temperatur 80°C, max. zulässige RL-Temperatur 70°C) geht plötzlich aus. Dies und der neuerliche Taktbetrieb des BHKWs ab 16.2.2012 (Übergangszeit) veranlasste die Beteiligten, das bisherige Regelkonzept in Frage zu stellen.



Diagramm 34: Taktung BHKW seit 16.02.2012

Die bisherige BHKW- und Kesselfolgesteuerung wurde über Volumenstrommessungen der Wärmemengenzähler realisiert, welche über M-Bus ausgelesen werden. Der minimale Auslesezyklus beträgt 2 min.; zu lange, um die Wassermengen der Erzeugerkreise der benötigten Wassermengen des Netzes nachzuführen („schwingen“ des Modulationssignals der Kessel). Zudem kommt noch, dass die minimale Brennwertkesselleistung beim Hochfahren ca. 130 kW beträgt, d.h. es kommen schlagartig ca. 4,5 m<sup>3</sup>/h Erzeugerwassermenge hinzu oder fallen beim Abschalten des Kessels weg. Aufgrund des langen Auslesezyklus konnten daher unkontrollierte Betriebszustände auftreten.

Ab dem 08.03.2012 wurde die Wärmeerzeugersteuerung dahingehend geändert, dass die Steuerung des BHKWs und der Gasbrennwertkessel zukünftig über die vier Temperatursensoren im Pufferspeicher erfolgen soll.

Folgende Funktionen werden seitdem ausgeführt:

Ausgehend von einem entladenen Pufferspeicher wird das BHKW freigegeben, wenn der obere Fühler im Speicher PST04 eine Regelabweichung von -5 K zum geforderten Sollwert erreicht. Das BHKW lädt den Pufferspeicher solange, bis am unteren Fühler PST01 der geforderte Sollwert erreicht wird.

Der Führungskessel wird freigegeben, wenn die Regelabweichung an der VL-Temperatur am Verteiler -3 K unterschreitet und zugleich am oberen Pufferfühler PST04 eine Abweichung vom Sollwert von -6 K erreicht wird. Die Abschaltung erfolgt bei Annäherung der Fühler-Temperatur PST03 bis auf -4 K an den geforderten VL-Temperatursollwert.

Grund hierfür war, dass sich zwar beim Ladevorgang eine grundsätzliche Ladung des Puffers von oben nach unten gezeigt hat, aber sich auch am RL-Temperaturfühler des Puffers ein Temperaturanstieg und ein Vermischen des wärmeren Rücklaufs in den Rücklauf der Kessel und auch in den Rücklauf des BHKW ergeben hat. Aus diesem Grunde sollte auch bei der Steuerung der Umwälzpumpen ein Laden des Puffers mit hohem Wassermengenüberschuss vermieden werden.

Der Folgekessel wird freigegeben, wenn das BHKW und der Führungskessel in Betrieb sind und die Temperatur am oberen Fühler PST04 den geforderten Sollwert um -7 K unterschreitet.



tet. Wird am Fühler PST04 eine Temperatur von weniger als -4 K zum Sollwert erreicht, wird der Folgekessel wieder abgeschaltet.

Eine weitere Anforderung gemäß Effizienzkriterien zielte ab auf eine geringe Netz- bzw. Kesselrücklauftemperatur gleich bzw. unter 45°C.

Festgestellt wurde anhand der Trendaufzeichnungen, dass die Rückläufe im Winterfall bei Betrieb der jeweiligen Wärmeerzeuger mehrheitlich zwischen 45 und 50°C pendelten, teilweise aber auch bis 55°C; in der Übergangszeit zum Frühjahr 2012 teilweise sogar bis 75°C. Hier stellte sich heraus, dass die Heizanlage vom Tiergartenpersonal bis ca. Mitte Februar 2012 im ‚Handbetrieb Winter‘ mit einer Soll-Vorlauftemperatur von 70°C am Verteiler betrieben wurde, entgegen den festgelegten Regelparametern in der Funktionsbeschreibung.

### Sommer 2012

Nachdem Anfang März 2012 die neue Wärmeerzeugersteuerung programmiert wurde, um die festgelegten Effizienzkriterien einzuhalten, stellten sich mit Beginn des Frühjahrs 2012 wiederum Probleme im BHKW-Betrieb ein (12./23.03.2012). Mit steigenden Außentemperaturen und sinkendem Wärmebedarf ging das BHKW trotz geladenem Pufferspeicher vermehrt in den Taktbetrieb über.

Nach Einrichtung einer Fernwartung durch den Hersteller und Durchführung eines geordneten Ladevorgangs (nur BHKW auf Puffer – Ventile am Verteiler geschlossen) stellte sich heraus, dass sich in der Rücklaufleitung am Pufferaustritt unten eine höhere Temperatur einstellt, als sie die untersten Fühler im Puffer anzeigen, woraufhin das BHKW abschaltete. Nach Abkühlung des Pufferspeichers um 6 K wurde das BHKW wieder freigegeben und schaltete nach kurzer Zeit schon wieder ab. Das führte im Sommer zu häufigem Takten.

Vermutet wird, dass sich intern im Pufferspeicher eine Strömung zum Austritt bildet, welche dann das BHKW frühzeitig abschaltet. Bei wenig bzw. geringer Verbrauchsmenge könnte die Förderleistung der BHKW-eigenen Pumpe einen Strömungskanal im Puffer verursachen. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Länge der eingebauten Fühler gerade den Isoliermantel mit 160 mm überbrückt, also etwa wandbündig mit der Pufferinnenwand endet. Zur weiteren Klärung sollen nun die Fühler gegen längere Ausführungen ausgetauscht werden.

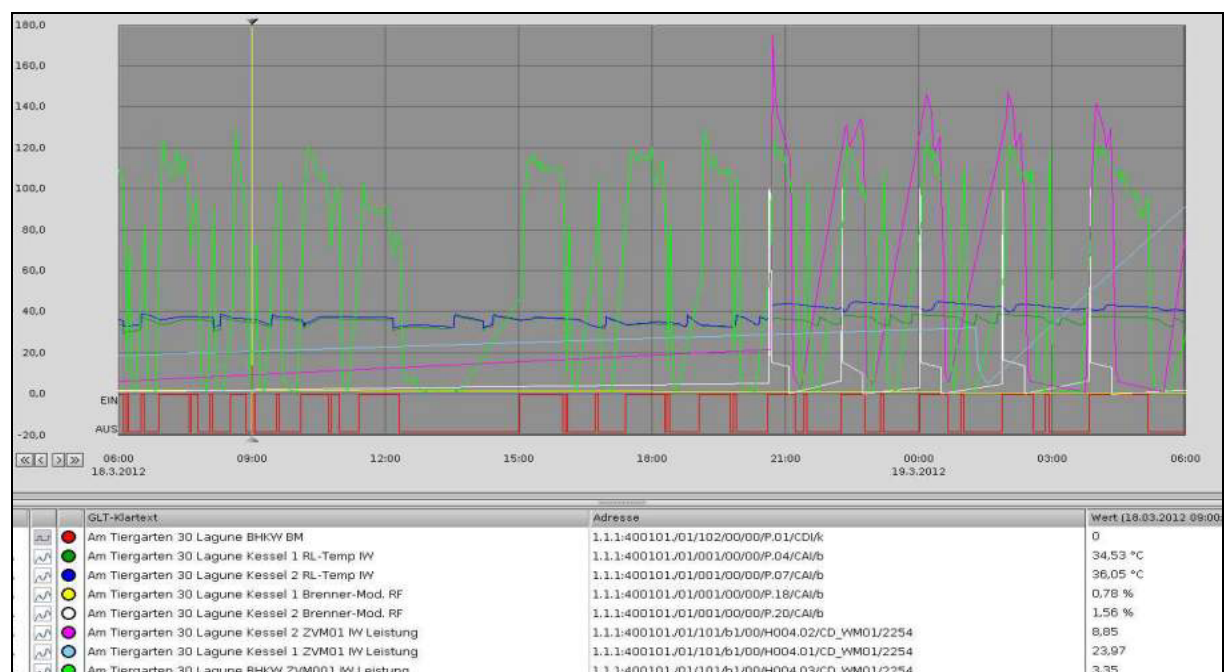


Diagramm 35: Taktung BHKW seit 12.03.2012

Die Hauptwärmeerzeuger 2x Gas-Brennwertkessel und BHKW wurden hinsichtlich des tatsächlichen Wirkungsgrades (Hs) von Anfang März bis Ende Juli 2012 monatlich betrachtet, nachdem erst am 07.03.2012 die Aufschaltung der Gaszähler auf die GLT inkl. Impulsprüfung und Datenabgleich erfolgte.

		Mrz. 12	Apr. 12	Mai. 12	Jun. 12	Jul. 12
<b>Kessel 1</b>	Gasverbrauch kWh	35729	8583	1482	1128	2857
	Kesselwärme kWh	32657	8226	1389	855	2564
	Wirkungsgrad	0,91	0,96	0,94	0,76	0,90
<b>Kessel 2</b>	Gasverbrauch kWh	34300	10076	569	988	3233
	Kesselwärme kWh	38640	9722	427	962	2991
	Wirkungsgrad	1,13	0,96	0,75	0,97	0,93
<b>BHKW</b>	Gasverbrauch kWh	84444	78289	29799	36824	20013
	Kesselwärme kWh	59181	52788	19359	23921	13248
	Wirkungsgrad	0,70	0,67	0,65	0,65	0,66
<b>BHKW</b>	Gasverbrauch kWh	84444	78289	29799	36824	20013
<b>Strom</b>	Stromerzeugung kWh	27530	22944	11311	8210	5761
	Wirkungsgrad	0,33	0,29	0,38	0,22	0,29

Tabelle 5: Gasverbrauch, Kessel-/Stromertrag und Wirkungsgrad

Es zeigt sich, dass die beiden Gaskessel durchschnittlich mit guten Wirkungsgraden betrieben werden (Übergangszeit). Das BHKW erreicht hohe thermische bzw. überwiegend sehr gute elektrische Wirkungsgrade. Vom Hersteller werden 73 % thermischer Wirkungsgrad mit Brennwerttaucher und 31 % elektrischer Wirkungsgrad angegeben.

Bei der Überprüfung der Sommerabschaltung der Heizkreise stellte sich heraus, dass der Außentemperaturfühler (für alle Heizkreise) zu wenig anzeigt; hier war fälschlicherweise in der Fühlerkorrektur des Fühlers ein Wert von -6 K eingetragen gewesen.

Laut Funktionsbeschreibung und programmierter Regelung soll der Sollwert der Vorlauftemperatur am Verteiler gehalten werden bzw. auch eine BHKW-Pufferladung erfolgen, auch wenn keinerlei Heizanforderung von den Verbrauchern ansteht. Diese Sommerstrategie soll aktuell bedarfsgeführt optimiert werden.

Bei der Warmwasserbereitung für das Affenbergcafe stellte sich als hydraulisch ungünstigster Abnahmestelle heraus, dass nach Anforderung des Nutzprogramms die Vorlauftemperatur lange Zeit zu niedrig war und ca. 5-10 K niedriger lag als am Hauptverteiler.

Weiterhin erreichte die Warmwassertemperatur nie den Sollwert 60°C. Die bedeutete einen Dauerlauf der nachgeschalteten Elektroheizpatrone (Verzögerung 30 min.).

Nach Überprüfung vor Ort wurde die Zubringerpumpe am Verteiler im Kesselhaus zwar angesteuert, hatte aber keinen Betrieb, da die Pumpe auf ‚Hand Aus‘ gestellt war. Nach Umschaltung auf die zweite Pumpe stieg die VL-Temperatur am Verteiler Affenbergcafe an, der Warmwasserspeicher wurde korrekt geladen. Die RL-Temperatur wurde nun jedoch zu hoch, da anstatt 0,40 m<sup>3</sup>/h jetzt 0,84 m<sup>3</sup>/h von der Zubringerpumpe gefördert wurden, und folglich den gesamten Rücklauf auch am Verteiler Kesselhaus erhöhten.

Dies wurde aktuell umgestellt, die die Zubringerpumpen werden nun nach Anforderung der Verbraucher eingeschaltet; die Warmwasserbereitung wird im Sommer ausschließlich über die Elektroheizung realisiert. Desweiteren wird vom Fachplaner TGA aktuell die Auslegung

der Elektroheizpatrone sowie die Nutzung der vorhandenen Solarwärme für die Versorgung der Warmwasserbereitung im Affenbergcafe geprüft.

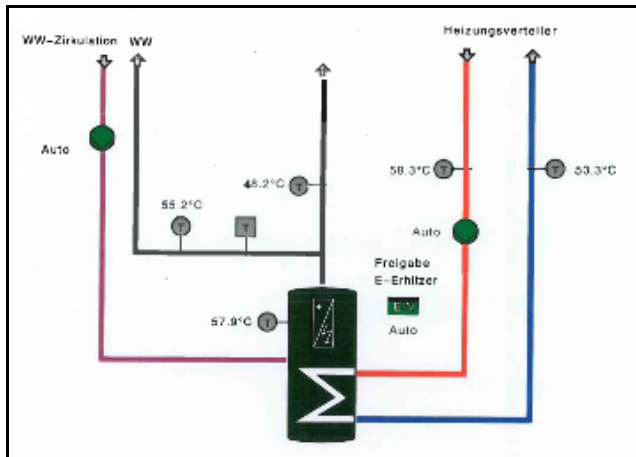


Bild 33: Warmwasserbereitung Affenbergcafe 04.07.2012, AT 13,7°C

### c. Effizienzkriterien Solar

Die Solaranlage stellt den Ertrag ganzjährig hauptsächlich den Becken Lagune und Manatihaus zur Verfügung. Der Primärkreis besteht aus einem Solekreislauf mit Systemtrennung über einen Plattenwärmetauscher. Im Mai 2012 begann hierzu eine intensive Überprüfung der Betriebsweise. Die bisherige Regelstrategie für solare Ladung mittels einer definierten Drehzahlregelung der solaren Primärpumpe stellte sich bald als wenig effizient heraus. Die Drehzahl sollte nach einem „Festwertregelkreis“ auf eine Vorlauftemperatur von 42°C geregelt werden. Außerdem geht noch die Temperaturpreizung zwischen Primär-Vor- und Rücklauf, wenn diese weniger als 15 K beträgt, in die Vorlauftemperaturberechnung mit ein. Die Sekundärpumpe war von der Drehzahlregelung her an die Primärpumpe gekoppelt.

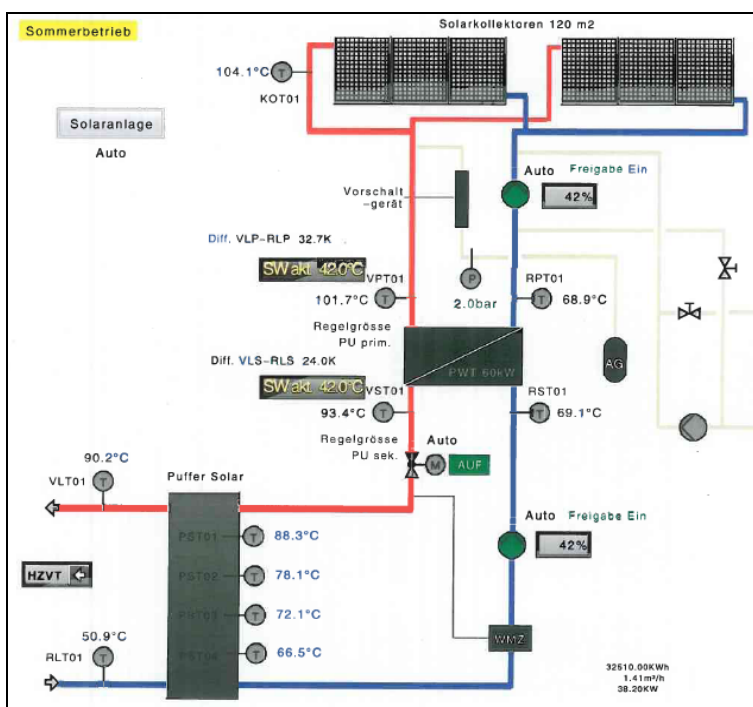


Bild 34: Funktion Solaranlage 14.05.2012

Folgendes hat sich bei sommerlicher, wolkenloser Solarstrahlung eingestellt (siehe Bild 34):

- Die Soll-Vorlauftemperatur war ständig auf 42°C eingestellt.
- Die Drehzahlregelung der Pumpe verharrte ständig auf der Minimaldrehzahl 42 %.
- Aufgrund der verringerten Massenströme hat sich eine hohe Spreizung eingestellt. Diese wiederum führte auch zu hohen Kollektortemperaturen von bis zu 110 °C.
- Im ungünstigen Falle konnte es dann passieren, dass die Vorlauftemperatur zur Sicherheitsabschaltung von 110°C erreicht wurde, und dann die Kollektoren nicht mehr durchströmt wurden.
- Im Sekundärvorlauf und im Pufferspeicher entstanden Temperaturen von über 90°C.

Laut Ausschreibung waren primärseitige Temperaturen von 47/32°C geplant.

Die Nachteile von hohen Solarkollektortemperaturen sind:

- Je höher die Temperatur, desto weniger Wirkungsgrad hat der Kollektor.
- Je höher die Temperatur, desto höhere Verluste über Leitungen und Armaturen.
- Die hohe thermische Belastung der Wärmeträgerflüssigkeit verringert deren Haltbarkeit. Im ungünstigen Fall kann die Flüssigkeit korrosiv werden und die Zersetzungsprodukte die Anlagenteile verkleben oder zerstören.

Diese Art der Regelstrategie ist daher für eine Solaranlage ungeeignet. Ziel soll sein, den anfallenden Solarertrag möglichst sofort und ohne Verluste an das Heizsystem abzuführen.

Bei einem Vor-Ort-Termin mit der Regelungsfirma wurde die Regelstrategie dann testweise geändert, und die Verbesserungen beobachtet:

Die Drehzahl der Primärpumpe wird im Korridor von 42 bis 90 % geregelt. Die Regelgröße ist nun nur noch die Spreizung zwischen Primär-Vor- und Rücklauf; bei 0 K ist 42 % die Drehzahlvorgabe, und bei 30 K dann 90 %.

Das Ergebnis war zuerst einmal erfreulich, da sich nun die Drehzahlen im oberen Bereich bewegten. Allerdings war der erhoffte Effekt einer niedrigen Kollektor- und damit einhergehend einer niedrigeren Systemtemperatur nur unwesentlich besser geworden. Die Ursache konnte nur sein, dass trotz höherer Drehzahl immer noch zu wenig Massenstrom im Kollektoren-Netz vorhanden ist. Dieser Sachverhalt wurde wie folgt untersucht (siehe Bild 35).

Im Primärkreis der Solaranlage wird keine umlaufende Wassermenge im Anlagenbild angezeigt. Aber der Wärmemengenzähler im Sekundärkreis zeigt die Leistung und den Volumenstrom an. Da die Leistung auf dem Sekundärkreis und auf dem Primärkreis annähernd gleich sein muss, kann man mit der Temperaturspreizung von Primär-Vor- und Rücklauf ganz einfach den Massenstrom berechnen. Die spezifische Wärmekapazität der Solarflüssigkeit wurde anhand von Herstellerunterlagen mit etwa 1,05 Wh/kg\*K angenommen. Die Dichte der Flüssigkeit bewegt sich im Temperaturbereich von 85°C bei etwa 1,0 und wurde daher vernachlässigt.

Als Ergebnis zeigte sich, dass ein Gesamtvolumenstrom von etwa 1,1 m<sup>3</sup>/h vorhanden war, dies bedeutet einen spezifischen Volumenstrom von nur 9 l/m<sup>2</sup>Kollektorfläche\*h. Laut Hersteller sind für die Betriebsart HighFlow 40-60 l/m<sup>2</sup>h und für LowFlow 12-18 l/m<sup>2</sup>h empfohlen. Im Leistungsverzeichnis war eine empfohlene Durchflussmenge von 40 l/m<sup>2</sup>h angesetzt; die Fördermenge der Primärpumpe sollte bis 2,6 m<sup>3</sup>/h (=21,67 l/m<sup>2</sup>h) betragen (bei 34 %-igem Ethylenglykol als Fördermedium).



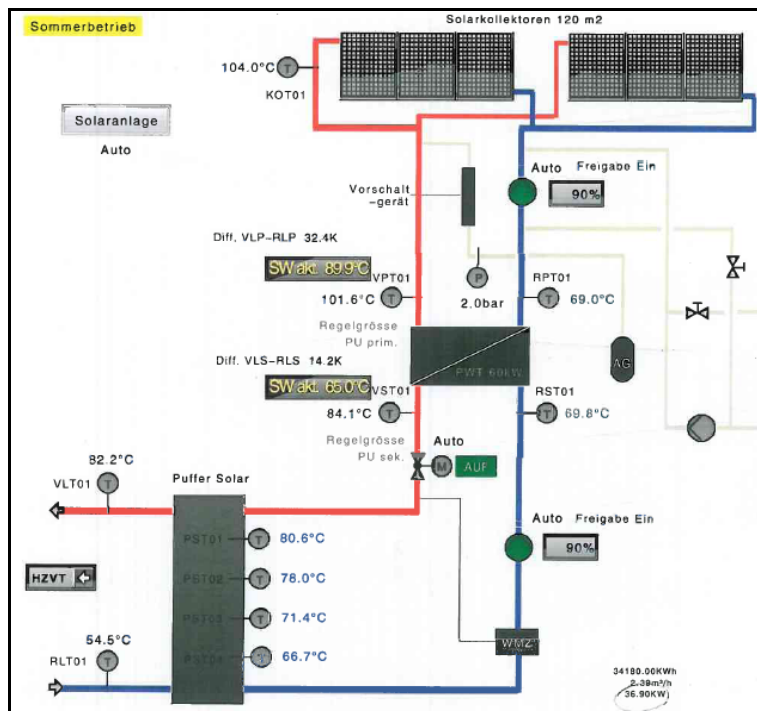


Bild 35: Funktion Solaranlage 24.05.2012

Da bei großen Solaranlagen üblicherweise die Betriebsart LowFlow angewendet wird, sollte der für die Primärpumpe genannte Volumenstrom von max. 22 l/m²h ausreichen, um einen effizienten Betrieb zu ermöglichen. Dieser Sachverhalt soll nun zeitnah geklärt werden.

Mögliche Ursachen könnten sein:

- verschmutzte Schmutzfänger im Rohrleitungsnetz
- zu gering dimensionierte oder defekte Umwälzpumpe
- zu klein dimensioniertes Rohrleitungsnetz
- verschmutzter Wärmetauscher.

Um die reichlich vorhandene sommerliche Solarenergie nicht nur in den Wasserbecken einzusetzen, sondern möglichst auch für den evtl. Wärmebedarf im Heizsystem, z.B. für die Warmwasserbereitung im Affenbergcafe, wurde nachträglich eine Umschichtung der überschüssigen Solarenergie (Solarpuffer durchgeladen) in den BHKW-Puffer installiert.

Die Umschichtung wird anhand des unteren Pufferfühlers gesteuert. Der ursprüngliche Sollwert für die Aktivierung der Umschichtung war  $\geq 85^\circ\text{C}$ . Ist der Solarspeicher unten  $< 55^\circ\text{C}$ , wird die Umschichtung beendet. Wenn beide Speicher durchgeladen sind, kann der Nutzer diese Energie in eines der Lagune-Außenbecken leiten.

Bis dieser Wert von  $85^\circ\text{C}$  erreicht wurde, war die Puffertemperatur oben schon wesentlich höher. Dies hatte zwei Nachteile:

- Die sekundäre Rücklaufftemperatur zum Solar-Wärmetauscher konnte sehr hoch werden, und damit auch die Rücklaufftemperatur zu den Kollektoren. Dies wiederum ließ den Vorlauf ansteigen; es konnte dann passieren, dass die Vorlauftemperatur zur Sicherheitsabschaltung von  $110^\circ\text{C}$  erreicht wurde, und dann die Kollektoren nicht mehr durchströmt wurden, und dies, obwohl noch ausreichend Wärme an den BHKW-Puffer hätte angegeben werden können.
- Die für den BHKW-Puffer notwendige Puffertemperatur liegt im Sommer ca. bei  $60^\circ\text{C}$ . Es kann also viel früher eine Umschichtung stattfinden und damit die unnötigen Laufzeiten des BHKW's bei Solarertrag verringert werden.

Zur Verbesserung wurde der Sollwert für die Aktivierung der Umschichtung von 85 auf 70°C verringert. Die Vorteile zeigten sich umgehend im Anlagenbild.

Weiteres Optimierungspotential besteht in der Definition einer effizienten Steuerungsstrategie für die Umschichtung der Puffer. Allein die untere Solarpuffertemperatur reicht nicht aus, um eine effiziente Umschichtung zu erhalten. Hier müssen weitere Parameter betrachtet werden. Diese könnten sein:

- Der Temperaturvergleich Solarpuffer oben mit dem Ist- bzw. Sollwert des BHKW-Puffers oben und die Definition einer ausreichenden Hysterese
- Aktivierungskriterium ist nicht die untere Solarpuffertemperatur, sondern sind z.B. die beiden oberen Solar-Pufferfühler
- Definition eines effizienten Deaktivierungskriteriums mit Temperaturvergleich BHKW-Puffer unten mit den Temperaturen im Solarpuffer (Aufrechterhaltung einer Schichtung)
- Für den Sommerfall die evtl. Verzögerung einer BHKW-Anforderung bei zu erwartender Solarladung. Dies könnte aber nur bei Heizbedarf von verzögerungsmöglichen Heizkreisen passieren, nicht bei einer notwendigen Warmwasserbereitung (Affenbergcafe).

Darüber hinaus wurde anhand von Trends festgestellt, dass häufig ein längerer Dauerbetrieb (über mehrere Stunden) der Pumpe zur Entladung des Solarpuffers für die Beschickung der Wasserbecken vorlag. Eigentlich sollte diese Pumpe ausgeschaltet sein, da in keinem der Becken ein Nachheizbedarf bestand. Die Konsequenz war diese, dass die Leitungsverluste den Solarpuffer auskühlten, und eine Umwälzung in den BHKW-Puffer nicht mehr stattfand. Wenn dann Wärmebedarf vom Netz anstand (Heizbedarf nachts Manatihaus), wurde wieder das BHKW (und evtl. sogar noch ein Gaskessel) in Betrieb gesetzt, obwohl tagsüber ein Solarertrag im Puffer gespeichert wurde.

Ursache war ein „hängender“ Strömungsschalter für den Heizkreis Beregnungswassererwärmung, welcher mit der Pumpe Entladung Solarpuffer gekoppelt war. Dieser Schalter soll überprüft und ggf. getauscht werden.

Eine weitere Untersuchung betraf die Eigensicherheit der Solaranlage. Diese ist dann gegeben, wenn im Stagnationsfall die Sicherheitseinrichtungen, z.B. Drucksicherheitsventil, nicht ansprechen, also eine Dampfbildung im Kollektor kein Problem darstellt.

Der max. Anlagendruck im Solarkreis beträgt 6 bar. Die Kollektoren sind bis 203°C zugelassen, der Solarpuffer bis 110°C. Das gegenwärtige Regelungsprinzip schaltet ab einer Kollektortemperatur von 110°C die primäre Solarpumpe ab und es wird eine Störung signalisiert. Mit einer Hysterese von 10 K wird die Pumpe wieder freigegeben. Diese Pumpe führt die Wärmemenge ab in die beiden Puffer, ggf. weiter in das Manatibecken und ggf. weiter in die Lagunebecken, bis zur jeweils max. zulässigen Beckentemperatur wegen Tierbesatz.

#### **d. Heizungshydraulik**

Im ersten Winterbetrieb stellten sich bei z.T. extremen Wetterbedingungen verschiedene Probleme mit der hydraulischen Ausbildung bzw. Funktion des Heizungsnetzes ein.

Nach der Aufstellung der Traglufthalle Anfang Februar 2012 und der anschließenden Inbetriebnahme von deren Beheizungspumpen stellten sich Versorgungsdefizite in der Nebenraumspange bzw. im Affenbergcafe hinsichtlich der zuzuführenden Wärmemenge ein. Die erforderlichen Vorlauftemperaturen für die statischen Heizkreise wurden nicht eingehalten. Zum Teil stellten sich hier zwar auch Fehler der Ausführungsfirma heraus (fehlende Standrohre, Leitungsdruck zu gering), aber zur Beseitigung des Problems wurden hauptsächlich die Förderhöhen der Umwälzpumpen nachkorrigiert, d.h. einfach höher eingestellt.

Auch an den Lüftungsanlagen Manatihaus und Blauer Salon wurden mehrfach vor Ort niedrigere Systemtemperaturen (Spreizung VL-RL) zur Versorgung der Heizregister festgestellt.

Nach Überprüfung der vorgelegten Fachplaner-Rohrnetzberechnungen durch KEM stellte sich heraus, dass es sich hier nicht um eine komplette durchgängige Rohrnetzberechnung mit ungünstigstem Strang, Verknüpfungspunkten und hydraulischer Einregulierung handelt, sondern nur um eine rein überschlägige Pumpendimensionierung. Außerdem wurde kein hydraulischer Abgleich der Heizungsrohrleitungen nach DIN 4701-10 durchgeführt, z.B. zwischen dem Heizkreis Traglufthalle (170 kW) und dem Heizkreis Nebenraumspange/Affenbergcafe (70 kW). Auch für die Solaranlage wurde keine detaillierte Rohrnetzberechnung inkl. hydraulischem Abgleich der Kollektorfelder durchgeführt.

Vom Fachplaner TGA wurden nun detaillierte und komplette Rohrnetzberechnungen zur Überprüfung der hydraulischen Situation angefordert.

### e. Lüftung Manatihaus

Im letzten Winterbetrieb 2011/2012 mussten diverse Zuordnungen von Fühlern bzw. Klappen korrigiert werden, welche im GLT-Anlagenbild nicht identisch abgebildet waren.

Bereits im Herbst 2011 zeigten sich zu geringe nächtliche Raumtemperaturen im Manatihaus ein, obwohl das PWW-Ventil am Luftherhitzer der RLT-Anlage maximale Stellung zeigte (100 %, ca. 120 kW), woraufhin zur Sicherstellung der notwendigen Sollwerte eine Art „Notbetrieb“ mittels Torluftschleiergeräten und Entfeuchtungsbetrieb Wärmepumpe erfolgte. Weiterhin wurde die Einblastemperatur an den Zuluftdüsen schrittweise von 44°C auf 50°C sowie die Vorlauftemperatur im Heizungsnetz erhöht. All dies widerspricht einer energieeffizienten Betriebsweise und wird vom Tiergarten und von KEM nicht als Lösung akzeptiert.

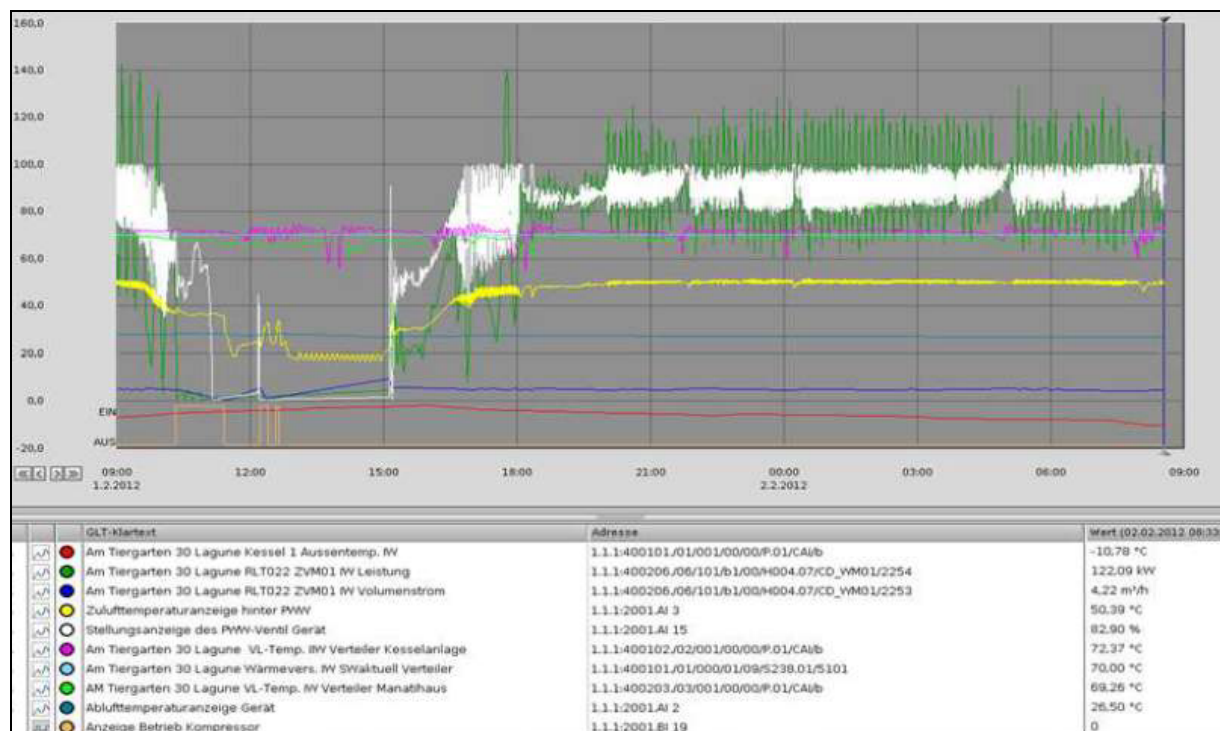


Diagramm 36: Betrieb Luftherhitzer Manatihaus 01.02.2012

In diesem Zusammenhang wurde auch festgestellt, dass die vom Fachplaner TGA berechnete Heizlast fehlerhaft gemacht wurde (z.B. nach alter DIN-Norm, ohne Wärmebrückenzu-

schlag, teilweise Hüllflächen vergessen, ohne Lüftungswärmebedarf RLT-Außenluftanteil), und deshalb das Heizregister im Lüftungsgerät zu klein ausgelegt ist (120 kW, 65/45°C). Die gesamte Heizlast wurde dann anhand der tatsächlich gebauten U-Werte des Gebäudes noch einmal nachgerechnet (U-Werte Fassade, mittlerer U-Wert Foliendach), und ergab ein Ergebnis zwischen 180 und 202 kW, abhängig vom Mindest-Luftwechsel (0,3 bzw. 0,5), inkl. Zuschlagsfaktor für Warmluft-Querstrom aus niedriger Höhe von 1,3 aus der EN 12831. Berechnungszuschläge für Verdunstung und Beregnung wurden berücksichtigt.

Zur Beurteilung der tatsächlichen max. Leistung des eingebauten Lufterhitzers wurde eine Berechnung des Herstellers bei Systemtemperatur 70/50°C, Wassermenge 5,2 m<sup>3</sup>/h und vier Standard-Betriebszuständen (s.u.) vorgelegt. Dies zog sich bis April 2012 hin.

- 1) Außenluft-Fortluft-Betrieb über WRG mit Umluftanteil, Jahresmittelbetrieb (112 kW)
- 2) Umluftentfeuchten Umluftentfeuchtung (106 kW)
- 3) Außenluft-Fortluft-Betrieb über WRG mit Umluftanteil, Winterbetrieb (117 kW)
- 4) Umluft Heizen Umluftheizbetrieb (140 kW)

Somit ist der eingebaute Lufterhitzer zu klein dimensioniert. Aktuell sollen nun Kosten ermittelt werden für den Austausch des bestehenden Heizregisters gegen ein größeres bzw. den Einbau eines zweiten separaten Heizregisters.

In der bisherigen Betriebsweise des Lüftungsgerätes wurde anfänglich keine Unterscheidung in der Tag(Besucher)-Nacht-Zeit sowie weiterhin beim Mindest-Außenluftanteil keine hygienische Vorgabe für die Tagesbesucher gemacht. Teilweise wurde mit energieintensiven 100 % Außenluftanteil gefahren, statt den Umluftanteil zu erhöhen. Dies wurde ab Februar 2012 folgendermaßen geändert: Tag Min-AUL-Anteil 10-15 % max., Nacht 0-10 % (UL).



Diagramm 37: Betrieb Lüftungsgerät Manatihaus 22.03.2012 (Beispieltag)  
(Sollwerte: Temperaturen Tag 27°C, Nacht 27,5°C; rel. Feuchte Tag 80 %, Nacht 85 %)

Für beide Lüftungsanlagen Manatihaus und Blauer Salon sollen die Wirkleistungen der jeweiligen Ventilatoren (ZU, AB) gemessen werden, inkl. entsprechendem Volumenstrom und Lufttemperatur. Dies soll nun endlich Ende September 2012 durchgeführt werden.



Informativ wurde der CO<sub>2</sub>-Verlauf im Manatihaus gemessen. Bei Fensterlüftung wird der übliche (Außen-)Wert von etwa 370 ppm erreicht; nachts stellt sich bei RLT-Betrieb (geringer Außenluftanteil, ggf. Umluftbetrieb) ein Wert von ca. 700 ppm ein; Mittagsspitzen bei Besucherkehr stiegen bisher bis etwa 1.000 ppm an.

### 3.3.5 Ökologische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik

Verglichen werden die Sollwerte für Heizungs- und Strombedarf gemäß erstem Planungskonzept 2005, festgelegtem Planungsziel 2008 und die tatsächlichen Verbräuche im ersten Betriebsjahr. Den Bedarfen und Verbräuchen für Heizung und Strom in kWh sind jeweils die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeordnet: Wärme 0,214 kg/kWh, Strom 0,600 kg/kWh.

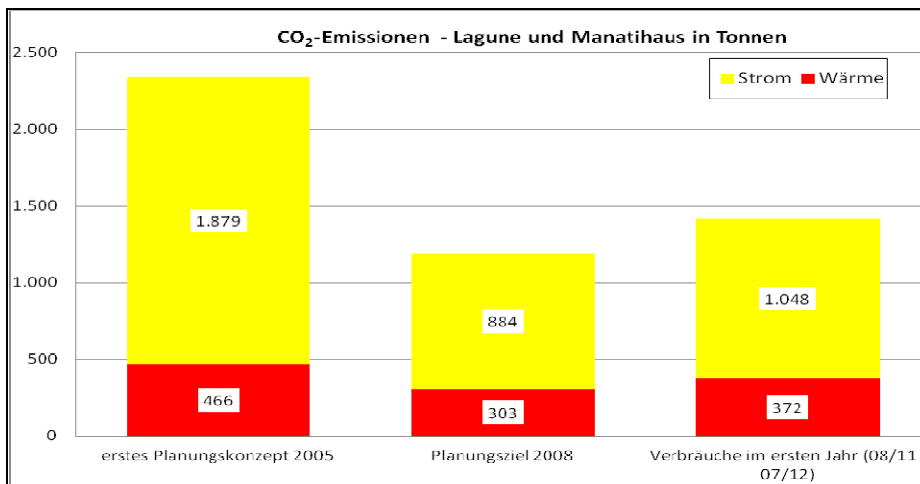


Diagramm 38: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen Lagune

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen noch 233 to über dem Zielwert aus dem Jahr 2008. Für das Manatihaus wird der Zielwert um 17 to unterschritten.

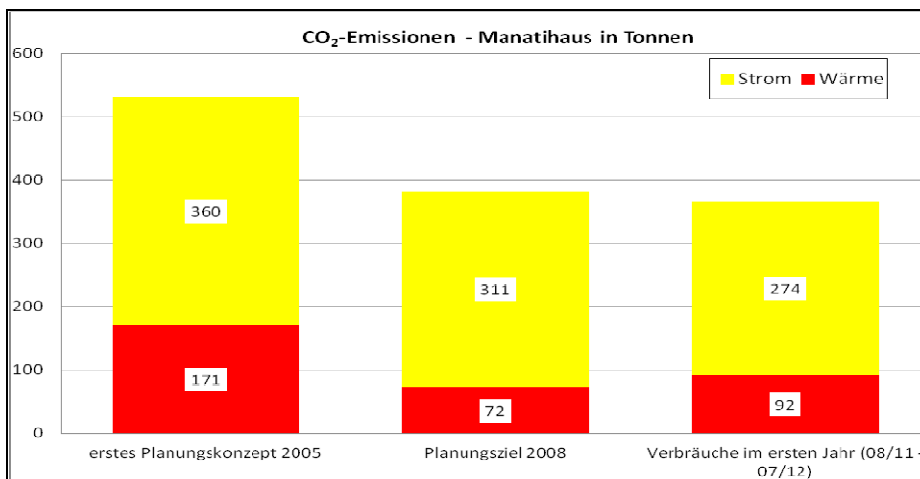


Diagramm 39: Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen Manatihaus

Mit den Primärenergiefaktoren (Wärme 1,1 kg/kWh, Strom 2,60 kg/kWh (EnEV)) werden die Bedarfe und Verbräuche für Heizung und Strom in MWh primärenergetisch bewertet. Auch hier ist zu erkennen, obwohl die Ziele im ersten Betriebsjahr noch nicht erreicht werden, dass die Verbrauchswerte deutlich unter den ursprünglichen Planungswerten aus dem Jahr 2005 liegen (siehe Diagramm 40).

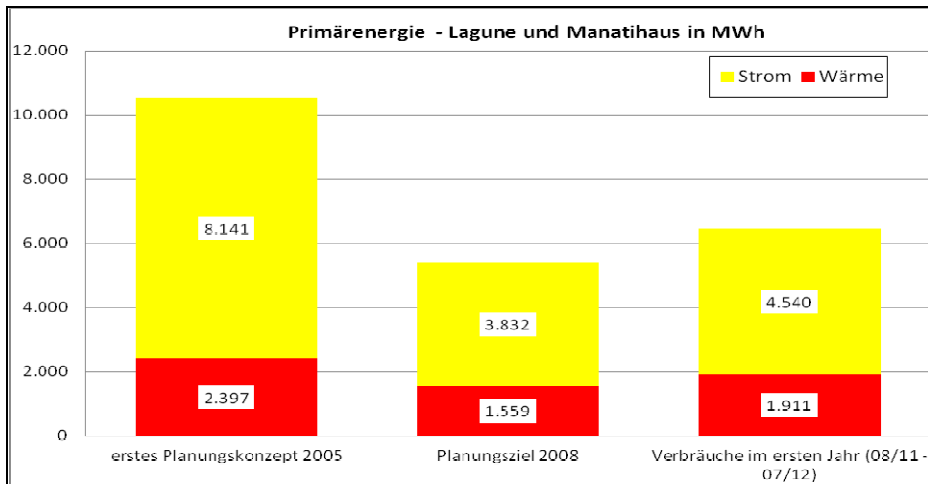


Diagramm 40: Primärenergetische Bewertung Lagune

Für das Manatigebäude wird das „primäre“ Planungsziel 2008 um 57 MWh unterschritten.

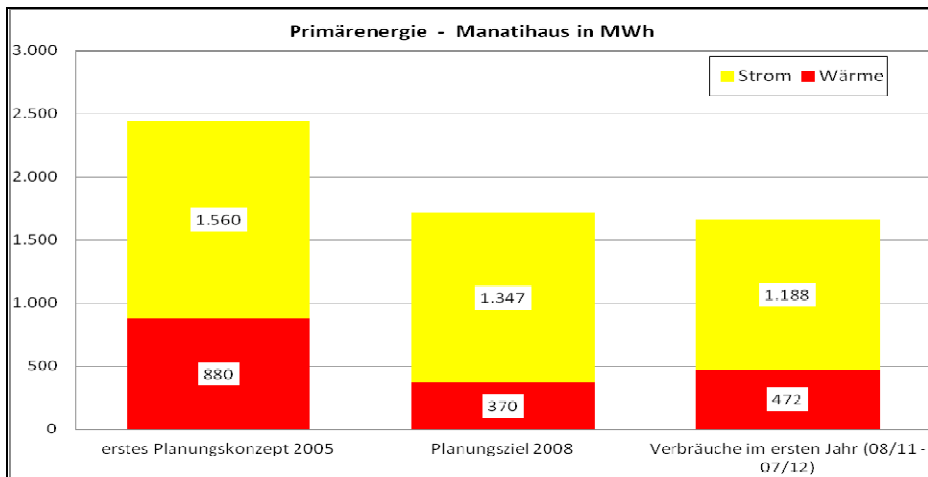


Diagramm 41: Primärenergetische Bewertung Manatighaus

### 3.3.6 Ökonomische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik

Im Diagramm ist die Entwicklung der Energiekosten gemäß erstem Planungskonzept 2005, festgelegtem Planungsziel 2008 und tatsächlichen Verbräuchen (1. Betriebsjahr) dargestellt.

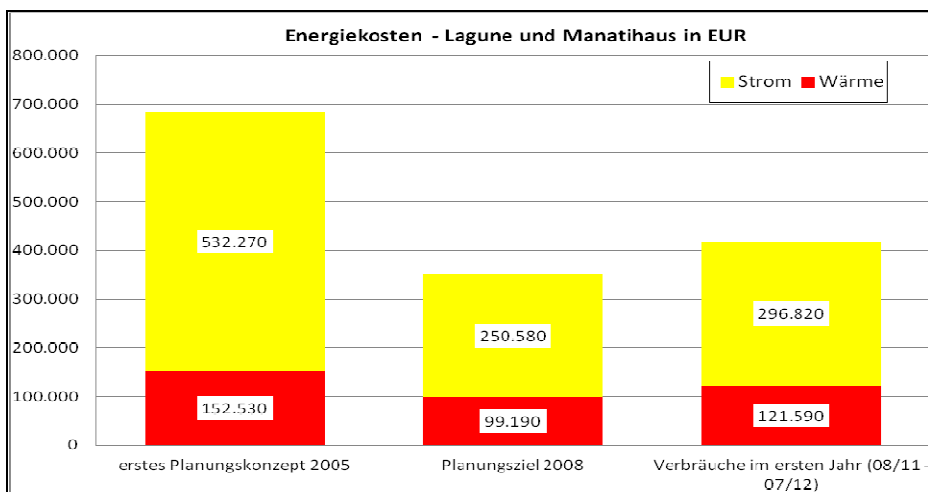


Diagramm 42: Energiekosten für Wärme und Strom Lagune

Die Einsparung zwischen der Planung 2005 und dem Zielwert 2008 beträgt ca. 335.030 EUR (Kostenniveau 2011). Tatsächlich erreicht wurden im ersten Jahr ca. 266.390 EUR.

Im Manatihaus betrug die Einsparung zwischen der Planung 2005 und den Verbrauchskosten im ersten Jahr ca. 50.280 EUR gegenüber geplanten ca. 46.420 EUR.

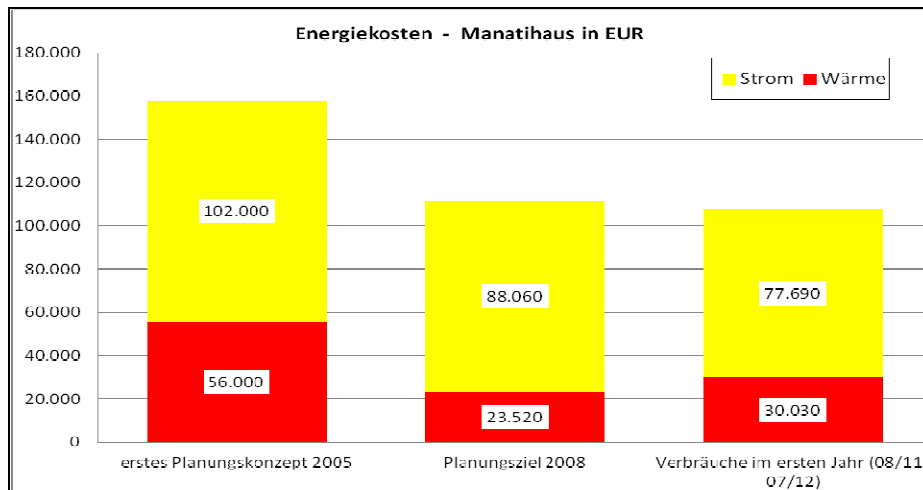


Diagramm 43: Energiekosten für Wärme und Strom Manatihaus

Die Gesamtinvestitionskosten für das Tropen-/Manatihaus betragen etwa 8 Mio. EUR brutto. Für die gewählten Verbesserungen des wärmeschutztechnischen Standards (Passivhausverglasung, vierlagige EFTE-Dachfolie, dickere Dämmung der opaken Flächen, dickere Dämmung der Lüftungskanäle und des Lüftungsgerätes, größeres und damit effizienteres Lüftungsgerät, thermische Solaranlage) können 300.000 EUR geschätzte Mehrkosten für den verbesserten energetischen Standard angesetzt werden, d.h. etwa 4 %. Die statische Amortisationszeit beträgt damit etwa 10 Jahre gegenüber einer konventionellen Ausführung.

### 3.3.7 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Seit Fertigstellung des Gebäudes ist bisher ein Erfahrungs- und Wissenstransfer wie folgt gestaltet worden:

Vorstellung des Projekts bei einschlägigen Kongressen und Tagungen, u.a. Energietage der Bayerischen Ingenieurekammer Bau in Nürnberg und Passau, Kongress der Kommunalen Energiebeauftragten 2009, 2010, 2011, 2012.

Veranstaltung von Führungen durch das Gebäude für regionale und überregionale Fachleute, insgesamt bisher ca. 20 Führungen mit gesamt ca. 600 Personen.

Erstellung einer Broschüre/Projektinfo (Reihe des Kommunalen Energiemanagements Nürnberg), Verteilung an alle Projektbeteiligten (in Vorbereitung).

Redaktionelle Mithilfe bei projektspezifischen Artikeln in der Hauszeitung des Tiergartens „Tiergarten Aktuell“.

Infotafeln an/im Gebäude.

#### 4. Fazit

Das im ersten Betriebsjahr von KEM in Zusammenarbeit mit dem technischen Personal des Tiergartens durchgeführte Intensivmonitoring konnte zeigen, dass sich das geplante Konzept der Lagune-Manati-Anlage im Wesentlichen, zumindest in funktionaler Hinsicht, bewährt hat. Der Komplex wird von den Besuchern des Tiergartens sehr gut angenommen.

Punktabzug gibt es jedoch für die Heizungs- und die Lüftungstechnik. Hier sind noch deutliche Nacharbeiten, vor allem Mängelbeseitigung erforderlich. Die Energieverbräuche von Wärme und Strom sind zwar höher als die ursprünglichen Zielwerte, aber wenigstens deutlich geringer als im ersten Planungskonzept.

Problematisch und Ursache für die noch zu hohen Verbräuche bei Strom und Heizung sind einerseits die Fahrweise des Tiergartens mit höheren Wassertemperaturen und höherer Qualität der Wasseraufbereitung, als ursprünglich geplant. Hier steht allerdings die Gesundheit der Tiere im Vordergrund. Der zweite Ursachenbereich umfasst die noch nicht effiziente Betriebsweise der Wärmeezeuger, auch der Einbindung der Solaranlage.

Eine Reduzierung der Verbräuche ist dringend erforderlich und erfordert intensive Arbeiten zur Einhaltung der Effizienzkriterien, d.h. noch weitere Mängelbeseitigung, aber auch zur weiteren Betriebsoptimierung, wofür noch Potenzial vorhanden ist.



Bild 36-37: Manatis

Bild 38: Delfinvorführung (Tiergarten Nürnberg)

Der Tiergarten ist mit der Entwicklung der Lagune und des Tropen-/Manatihauses sehr zufrieden. Die am 30.07.2011 eröffnete Anlage stieß bei den Besuchern/-innen durchwegs auf eine positive Resonanz. Das Mitarbeiterteam des Tiergartens freute sich sehr über den gelungenen Start. Die Tiere haben sich gut in der Delfinlagune und dem Manatihaus eingelebt und die gesamte Anlage hat die erste Saison – mit allen Schwierigkeiten einer neu einzufahrenden Technik und ersten Härtetests bei strengem Frost – erfolgreich bestanden.

Die Manatis, Seekühe, nahmen ihr zehnfach größeres Zuhause problemlos an und nutzten die Anlage schon nach wenigen Tagen im Tagesrhythmus.

Die Seelöwen waren die ersten Tiere in der neuen Delfinlagune. Sie benötigten kaum zwei Wochen, bis sie sämtliche Becken erkundet und die speziell für Seelöwen ausgestatteten Becken vier und fünf als ihr sicheres Zuhause angenommen hatten. Die Delfine selbst benötigten erwartungsgemäß die längste Eingewöhnungszeit.

Gesundheitlich haben alle Tiere die Umstellung auf die neuen Haltungssysteme gut überstanden. Insbesondere die Delfine wurden in einem engen Raster untersucht.

Nachdem sich die ersten ins Manatihaus eingesetzten Tiere gut eingelebt hatten, konnten weitere Vögel, zwei Arten Blütenfledermäuse und zwei Arten Pfeilgiftfrösche eingesetzt werden. Mindestens acht Schmetterlingsarten haben sich dank der vielfältigen Pflanzenwelt und des richtigen Klimas im Manatihaus bereits erfolgreich vermehrt.

## **Energiesparender Neubau des Tropen-Manati-Hauses**

Ergänzung zum Abschlussbericht über ein Neubauprojekt  
(September 2012)  
gefördert unter dem Az: 26712-24/2 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**Stand: 31.01.2013**

### **II. Bewertung der geförderten Einzelmaßnahmen**

#### **Inhalt der Ergänzung zum Schlussbericht**

Gemäß Bewilligungsbescheid vom 10.06.2009 besteht das geförderte Maßnahmenpaket für den Neubau des Manati-/Tropenhauses aus folgenden Einzelbestandteilen:

1. Gebäudehülle:
  - a) hochwärmedämmende Verglasung der transparenten Fassadenbereiche
  - b) vierlagiges EFTE-Foliendach
  - c) Dämmung der opaken Hüllflächen inkl. Wasserbecken
  - d) Luftdichtigkeitsprüfung (Blower-Door-Test)
  - e) Thermografieuntersuchung inkl. Auswertung
2. Anlagentechnik:
  - a) Abwärmenutzung Ozonerzeuger
  - b) Spülwasserrückgewinnung
  - c) Optimierung der Beleuchtung
  - d) Messtechnische Komponenten
3. Energieverbräuche im ersten Betriebsjahr
4. Ökologische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik
5. Ökonomische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik
6. Erläuterung und weitere Schritte

Die genannten Einzelmaßnahmen sollen nun im Folgenden detailliert beschrieben werden. Auf die verbesserte Ausführung des Tropen-Manati-Hauses bezogen auf die Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2009 sowie den Stand der Technik, der durch den ersten Planungsstand und die Ausgangssituation für Optimierungen repräsentiert wird, wird eingegangen. Die ökonomischen und ökologischen Wirkungen der Optimierungsmaßnahmen werden betrachtet.



## 1. Gebäudehülle

Ein Nachweis und die Berechnungen nach Energieeinsparverordnung und DIN V 18599 wurden für das Gebäude nicht erstellt, da sie nach EnEV 2007 (und 2009) nicht erforderlich sind. Das Gebäude wird zur Aufzucht und Haltung von Tieren benutzt.

Dennoch kann der Vergleich der wärmeschutztechnischen Ausführung mit den Anforderungen der ENEV 2009 an die Bauteile für das Referenzgebäude durchgeführt werden:

Bauteile (kursiv: nicht Förderbestandteil)	Referenzgebäude EnEV 2009 U-Wert max. in W/(m <sup>2</sup> K)	realisierte Ausführung U-Wert in W/(m <sup>2</sup> K)	Unterschreitung EnEV 2009	Anteil der Fläche an der Gesamthüllfläche
Außenwand opak	0,28	0,23	18%	4%
erdberührte Flächen senkrecht	0,35	0,21	40%	6%
erdberührte Flächen waagrecht	0,35	0,24	31%	31%
Glasdach	2,70 (g 0,63)	1,20 (g 0,74)	55%	32%
Fenster	1,30	1,10 und 1,20	8 bzw. 15%	16%
<i>Trennwände an Technikbereiche</i>	0,35	0,35	<i>keine Unterschreitung</i>	11%
<i>Außentüren</i>	1,80	1,30 bis 1,70	5 bis 27%	0,2%

Tabelle II/1: Vergleich U-Werte Anforderung Referenzgebäude nach EnEV 2009 und realisierte Ausführung beim Manatihaus

Es ist ersichtlich, dass das Tropen-Manati-Haus bezüglich der einzelnen Bauteilanforderungen der EnEV 2009 an einen Neubau zum Teil deutlich besser ausgeführt wurde. Wichtig, vor allem hinsichtlich der Wärmeverluste, ist die wesentlich bessere Ausführung der transparenten Flächen bei Dach und Fassaden.

Ein sehr guter Wärmeschutzstandard ist vor allem wegen der relativ hohen erforderlichen Innentemperaturen von > 27°C und hohen relativen Luftfeuchte von 70 bis 80 % ganzjährig erforderlich. Das Tropen-Manati-Haus bildet den Lebensraum ausgewählter Tier- und Pflanzenarten aus Mittel- und Südamerika mit tropischem Klima nach.

Das Tropen-Manati-Haus ist sehr kompakt (A/V-Verhältnis 0,4) und wurde hinsichtlich der Orientierung und der Anbindung an die ohnehin erforderlichen Räumlichkeiten für Technik optimal angeordnet. Die zwei großen erforderlichen Glasfassaden sind nach Süd und West orientiert. An der Ostseite und an der Nordseite ist das Manatihaus an die Technikräume angepasst, die in der Heizperiode indirekt beheizt sind und dadurch, trotz Dämmung der entsprechenden Technikkomponenten, relativ hohe Innentemperaturen aufweisen, vgl. auch Bild II/1.

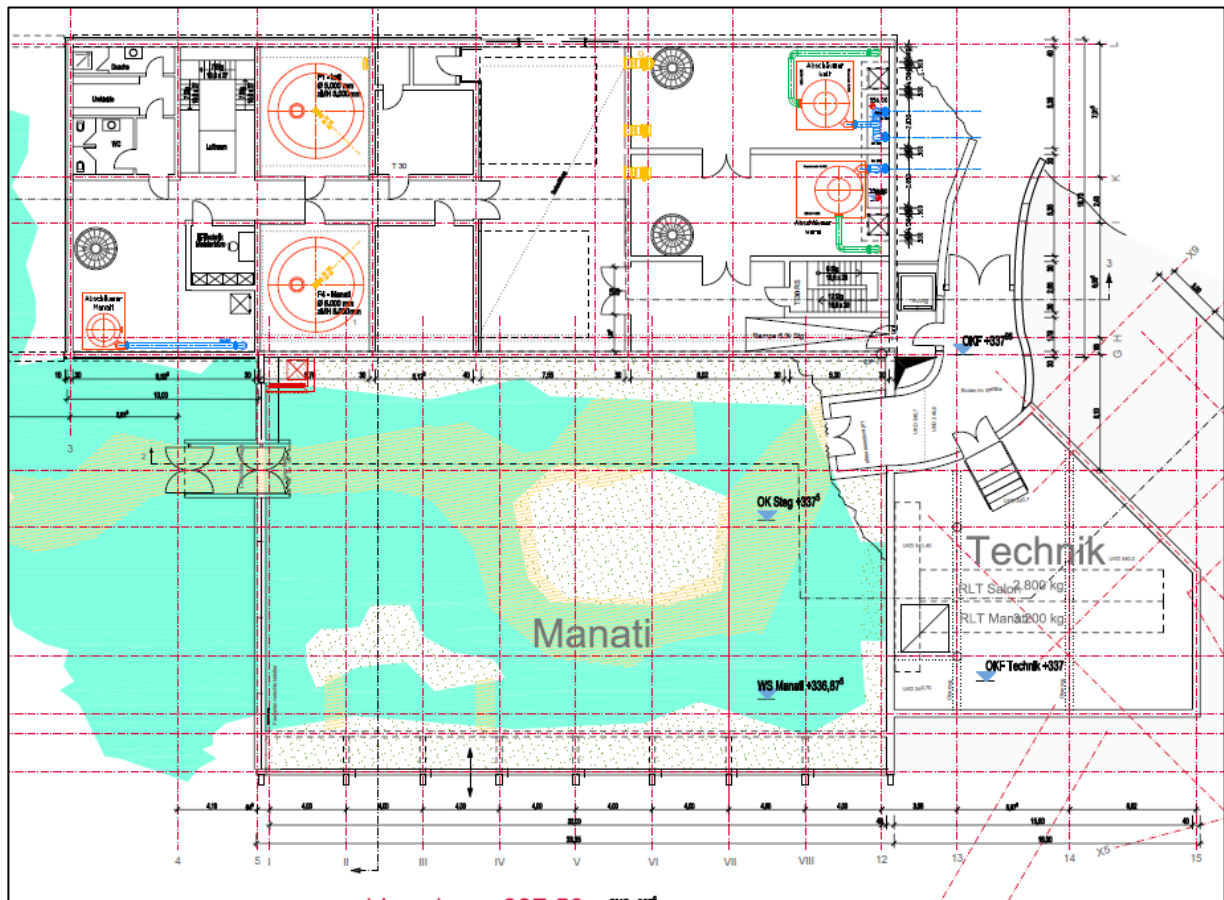


Bild II/1: Lage Tropen-Manati-Haus mit Anschluss an Technikbereiche

Der Anteil der transparenten Flächen musste relativ hoch sein, damit das Wachstum der Pflanzen und die Aufenthaltsqualität der Tiere gewährleistet sind. Gleichzeitig ist es sinnvoll, einen großen photosynthetischen Anteil (PAR) des Tageslichts in das Haus zu bekommen, da ansonsten energieintensive Pflanzenbeleuchtung erforderlich wäre. Das schließt Dreischeiben-Vergrasung im Dach aus. Aus diesem Grund wurde eine EFTE-Foliendachkonstruktion gewählt. Analoge Probleme treten z.B. im Gewächshausbau auf, wo sehr oft noch Einscheiben- oder Zweisheiben-Vergrasung eingesetzt wird. Zum Ausgleich wird meist mit sogenannten Energiesiegeln oder -schirmen gearbeitet, die nachts die Wärmeverluste durch langwellige Abstrahlung zum Himmel hin reduzieren sollen. Im Tropen-Manati-Haus ist ein solcher Energieschirm aufgrund der Bepflanzung und der frei lebenden Tiere im Haus (Verschmutzung, Schäden, etc.) nicht möglich. Die Kombination aus energetisch optimiertem Foliendach mit sehr guten Vergrasungen an den Fassaden und die Reduzierung der Außenflächen durch Anbau an die Technikräume ist deshalb im vorliegenden Fall die beste Lösung. Der Anteil der transparenten Flächen an der Gesamtwandfläche liegt bei etwa 51 %. Der Anteil der Glasfassaden an den Gesamtfläche der Fassaden gegen Außenluft liegt bei etwa 78 %. Der Anteil der transparenten Dach- und Fassadenflächen an der Gesamthüllfläche beträgt etwa 48 %.

Die transparenten Fassadenflächen haben bei den Festvergrasungen und bei den Fensterflügeln (zwei Fensterbänder je an Süd- und Nordfassaden zur freien Lüftung und Durchströmung im Sommer) einen U-Wert von  $0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Die thermisch getrennten Alu-Profile der Pfosten-Riegel-Konstruktion haben einen U-Wert von  $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und die Fenster-

rahmen der Öffnungsflügel von  $1,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Die Verwendung von wärmeschutztechnisch verbessertem Randverbund und Pfosten-Riegel- oder Rahmenkonstruktionen aus Holz sind aufgrund der hohen thermischen, hygryischen und biologischen Belastungen der Konstruktion durch die Klimabedingungen im Haus nicht möglich. Die erreichten U-Werte stellen deshalb das derzeit mögliche Optimum dar.

Das realisierte Foliendach besteht aus vier Lagen EFTE-Folie mit drei Luftkammern zwischen den Folienlagen. Der U-Wert beträgt  $1,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Üblich sind bei vergleichbaren Bauprojekten meist dreilagige Folienkonstruktionen mit U-Werten von etwa  $1,50$  bis  $2,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Energiedurchlassgrad der gebauten Folienkonstruktion erreicht einen Wert von 74 %. Das ist, insbesondere für die Optimierung der Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung in der Heizperiode, ein sehr guter Wert. Im Zuge der Planungen wurde überlegt, eine Bedruckung der Folie zu realisieren, um große Überhitzungen im Sommer zu vermeiden. Dies hätte aber auch zu einer Verringerung des Energiedurchlassgrades und weniger Strahlungsgewinnen in der Heizperiode geführt. Auf die Bedruckung wurde verzichtet und die hochsommerliche „Kühl“-Lösung wird nun mittels Durchströmung durch Öffnung der Fensterbänder (Süd bodennah, Nord dachnah, mit thermischem Auftrieb) und den Einsatz der ohnehin im Sommer erforderlichen Beregnungsdüsen zur Gewährleistung der gewünschten Luftfeuchte erreicht.

Die erdberührten senkrechten Wandflächen haben 18 cm Wärmedämmung (XPS, Wärmeleitfähigkeit  $0,04 \text{ W}/\text{mK}$ ) erhalten.

Unter dem Tropen-Manati-Haus, auch unter den Wasserbecken, wurde aufgrund statischer Erfordernisse kein Polystyrol, sondern ein Glasschaumschotter (Wärmeleitfähigkeit  $0,08 \text{ W}/\text{mK}$ ) mit 30 cm Dicke eingebaut. Der U-Wert entspricht etwa dem von 16 cm Polystyrol.

Die wenigen Außenwandflächen gegen Außenluft haben 16 cm Wärmedämmung (EPS, Wärmeleitfähigkeit  $0,04 \text{ W}/\text{mK}$ ) erhalten.

Der beim Luftdichtigkeitstest gemessene  $n_{50}$ -Wert lag bei  $0,93 \text{ 1}/\text{h}$  und liegt damit unter dem Zielwert der städtischen Standards für Gebäude mit Lüftungsanlagen von  $1,0 \text{ 1}/\text{h}$ , siehe auch Anlage.

Die durchgeführten Thermografieuntersuchungen (siehe Anlage) bestätigen den gebauten sehr guten Wärmeschutzstandard.

Im Nachhinein betrachtet wäre es möglich und u.U. sinnvoll gewesen, die Wärmedämmung an den opaken Außenwandflächen gegen Außenluft noch etwas dicker, z.B. mit 20 bis 24 cm, auszuführen. Allerdings beträgt der Anteil dieser Flächen lediglich etwa 4 % an der Gesamthüllfläche des Manatihauses. Eine Abschätzung der Wirkung auf eine weitere Reduzierung der Wärmeverluste ist schwierig.

Die Mehrkosten für die Wärmedämmung der opaken Wand- und Bodenflächen, der Glasfassaden und des Foliendaches gegenüber dem Stand der Technik werden unter Punkt 5 erläutert.

## 2. Anlagentechnik

### a) Abwärmenutzung Ozonerzeuger

Die Abwärme des den Eiweißabschäumern 1-3 vorgeschalteten Ozonerzeugers 1 mit ca. 17,4 KW Nennleistung (Betriebsleistung ca. 7,8 kW) wird mittels Umwälzpumpe und Plattenwärmetauscher ganzjährig ins Manatibeckenwasser eingeleitet, automatisch bei Anforderung der Ozonanlage von der Wasseraufbereitung (max. Ozonproduktion 1.058 g/h). Würde die Abwärme nicht dem Heizungskreislauf zugeführt, müsste der Ozonerzeuger aktiv gekühlt werden, um seine Betriebsbereitschaft zu gewährleisten. Die Nutzung dieser Abwärme und der damit verbundene Verzicht auf Kühlung des Aggregates ist nicht Stand der Technik.

Diese Anlage verfügt über eine eigene Steuerung für vollautomatischen Betrieb. Die durchschnittliche tägliche Laufzeit betrug etwa 5 Stunden.

Die Kosten der Nutzung der Abwärme des Ozonerzeugers werden unter Punkt 4 erläutert.

### b) Spülwasserrückgewinnung

Zur dauerhaften Sicherstellung ihrer Funktion müssen die Mehrschichtfilter regelmäßig durch Rückspülung mit Wasser und Luft gereinigt werden (Spülprogramm, Manatifilter ca. zweimal wöchentlich). Der vorgehaltene Spülwasserbehälter für die Manatianlage wird aus der Ultrafiltrationsanlage mit Reinwasser aus dem Manatikreislauf bzw. mit Brunnenrohwas-ser aus den tiergarten eigenen Brunnen befüllt.

Das bei den Spülungen anfallende Schlammwasser enthält ungelöste Stoffe in überwiegend absetzbarer Form und wird in einem Klärbehälter zwischengespeichert. Nach einer Absetzzeit von ca. 3 Stunden wird das Klarwasser über einen schwimmenden Ablauf kurz unter der Wasseroberfläche abgezogen und der Spülwasserrückgewinnung zugeleitet.

Mittels einer aufwändigen Ultrafiltrationsanlage (UF-Anlage) mit insgesamt 12 Membranmodulen wird das Klarwasser wieder aufbereitet und in den Wasserkreislauf zurückgeführt (Rückgewinnungsrate bis zu 95 %).

Die UF-Anlage verfügt über eine autarke Steuerung der internen Aggregate, welche über eine Busverbindung an die Hauptsteuerung angebunden ist. Über die Hauptsteuerung wird ein Initiativsignal an die Steuerung der UF-Anlage abgesetzt, wenn Aufbereitungsbetrieb erforderlich ist. Die entsprechend zugeordnete Ableitung der in der Rückspülung der UF-Anlage anfallenden Wässer erfolgt automatisch über diese autarke Steuerung.

Zusätzlich kann die UF-Anlage auch in die Kreislaufwasseraufbereitungen einbezogen werden, jeweils als Parallelschaltung zur Flockungsfiltration. Dazu muss die UF-Anlage einem der beiden Kreislaufwasserströme (Salz- oder Süßwasser) zugeordnet werden.

Leistung der Ultrafiltrationsanlage:

Schlammwasseraufbereitung aus Auffangbehälter: 21,6 m<sup>3</sup>/h

Klarwasseraufbereitung aus Klärbehälter: 24 m<sup>3</sup>/h

Kreislaufwasseraufbereitung aus Becken: 42 m<sup>3</sup>/h

Die Rückgewinnung des Spülwassers der Wasseraufbereitung ist sehr aufwendig. Sie wird jedoch nicht immer bei vergleichbaren Projekten, z.B. auch im Schwimmbadbau eingesetzt. Sie verringert den Aufwand für Frischwasser erheblich, senkt aber auch die Abwassermenge und reduziert damit erheblich die zukünftig voraussichtlich stärker steigenden Wasser- und Abwasserkosten.

Die Kosten der Spülwasserrückgewinnung werden unter Punkt 5 erläutert.

### c) Optimierung der Beleuchtung

Das Tropen-Manati-Haus verfügt über relativ viel transparente Hüllfläche; Anteil Glasfassaden und Dach an der Hüllfläche etwa 48 %. In den Hauptbesuchszeiten ist deshalb kaum zusätzliches Kunstlicht nötig. Lediglich bei schlechten Wetterverhältnissen bzw. Veranstaltungen und im Havariefall wird zusätzliche künstliche Beleuchtung erforderlich.

Die busgesteuerte Elektroinstallations- und Beleuchtungsanlage wurde wie folgt realisiert:

Der Besucherweg im Manatihaus ist in Form einer Holzstegkonstruktion ausgeführt, so dass die Besucher zum Teil über den Wasserflächen geführt werden. Dessen Beleuchtung wurde über acht pollerähnliche Leuchten realisiert (Standfuß aus Holz inkl. Doppelsteckdose, aufgesetzt eine eingekapselte Standard-Wandeinbauleuchte, Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell).

Um den Besuchern des Blauen Salons eine Unterwassereinsicht in das Manatibecken zu ermöglichen, wurden vor den Scheiben 9 überflutbare LED-Strahler installiert (Leistung je 36 W, Leuchtdioden Eff.kl. A, Schaltungsart manuell).

Zur Arbeits-/Havariebeleuchtung wurden in allen vier Ecken des Manatihauses je ein Scheinwerfer angebracht (Leistung je 1000 W, Halogenlampe Eff.kl. D, manuelle Schaltung).

Zur Realisierung von Effektbeleuchtungen im Pflanzenbewuchs des Manatihauses dienen insgesamt 10 Erdspeißleuchten mit wechselbaren, farbigen Vorsatzscheiben (Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell).

Im Schleusenbereich „Felsentunnel“ (Zugang zum Manatihaus) wurden 12 Wandeinbauleuchten in die betonierten Wände eingesetzt (Leistung je 18 W, Leuchtstofflampe Eff.kl. B, Schaltungsart manuell). An der Hinterwand des Zuganges befindet sich ein Pflanzbeet, welches mittels 44 Decken- und Wandstrahlern beleuchtet werden sollte (Leistung je 70 W, Halogenlampe Eff.kl. D, Schaltungsart manuell); dieses wurde jedoch nicht realisiert.

Für die Beleuchtungsstärke gab es außer für die Wegebeleuchtung ( $\geq 2$  lx in der Wegeachse) keine Anforderungen.

Aufgrund unterschiedlicher Beleuchtungsszenarien wurde auf eine starre Zeitsteuerung verzichtet, da bei Veränderungen der Besuchszeiten bzw. bei geringer Besucherfrequenz der manuelle Eingriff flexibler erfolgen kann.

Der wesentlichste Punkt der Beleuchtungsoptimierung ist die umfassende Tageslichtnutzung und der Verzicht auf Pflanzenlampen.

Der verwendeten Beleuchtungskörper und –steuerungen entsprechen dem Stand der Technik; direkte Mehrkosten für die Beleuchtungsoptimierung sind demnach nicht angefallen.

### d) Messtechnische Komponenten

Das Projekt wird bis etwa 2014 (drei Jahre nach Fertigstellung) messtechnisch begleitet. Dies dient zum einen zur Verifizierung der rechnerischen Vorhersagen des Heizenergie- und Stromverbrauchs und damit zur Überprüfung der Berechnungs- und Planungswerkzeuge und zum anderen zur Ermittlung des Nutzerverhaltens und zur Feststellung von Schwachstellen, insbesondere auch bei den Regelungsparametern. Die entsprechenden Komponenten wurden hierfür geplant und realisiert.

Eine zentrale gewerkeübergreifende Gebäudeleittechnik (Kieback+Peter DDC4000) dient der sicheren und effizienten Betriebsführung und führt alle TGA-Komponenten zusammen. Sie regelt und steuert den Betrieb der heizungs- und lüftungstechnischen Anlagen und ist als BACnet-Controller ausgeführt, welcher die Anforderungen nach ISO 16484-6 und die Kon-



formität nach ISO 16484-5:2007 erfüllt. Weiterhin werden Betriebs- und Störmeldungen erfasst und dokumentiert. Alle Sollwerte, Istwerte sowie Verbrauchswerte können von der GLT registriert und archiviert werden, Trendaufzeichnungen sind möglich.

Die relevanten bzw. erfassten Daten sind die externen Wetterbedingungen, die Raum- und Beckenwasserkonditionen (v.a. Manatihaus), der Strom-, Energie- und Wasserverbrauch, die Regelparameter der haus- und wassertechnischen Anlagen und der Fenster.

Die GLT besteht im Wesentlichen aus vier Informationsschwerpunkten (ISP):

Über die ISP01 werden die Heizkessel, das BHKW, der Heizungsverteiler, die Solaranlage und die Beckenwärmetauscher gesteuert und geregelt.

Die unter ISP02 geführte MSR-Einrichtung ist vorwiegend für die Fenstersteuerung des Manatihauses zuständig; untergeordnet verschiedene Ablüfter sowie die Fußbodenheizung Blauer Salon. Im Notstrombetrieb werden über den ISP02 die Fenster und die Lüftungsanlage Manatihaus sowie die notwendigen Heizungspumpen weiter betrieben.

Eine Wetterstation auf dem Dach misst die Hauptklimaparameter.

Die ISP03 regelt für die Nebenraumspange den Heizungsverteiler, die Lüftung Duschen/Umkleiden, die Lüftung WCs und die Regelung der Traglufthalle.

Die ISP04 steuert in der Nebenraumspange den Heizungsverteiler Affenbergcafe, die Lüftung von Küche sowie Gastraum.

Für die messtechnische Begleitung wurde weiterhin ein Zählerkonzept realisiert, welches neben den Hauptzählern für die Medien Gas, Strom und Wasser weitere Nebenzähler je Anlage, Bauteil bzw. Informationsschwerpunkt beinhaltet.

Für die Messwerterfassung und –auswertung ist ein GLT-Rechner im Technikraum UG eingerichtet. Die Daten werden von dort über das städtische Intranet an den PC des zuständigen Mitarbeiters des Kommunalen Energiemanagements weitergeleitet und von diesem regelmäßig analysiert (z.B. Trendanalyse) und ausgewertet. Das Technikpersonal des Tiergartens überprüft den Betrieb der Anlagen vor Ort (Störungen) und ändert Sollwert- oder Zeiteinstellungen je nach Erfordernis und in direkter Absprache mit KEM.

Die Kosten für zusätzliche Zähler und MSR-Komponenten für das Monitoring und die Betriebsoptimierung werden unter Punkt 5 erläutert.

### **3. Energieverbräuche im ersten Betriebsjahr**

Die Zielwerte aus dem Jahre 2008 für Wärme und Strom werden für den Neubau des Tropen-Manati-Hauses im ersten Betriebsjahr noch nicht erreicht. Der deutliche Unterschied, vor allem des Heizenergieverbrauches gegenüber dem Werten des ersten Planungskonzepts 2005 ist erkennbar, vgl. Diagramm II/1. Allein schon die Festlegung der anspruchsvollen Ziele und deren planerische Umsetzung reduzieren die Verbräuche gegenüber der Standardplanung erheblich. Die höheren Verbräuche im ersten Betriebsjahr gegenüber der Zielsetzung belegen allerdings die Notwendigkeit für weiteres Monitoring mit zielstrebigem Betriebsoptimierung.

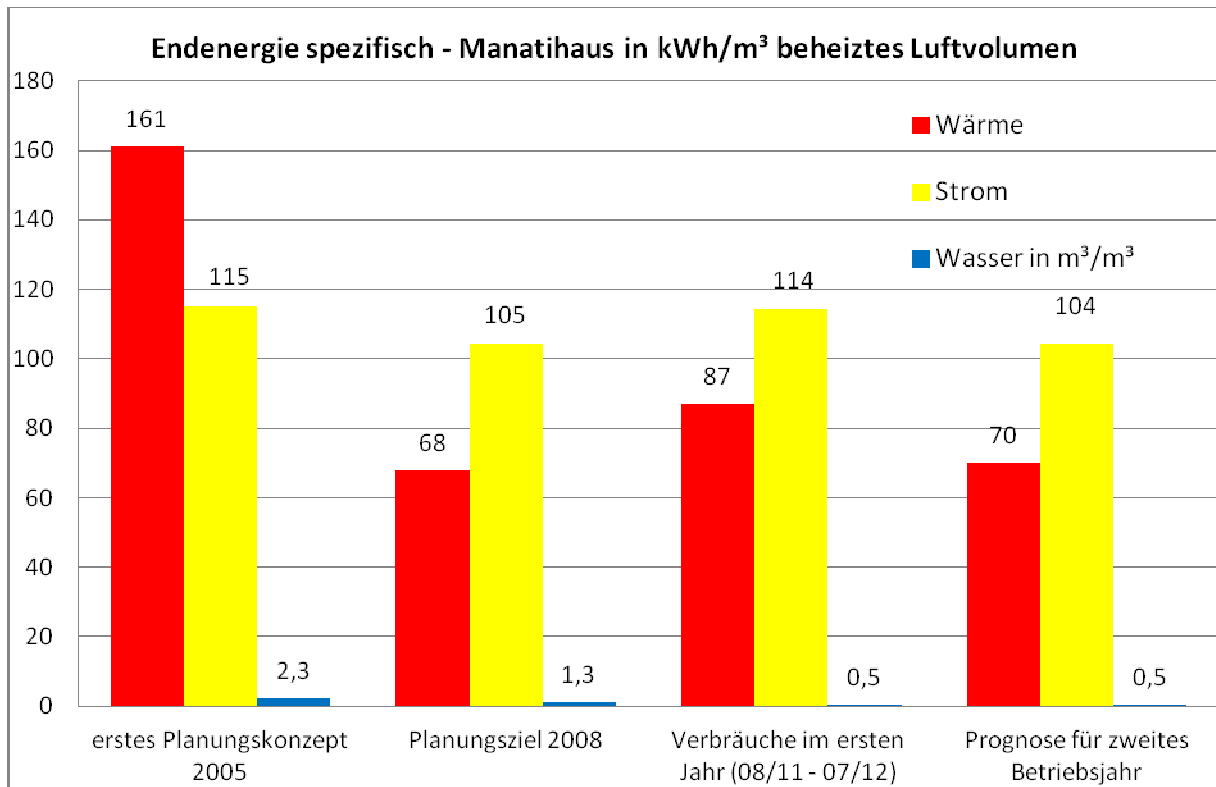


Diagramm II/1: Entwicklung der Endenergieverbräuche Tropen-Manati-Haus

Mit dem Optimierungskonzept (Planungsziel 2008) war für das Tropen-Manati-Haus eine Unterschreitung des Heizenergieverbrauches gegenüber dem Stand der Technik (erstes Planungskonzept 2005) um etwa 58 % und beim Stromverbrauch um etwa 10 % angestrebt. Erreicht wurden im ersten Jahr bei der Heizenergie etwa 46 % und bei Strom etwa 1 % Unterschreitung gegenüber dem Stand der Technik. Dies ist auf Mehrverbräuche bei Heizung und Strom gegenüber dem Planungsziel zurückzuführen.

Eine realistische Prognose für das zweite Jahr geht davon aus, dass beim Stromverbrauch die Zielstellung erreicht werden kann und bei Heizenergie nur noch eine Überschreitung der Zielstellung um etwa 5 % erfolgt; Erläuterungen siehe auch Punkte 5 und 6.

Für Wasser und Abwasser war eine Unterschreitung gegenüber dem Stand der Technik um etwa 45 % angestrebt. Erreicht wurden im ersten Jahr bereits etwa 77 %. Das ist vor allem auf die sehr gut funktionierende Spülwasserrückgewinnung zurückzuführen.

#### 4. Ökologische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik

Verglichen werden die Sollwerte für Heizungs- und Strombedarf gemäß erstem Planungskonzept 2005, welches im Wesentlichen dem Stand der Technik entspricht, dem formulierten Optimierungs- bzw. Planungsziel 2008 und die tatsächlichen Verbräuche im ersten und eine Prognose für das zweite Betriebsjahr.

Den Bedarfen und Verbräuchen für Heizung und Strom in kWh sind jeweils die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zugeordnet: Wärme 0,214 kg/kWh, Strom 0,600 kg/kWh.

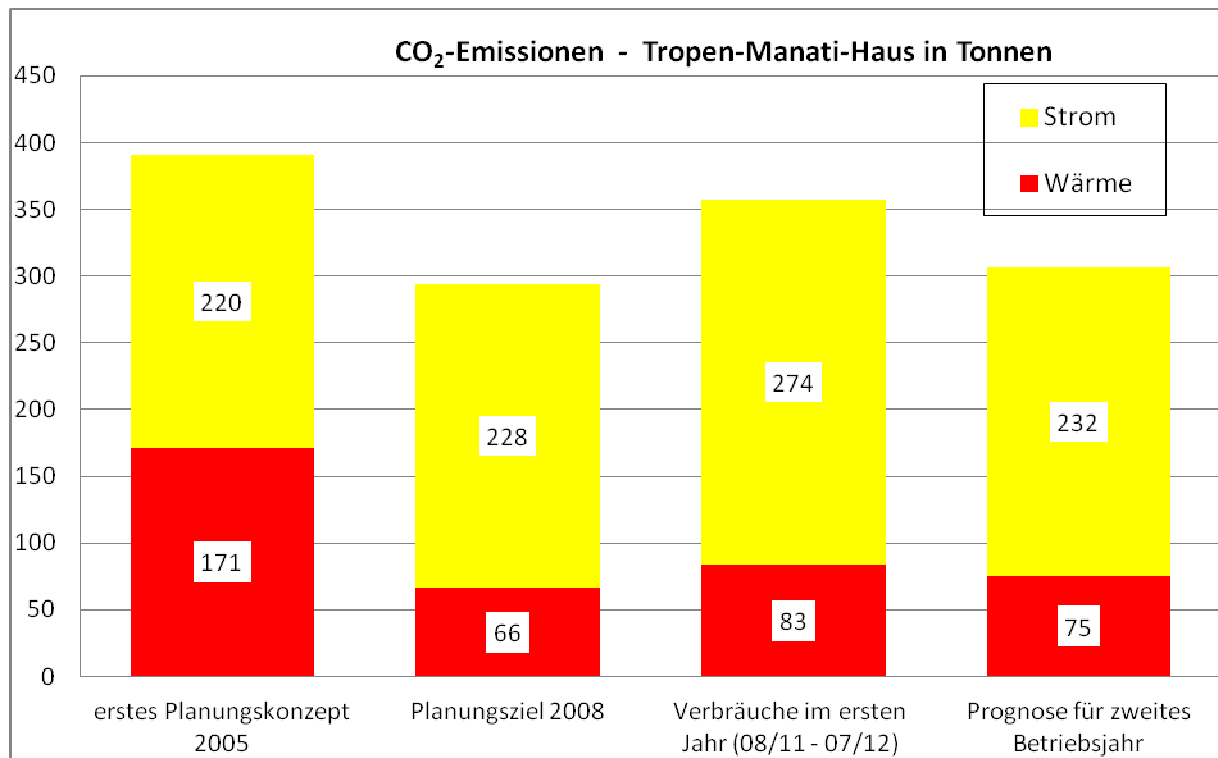


Diagramm II/2: Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen Tropen-Manati-Haus

Mit dem Optimierungskonzept (Planungsziel 2008) war für das Tropen-Manati-Haus eine Unterschreitung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Stand der Technik (erstes Planungskonzept 2005) um etwa 25 % angestrebt. Erreicht wurden im ersten Jahr lediglich etwa 9 % Unterschreitung. Dies ist auf Mehrverbräuche bei Heizung und Strom sowie einer geringere Laufzeit des BHKW gegenüber dem Planungsziel zurückzuführen.

Die Prognose für das zweite Betriebsjahr geht von einer noch geringfügigen Überschreitung des Zielwertes um etwa 4 % aus. Gegenüber dem Stand der Technik würde die Unterschreitung dann etwa 21 % betragen; Erläuterungen siehe auch Punkte 5 und 6.

Mit den Primärenergiefaktoren (Wärme 1,1 kg/kWh, Strom 2,60 kg/kWh (EnEV 2009)) werden die Bedarfe und Verbräuche für Heizung und Strom primärenergetisch bewertet.

Auch hier ist zu erkennen, obwohl die Ziele im ersten Betriebsjahr noch nicht erreicht werden konnten, dass die Verbrauchswerte deutlich unter den ursprünglichen Planungswerten aus dem Jahr 2005 liegen.

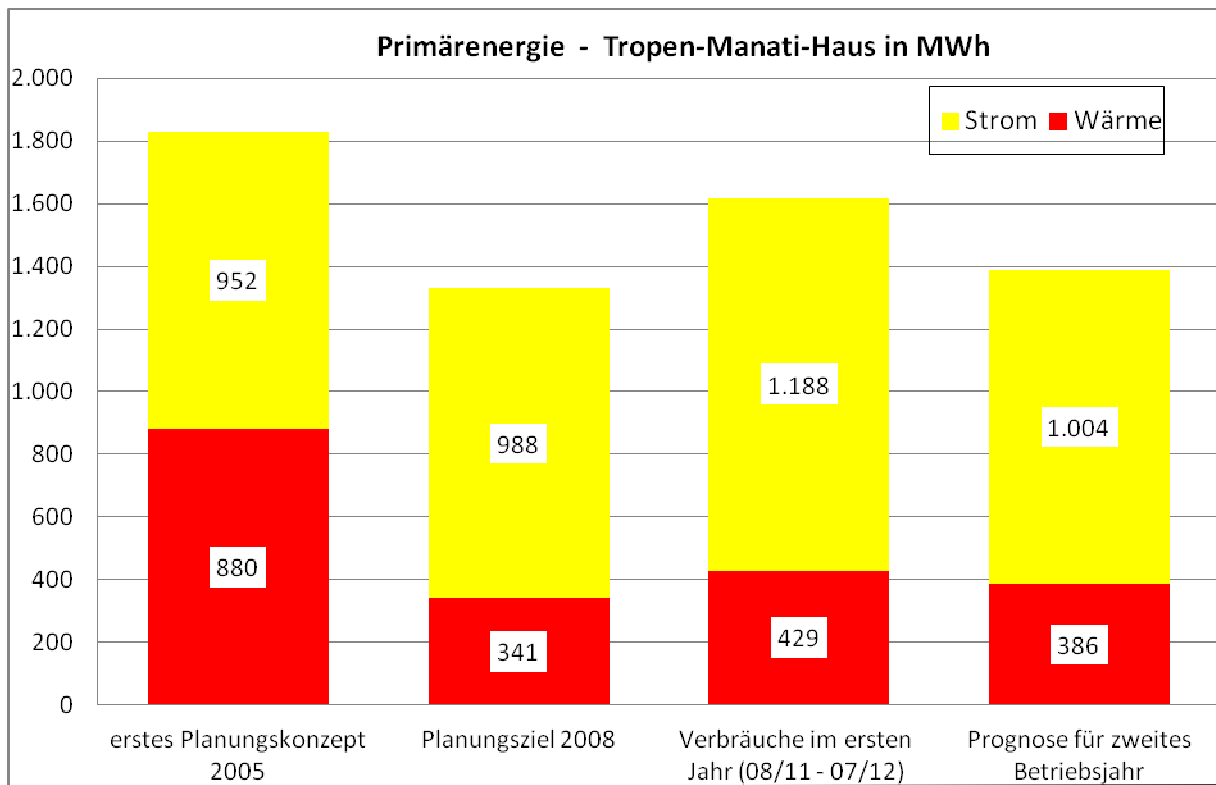


Diagramm II/3: Primärenergetische Bewertung Tropen-Manati-Haus

Mit dem Optimierungskonzept (Planungsziel 2008) war für das Tropen-Manati-Haus eine Unterschreitung des Primärenergiebedarfes gegenüber dem Stand der Technik (erstes Planungskonzept 2005) um etwa 27 % angestrebt. Erreicht wurden im ersten Jahr lediglich etwa 12 % Unterschreitung. Dies ist auf Mehrverbräuche bei Heizung und Strom sowie einer geringeren Laufzeit des BHKW gegenüber dem Planungsziel zurückzuführen.

Die Prognose für das zweite Betriebsjahr geht von einer noch geringfügigen Überschreitung des Zielwertes um etwa 5 % aus. Gegenüber dem Stand der Technik würde die Unterschreitung dann etwa 24 % betragen; Erläuterungen siehe auch Punkte 5 und 6.

## 5. Ökonomische Bilanzierung in Abgrenzung zum Stand der Technik

Um eine Vergleichbarkeit der Kosten bezogen auf die spezifischen Preise für Energie und Wasser zu gewährleisten, werden für alle betrachteten Jahre folgende spezifischen Kosten zu Grunde gelegt: Heizung 0,07 EUR/kWh, Strom 0,17 EUR/kWh, Wasser 1,64 EUR/m<sup>3</sup>, Abwasser 1,99 EUR/m<sup>3</sup>.

Im Diagramm II/3 ist die Entwicklung der Energiekosten gemäß erstem Planungskonzept 2005, dem festgelegtem Planungsziel 2008 und den tatsächlichen Verbräuchen des ersten sowie einer Prognose für das zweite Betriebsjahr dargestellt.

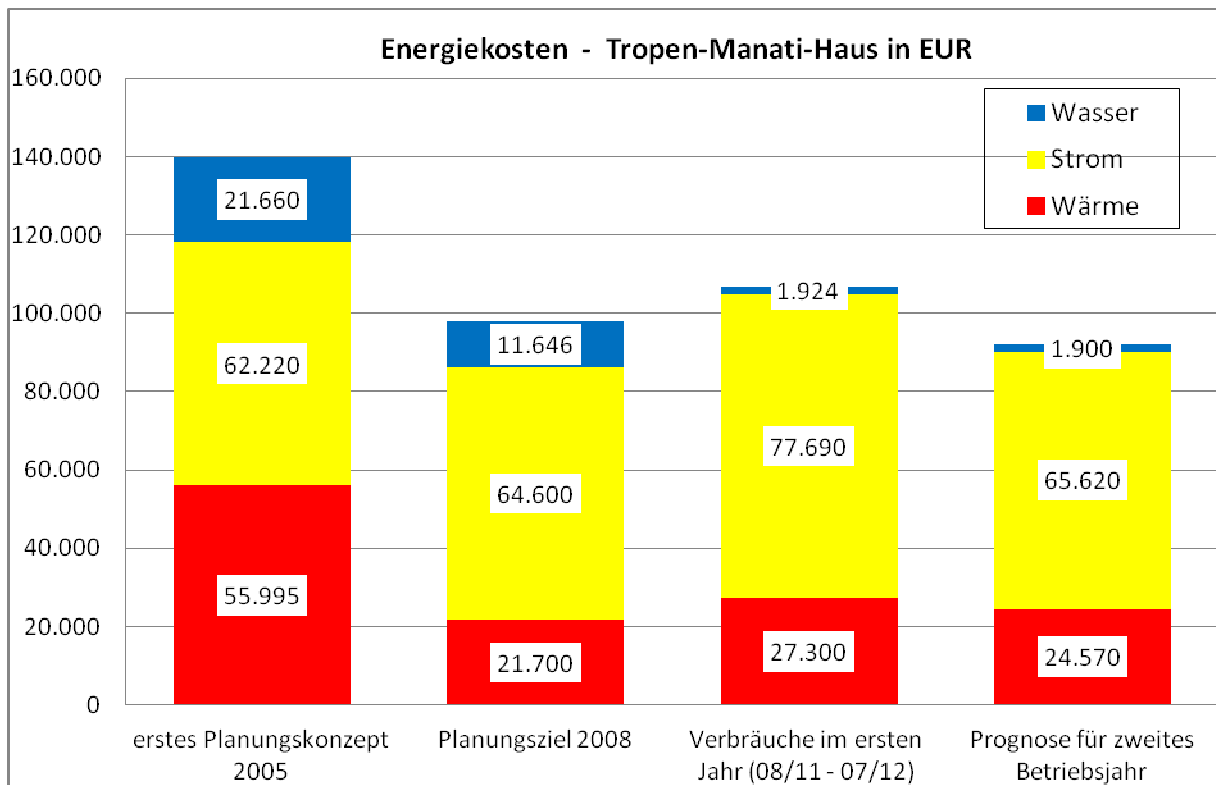


Diagramm II/4: Energiekosten für Wärme und Strom Manatihaus

Mit dem Optimierungskonzept (Planungsziel 2008) war für das Tropen-Manati-Haus eine Reduzierung der Kosten für Energie und Wasser gegenüber dem Stand der Technik (erstes Planungskonzept 2005) um etwa 30 % angestrebt. Erreicht wurden im ersten Jahr etwa 24 % Reduzierung.

Die absoluten Einsparungen betragen bei den Wasserkosten rund 20.000 EUR im ersten Betriebsjahr. Bei den Kosten für Gas konnten rund 29.000 EUR eingespart werden. Die Stromkosten im ersten Betriebsjahr liegen noch etwa 15.000 EUR über der Ausgangssituation.

Dies ist auf Mehrverbräuche bei Heizung und Strom sowie einer geringere Laufzeit des BHKW gegenüber dem Planungsziel zurückzuführen.

Die Prognose für das zweite Betriebsjahr geht erreichbaren Einsparungen von insgesamt etwa 47.000 EUR pro Jahr aus. Dies würde dann einer Kostenreduzierung für Energie und Wasser gegenüber dem Stand der Technik um etwa 34 % entsprechen; Erläuterungen siehe auch Punkte 5 und 6.

Die Gesamtinvestitionskosten für das Tropen-/Manatihaus betragen etwa 8 Mio. EUR brutto. Folgende geförderten Mehrkosten sind für die Ausführung gegenüber dem Stand der Technik (erstes Planungskonzept von 2005) angefallen:



	Mehrkosten je brutto	Bemerkungen
Glasfassaden	31.326,75 EUR	Rechnung Möller 24.06.2011; Ansatz Mehrkosten (BKI) 77,35 EUR/m <sup>2</sup> ; 405 m <sup>2</sup> gemäß Rechnung; entspricht ca. 21%
Foliendach	74.247,65 EUR	Mehrkosten für vierlagige Folie gegen dreilagiger Ausführung 30% von Rechnungssumme angesetzt (Rechnung Vector Foiltec GmbH 29.09.2011:247.492,92 EUR)
Wärmedämmung opake Flächen	21.256,58 EUR	Rechnung Wolff & Müller 06.12.2011: 281,79 EUR Mehrkosten senkrechte Dämmung Seite 16 und 20.974,79 EUR Mehrkosten waagerechte Dämmung Seite 49
Blower-Door-Test	1.011,50 EUR	Rechnung Stör & Steinbauer 02.12.2011
Thermografieuntersuchung	510,00 EUR	10 Stunden Anlaufs in 2012, incl. Gemeinkosten
Abwärmenutzung Ozonerzeuger	6.454,93 EUR	nur direkte Kosten; Rechnung Brochier 28.10.2011
Spülwasserrückgewinnung	88.023,85 EUR	Gesamtsumme für Spülwasserrückgewinnung 345.491,01 EUR, Rechnung WTA 30.06.2011; Anteil Manatihaus an Gesamtprojekt 21,41% gemäß Objektplan
Zähler/MSR-Komponenten	31.326,75 EUR	Rechnungen Brochier 28.10.2011 und Kieback+Peter 22.11.2011 Rechnung KTK 09.09.2011
Personalkosten Hochbauamt für Optimierung Planung, Monitoring, Betriebsoptimierung	37.717,00 EUR	gemäß Stundenabrechnungen 2009 bis 2012
Summe	291.774,34 EUR	

Tabelle II/2: Auflistung gesamte Mehrkosten für verbesserte Ausführung gegenüber dem Stand der Technik

Die Mehrkosten von rund 290.000 EUR sind mit den im ersten Jahr realisierten Einsparungen von rund 33.000 EUR ins Verhältnis zu setzen. Es ergibt sich eine statische Amortisationszeit von etwa 9 Jahren.

Werden nur die Investitionskosten für die Verbesserung von Gebäudehülle und Anlagentechnik bezüglich Energie (Abwärmenutzung Ozonerzeuger, MSR-Komponenten) von 164.500 EUR betrachtet und dazu die Einsparung bei Energie von rund 13.200 EUR betrachtet, ergibt sich eine statische Amortisationszeit von etwa 12 Jahren.

Der Aufwand für die Spülwasserrückgewinnung von rund 88.000 EUR erbringt im ersten Jahr bereits rund 14.000 EUR Kosteneinsparung für Abwasserkosten, was einer statischen

Amortisationszeit von 6,3 Jahren entspricht.

Es lässt sich sagen, dass die Mehrkosten zur Verbesserung der Gebäudehülle und von Teilkomponenten der Anlagentechnik in Höhe von etwa 4% sehr wirtschaftlich sind. Bei Erreichen der anvisierten weiteren Reduzierung, insbesondere der Strom- und Gaskosten, wird sich dieses Verhältnis noch weiter verbessern.

Vor allem der vergleichsweise sehr gute Wärmeschutzstandard der Gebäudehülle wirkt sich positiv aus und realisiert nachhaltige Einsparungen.

## 6. Erläuterung und weitere Schritte

Geplant und gebaut wurde ein Tropenhaus, in welchem hauptsächlich Seekühe (Manatis) leben. Die Temperatur- und Feuchteanforderungen sind denen im Gewächshausbau für Pflanzen und Botanische Gärten sowie für analoge Tierhäuser vergleichbar. Die gewonnenen Erkenntnisse sind dahingehend entsprechend übertragbar.

Die Zielstellung für das Tropen-Manati-Haus war sehr anspruchsvoll. Die mit Optimierungs- und Planungskonzept 2008 angestrebten Energieverbräuche wurden im ersten Betriebsjahr jedoch noch nicht vollständig erreicht. Dennoch ergibt sich eine ansprechende Verbrauchsreduzierung gegenüber dem ersten Planungskonzept 2005, welches als Stand der Technik angesehen werden kann. Beim Wasserverbrauch konnten die Planungsziele sogar übertroffen werden. Die Nutzung von Grundwasser und die sorgsame Wassernutzungsplanung gewährleisten im Betrieb niedrige Wasserverbräuche und Abwasserkosten.

Die Ursachen für die Mehrverbräuche bei Gas und Strom liegen hauptsächlich begründet in:

- Kürzere Laufzeiten des BHKWs als geplant.
- Kürzere Laufzeiten des Ozonerzeugers als geplant.
- Abweichungen von der geplanten Betriebsweise hinsichtlich der Temperaturen (Lufttemperatur statt 27°C teilweise 29 bis 30°C mit Auswirkungen auf den Heizenergieverbrauch) und des Umfangs der Wasseraufbereitung (zur Keimminimierung im Wasser wurde fast das ganze erste Jahr mit voller Leistung der Wasseraufbereitung gefahren mit Auswirkungen auf den Stromverbrauch der Pumpen).
- Ungünstig geplantes Wärmeerzeugermanagement und Gesamtregelstrategie: Die Optimierungsphase ist hier noch nicht abgeschlossen; im ersten Betriebsjahr erfolgte hauptsächlich eine Mängelbeseitigung bzw. die Minimierung von Schwachstellen, die vor allem im planerischen Bereich lagen. Eine Betriebsoptimierung war daher nur in Teilbereichen möglich. Im zweiten Betriebsjahr stehen die Optimierung des Zusammenspiels der einzelnen Wärmeerzeuger sowie die Optimierung der Regelungseinstellungen im Vordergrund.
- Zu geringe Erträge der Solarthermieanlage im Vergleich zu den Möglichkeiten auf Grund von Planungsmängeln und ungünstiger Regelstrategie.

Durch den Einbau (teilweise verspätet) ausreichend dimensionierter Verbrauchszähler aller Sparten und einer Visualisierung der Gebäudeleittechnik mit Trendaufzeichnungen sowie entsprechenden Auswertemöglichkeiten sind sehr gute Grundlagen für das weitere Monitoring geschaffen. Die Betriebsoptimierung im zweiten Betriebsjahr konzentriert sich auf folgende Punkte:

- Verbesserung des Wärmeerzeugermanagements und der Gesamtregelstrategie zwecks Vorrang Solarthermie und Wärme aus dem BHKW: Ziel etwa 5 % weitere Verbrauchsreduzierungen.

- Erhöhung des Anteils der Wärme aus der Solarthermieanlage: Ziel Steigerung des Solarenergieertrages um etwa 20 %.
- Längere Laufzeit des BHKW um etwa 20 %.
- Optimierung der Regelungseinstellungen hinsichtlich energiesparender Betriebsweise, speziell der Solltemperaturen und der Betriebsintensität der Wasseraufbereitung: Ziel etwa 10 % weitere Verbrauchsreduzierungen.

Im Diagramm II/5 sind für die Bedarfsplanung und die Verbrauchsentwicklung die Anteile der einzelnen Energiearten aufgeschlüsselt dargestellt.

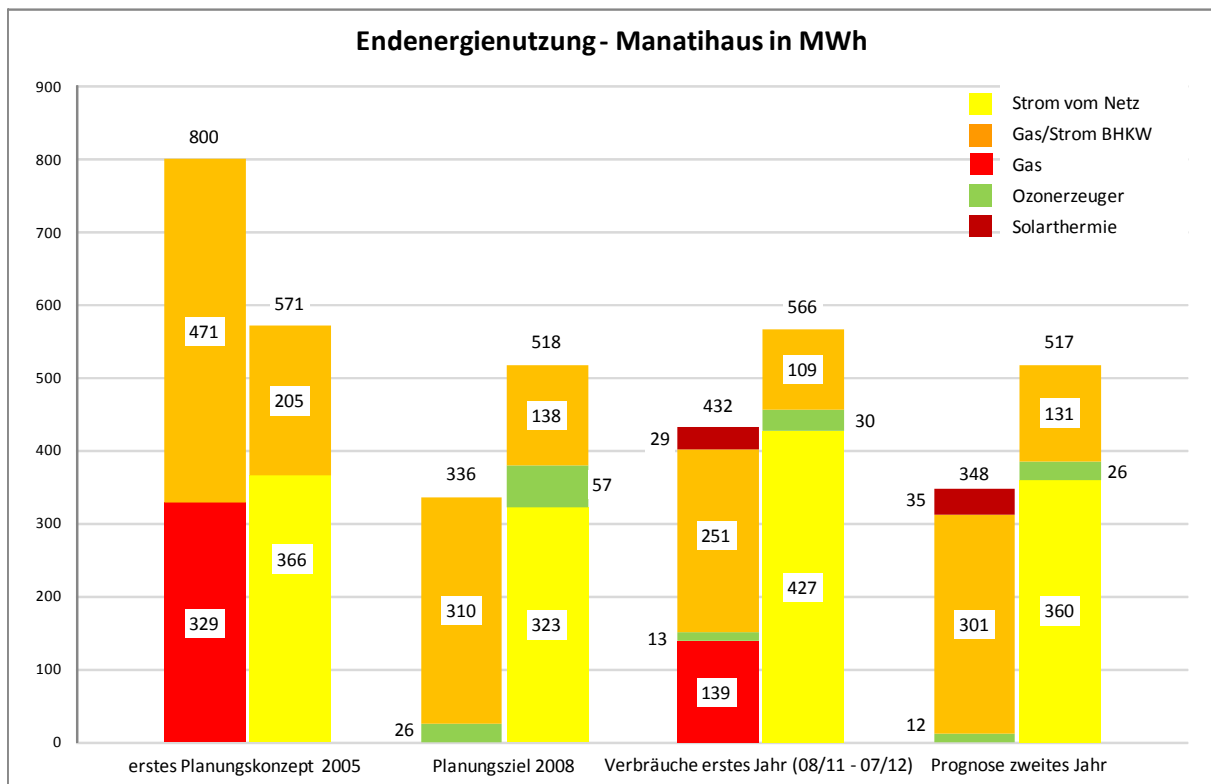


Diagramm II/5: Entwicklung der einzelnen Energiearten am Gesamtendenergiebedarf und -verbrauch Tropen-Manati-Haus

Aus der Arbeitsrichtung für das zweite Betriebsjahr sollen sich dann weitere Einsparungen bei den Kosten für Energie und Wasser ergeben. Nach der Prognose ist es realistisch, dass die Zielstellung des Planungskonzeptes aus 2008 bereits ab dem zweiten Betriebsjahr erreicht werden kann.

Die Kosteneinsparungen (bezogen auf das Basisjahr) würden sich damit bei etwa 48.000 EUR pro Jahr gegenüber dem Stand der Technik bewegen; siehe auch Diagramm II/4. Im Diagramm II/6 sind die dazugehörigen zu bezahlenden Endenergieverbräuche gegenübergestellt.

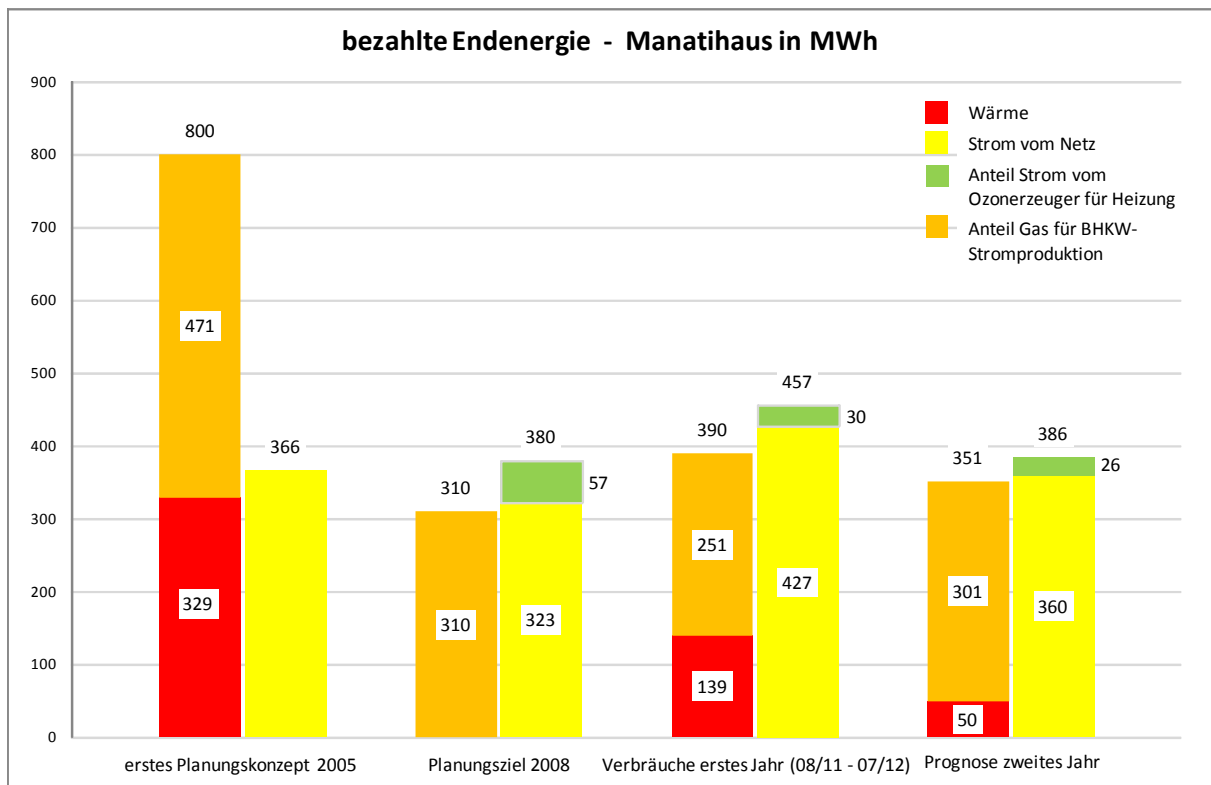


Diagramm II/6: Entwicklung der Kosten für Energie und Wasser Tropen-Manati-Haus

Fazit: Die Verbräuche im ersten Jahr belegen, dass man um einiges besser, als der Stand der Technik beschreibt, bauen kann. Insbesondere ist eine sehr gute Wärmedämmung der Hülle notwendig für die Möglichkeit nachhaltig niedriger Heizenergieverbräuche. Einen sehr wesentlichen Anteil haben aber auch grundsätzliche Überlegungen, wie Kompaktheit, Lage und Anordnung des Baukörpers, der Anteil und die Ausführung der transparenten Flächen und die Festlegung der Raumklimaanforderungen (Temperatur, relative Luftfeuchte). Vor allem bei den hochtemperaturigen Anforderungen lohnt sich „handeln“ mit dem Nutzer um jedes Grad und um jeden Quadratmeter/-volumen beheizter Fläche/Volumens, egal ob Luft oder Wasser.

Bereits die Energieverbräuche im ersten Betriebsjahr zeigen deutliche Einsparungen gegenüber dem Stand der Technik, die sich bereits auch mit den Verbräuchen des ersten Jahres amortisieren. Dennoch ist klar, dass bei solch einer komplexen Bauaufgabe und der anspruchsvollen energetischen Zielstellung das erste Betriebsjahr überwiegend zur Mängelbeseitigung benötigt wird. Betriebsoptimierungen können in aller Regel erst danach ansetzen. Die Berücksichtigung der notwendigen Infrastruktur für ein Monitoring schafft vor allem auch für eine gezielte Mängelbeseitigung sehr wichtige Voraussetzungen. Speziell bei so hochkomplexen Anlagen erweist sich die Vereinbarung bzw. Festlegung auf Effizienzkriterien, wie im vorliegenden Fall, als erfolgreiche und verallgemeinerungswürdige Maßnahme.

Von großer Wichtigkeit ist, geeignete Haustechnikplaner auszuwählen. Für die komplexe Wasseraufbereitung wird ein spezialisiertes Büro benötigt. Solche Büros haben ihre Kompetenzen i.d.R. dann nicht im Bereich Heizung/Lüftung/Beleuchtung. Für den Bereich Heizung und Lüftung wird auch ein spezialisiertes Büro, insbesondere mit Kompetenzen im energieeffizienten Gewächshausbau benötigt.



## Literaturverzeichnis

- [Rath10] RATHLEV, J.: *Physikalisches Praktikum für Anfänger*, Internet-pdf, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der Universität Kiel, Mai 2010.

## Anhänge

Grundrisse  
Schnitte  
Zählerübersicht  
Pumpenliste  
MSR-Anlagenschema Heizung  
MSR-Anlagenschema Lüftung Manatihaus  
Anlagenschema Wasseraufbereitung Manatihaus  
Schema Struktur Gebäudeleittechnik  
Thermografierereport  
Ergebnisbericht Blower-Door-Test