



Abschlussbericht (Kurzfassung)

Monitoring Fassadenkonstruktion aus Photobioreaktoren am Pilotprojekt
BIQ auf der IBA 2013 in Hamburg

Projektleitung:

Dr. Jan Wurm

Projektmanagement:

M.Sc. Martin Pauli

Konsortialpartner:

SSC Strategic Science Consult

Dr. Martin Kerner

Dr. Stefan Hindersin

Hafencity Universität

Prof. Dr. Ingrid Breckner

Dr. Stefan Krümmel

Colt International

Dipl.-Ing. Ulrich Kremer

Autoren:

Jan Wurm, Martin Pauli, Martin Kerner, Stefan Hindersin, Stefan Krümmel, Ingrid Breckner, Matthias Frechen, Timo Sengewald

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-067/SWD-10.08.18.7-13.06)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim Autor

Abschlussbericht (Kurzfassung)

Monitoring Fassadenkonstruktion aus Photobioreaktoren am Pilotprojekt
BIQ auf der IBA 2013 in Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
1. Einleitung	8
1.1 Hintergrund	
1.2 Projektbeteiligte	
2. Grundlagen	9
2.1 Projektbeschreibung	
2.2 Ablaufplanung	
2.3 Konzept und Komponenten	
2.4 Messparameter und Messtechnik	
3. Technik	12
3.1 Allgemein	
3.2 Zusammenfassung	
4. Energie	14
4.1 Allgemein	
4.2 Bilanzzeitraum	
4.3 Datengrundlage	
4.4 Bilanzen	
5. Soziologie	18
6. Ausblick	20

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht diskutiert die Ergebnisse des zweijährigen Monitorings der Photobioreaktorfassade am BIQ-Gebäude in Hamburg, welches Ende April 2013 fertiggestellt wurde. Das Monitoring begann in direktem Anschluss im Mai 2013 und endete im Mai 2015.

Diese weltweit bislang einzigartige Technologie wurde hinsichtlich ihrer technischen und energetischen Leistungsfähigkeit sowie etwaiger Korrelationen mit der Akzeptanz der Nutzer evaluiert und unter Leitung von Arup Deutschland zusammen mit den Konsortialpartnern Hafencity Universität, SSC und Colt International durchgeführt.

Grundsätzlich kann konstatiert werden, dass die Anlage entsprechend ihrer Konzeption funktioniert - im Laufe der vergangenen zwei Jahre wurden kontinuierlich Wärme und Biomasse produziert.

Vor dem Hintergrund, dass die Technologie innerhalb von nur 2 Jahren entwickelt und realisiert wurde, war anzunehmen, dass im Laufe des Betriebs zumutbare technische und energetische Anpassungen notwendig waren, um das System kontinuierlich weiter zu optimieren. Dies hatte jedoch keinerlei Auswirkungen auf die Akzeptanz der Nutzer sowie die überragende nationale und internationale Rezeption der Anlage am Forschungs- und Entwicklungsstandort Deutschland. Es ist der engen und sehr konstruktiven Zusammenarbeit des Konsortiums zu verdanken, dass bereits von Beginn des Monitorings an Probleme identifiziert und behoben werden konnten.

Hervorzuhebende technische Probleme waren:

1. Die erzielten Wärmemengen übertrafen die simulierten signifikant. Daraus resultierten zu gering dimensionierte Wärmetauscher, welche Anfang 2015 durch geeignetere ersetzt wurden. Nach dem Austausch konnte die Anlage ener-

getisch deutlich effizienter betrieben werden, und ein Standardbetrieb war technisch möglich.

2. Es entstand Korrosion an den, innerhalb des Reaktors verbauten, Aluminiumdistanzrahmen aufgrund unabsehbarer lokaler pH-Werte von bis zu 14. Dieses Problem wurde bereits im Sommer 2014 während einer Inspektion von zwei Reaktoren erkannt und im Rahmen des Konsortiums adressiert. Ein entsprechender Ersatz der Rahmen mit glasfaserverstärktem Kunststoff erfolgt im Lauf des Jahres 2015.
3. Es traten Glasbrüche an einigen Reaktoren während eines Reinigungsvorganges im Sommer 2014 auf. Die Bruchursache ist nicht mit der Reaktorkonstruktion assoziiert. Aufgrund der Sicherheitsarchitektur hatten die Brüche nur optische Auswirkungen. Die defekten Gläser wurden ausgetauscht.

Insbesondere die ersten beiden Punkte hatten signifikante Auswirkungen auf die energetische Effizienz der Anlage. Die zu gering dimensionierten Wärmetauscher führten zu einer unzureichenden Temperierung des Algenmediums mit negativen Auswirkungen hinsichtlich Wärme- und Biomasseproduktion.

Aus der Gesamtbilanz der Anlage geht hervor, dass der Energieertrag, also der kombinierte Ertrag aus Wärme und Biomasse, im Bilanzzeitraum vom 01. Jan. 2014 bis zum 31. Dez. 2014 bei 115.702 kWh lag. Der Anteil an dafür aufgewendeter Elektroenergie lag bei 13.471 kWh. Dieser Anteil wurde zum Teil durch erneuerbare Energie aus der Photovoltaikanlage gedeckt. Es ist davon auszugehen, dass der Elektroenergieaufwand durch Prozessoptimierungen noch deutlich reduziert werden kann.

Im Hinblick auf die aufgestellte Bilanz ist festzustellen, dass die Anlage nicht in allen Belangen entsprechend ihrer Konzeption betrieben wurde.

Vielmehr wurden gerade im Hinblick auf die Verwendung von Wärme Anpassungen vom Betreiber vorgenommen, um einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten.

Die Konversionseffizienz von Sonnenlicht in Wärme liegt im Mittel bei 21 % unter den Erwartungen. Die ursprüngliche Simulation sah eine Effizienz von circa 38 % vor. Es ist anzumerken, dass der Vergleich mit Solarthermieranlagen hierbei nicht zielführend ist, da das SolarLeaf System über zusätzliche Funktionen (Absorption von CO₂, Biomasseproduktion etc.) verfügt. Der Ertrag an Algenbiomasse lag bei über 600 kg pro Jahr. Der Energiegehalt der Biomasse von 4539 kWh entspricht einer energetischen Konversionseffizienz von 4,4 % im Verhältnis zur eingestrahnten Solarenergie. Ursprünglich war eine Rate von 10% simuliert. Vor diesem Hintergrund ist in Zukunft von einer deutlich höheren und konstanten Konversionseffizienz auszugehen.

Im Hinblick auf die Akzeptanz der Nutzer wurde deutlich, dass aufgrund der energetischen Entkopplung der Wohnungen, Probleme mit dem Betrieb der Anlage im Bewohneralltag nur dann wahrgenommen werden, wenn es zu Vibrationen oder Geräuschentwicklungen, Glasbrüchen oder Leckagen kommt. Die Steuerung der Anlage hat für den Wohnalltag keine Bedeutung. So konnten direkte Zusammenhänge zwischen der Nutzerakzeptanz und der technischen Leistungsfähigkeit identifiziert werden. Die energetische Leistung spielt hingegen für die Nutzerakzeptanz eine untergeordnete Rolle. Aufgrund der kontinuierlichen Anwesenheit und Erreichbarkeit des Partners SSC wurden die Bedürfnisse der Nutzer schnell erkannt und konnten in der Regel unmittelbar behoben werden. Daraus resultierend war die Akzeptanz der Nutzer im Hinblick auf das Gesamtsystem BIQ außerordentlich hoch.

Es ist festzustellen, dass die technische Machbarkeit des Konzepts und die Funktionstüchtigkeit der Glasbioreaktoren durch die Pilotanlage vollständig unter Beweis gestellt werden konnte. Allerdings wurde das Konzept der Anlage auch aus Kostengründen bei dem BIQ Pilotprojekt nicht vollständig umgesetzt (z.B. Wärmepumpen).

Die Anlage weist netto eine positive Energiebilanz auf - sie produziert also mehr Energie, als sie verbraucht. Für eine Weiterentwicklung ist es notwendig, die Effizienz weiter zu steigern, um die hohen Investitionskosten einer solchen Anlage rechtfertigen zu können. Das Potenzial für die Weiterentwicklung liegt jedoch nicht ausschließlich in der Steigerung des Nettoenergieertrags, sondern in der Produktion von hoch qualitativer Biomasse als Ressource für die Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie.

Abschließend stellt die Tatsache, dass die weltweit erste Bioreaktorfassade erfolgreich umgesetzt wurde und die Funktionstüchtigkeit der haustechnischen Systeme unter Beweis gestellt werden konnte, einen großen Erfolg dar. Das Projekt hat im deutschsprachigen Raum aber vor allem auch international zu großer Anerkennung geführt.

Das Projekt BIQ ist Ausgangs- und Bezugspunkt für eine Reihe von internationalen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, die seit der Inbetriebnahme bewilligt wurden. Das Projekt hat damit einen neuen Forschungsbereich geschaffen. Als Entwicklungskonsortium freuen wir uns, dass die Technologie auf breiter Ebene weiter erforscht und weiterentwickelt wird, um mittel- und langfristig kommerziell tragbare Systeme zu entwickeln. Das Projekt kann als weiterer Beleg für den Pioniergeist und die Innovationskraft des Wirtschafts- und Technologiestandortes Deutschland gesehen werden.

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Im Rahmen des von der Forschungsinitiative ZukunftBau geförderten Forschungsvorhabens “Hinterlüftete Fassadenkonstruktion aus Photobioreaktoren (PBR)” wurde eine neue Technologie für das Bauwesen entwickelt, welche weltweit zum ersten Mal bei dem Pilotprojekt “BIQ” im Rahmen der IBA in Hamburg 2013 umgesetzt wurde.

Das nachfolgende und in diesem Bericht dokumentierte begleitende Forschungsvorhaben untersuchte die Nutzerakzeptanz dieser technischen Neuentwicklung in Wechselbeziehung zu der technischen Gebäudequalität und den betrieblichen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung bzw. der energetischen Performance am Demonstrationsbau. Das mittel- und langfristige Ziel ist es, die Technologie in technischer, soziologischer und ökologischer Hinsicht zu optimieren, um das Produkt erfolgreich am Markt etablieren zu können. Somit schließt dieses Forschungsvorhaben eine wichtige Lücke zu dem übergeordneten energetischen Monitoring des IBA-Geländes durch das vom BMWi geförderten Verbundprojekts “EnEff:IBA 2013”.

1.2 Projektbeteiligte

Die SSC GmbH entwickelt seit Anfang 2008 in einem interdisziplinären Kontext Technologien zur Erschließung der Ressource Mikroalgen. Im Rahmen des Monitorings hat die SSC die Leistungsdaten der Bioreaktorfassade umfassend erhoben und ausgewertet.

Frau Prof. Dr. Ingrid Breckner beschäftigt sich in Lehre und Forschung im Rahmen ihrer Professur Stadt- und Regionalsoziologie an der HCU Hamburg mit allen sozialen Dimensionen der Stadtentwicklung. Im Rahmen des Monitorings hat Sie,

gemeinsam mit Dr. Stefan Krümmel die Akzeptanz der Nutzer sowie etwaige Korrelation mit der technischen und energetischen Effizienz fokussiert.

Arup Deutschland GmbH führte seit Dezember 2011 unter Leitung von Herrn Dr. Jan Wurm gemeinsam mit den Industriepartnern COLT und SSC ein von “ZukunftBau” gefördertes Forschungsvorhaben zur Entwicklung eines Fassadensystems für die Integration von Photobioreaktoren zur nachhaltigen Gewinnung von Biomasse und Wärme durch. Arup’s Rolle innerhalb des Monitoring Projektes beinhaltete primär die technische Evaluation und Optimierung des Fassadensystems.

Die Firma COLT International GmbH war als Industriepartner und Systemhersteller in das hier dokumentierte Forschungsvorhaben eingebunden. Das abgeschlossene Monitoring verdeutlichte die Notwendigkeit einen erfahrenen Industriepartner einzubinden, um kontinuierliche technische Anpassungen durchführen zu können.

2. Grundlagen

2.1 Projektbeschreibung

Im Vordergrund des durchgeführten Monitoring Projektes stand die begleitende, intensive Evaluierung und Optimierung der Energieeffizienz der Technologie im Betrieb in Wechselwirkung mit der technischen Qualität des Systems und der Rezeption und Akzeptanz der Nutzer und Bewohner des BIQ. Ausgehend von den spezifischen Gegebenheiten vor Ort wurden für den Beobachtungsraum von zwei Jahren im Betrieb Strategien und Szenarien zur Optimierung der Effizienz erarbeitet. Bei der Umsetzung der Szenarien in Abhängigkeit der mikro- und makroklimatischen Verhältnisse wurde unmittelbar die Rückkopplung auf die Nutzerakzeptanz erfasst. Begleitend dazu erfolgt die Erfassung der technischen Qualität und die Auswertung der von der Uni Braunschweig erhobenen Daten.

Die Zwischenergebnisse dienen der Rückkopplung mit den Strategien, um eine kontinuierliche Anpassung vorzunehmen. Neben der soziologischen Erfassung der Akzeptanz von Nutzern und Bewohnern wurde auch die öffentliche Resonanz des Projektes in nationalen und internationalen Medien erfasst und mit den gewonnenen Zwischenergebnissen der begleitenden Forschung in Bezug gesetzt. Die 24-monatige Laufzeit des Forschungsvorhabens unterteilt sich in eine viermonatige Vorlaufzeit für Konzeption vor Inbetriebnahme (Arbeitspaket 1), ein Intensivmonitoring während zweier Kühlperioden (je 6 Monate), einer Heizperiode (6 Monate) und einer zweimonatigen Nachbereitung und Auswertung (Arbeitspaket 4). Das Monitoring der Nutzerakzeptanz (Arbeitspaket 2) und der technischen Qualität (Arbeitspaket 3) liefen parallel zu den Nutzungsphasen.

2.2 Ablaufplanung

2.2.1 Technisch

Auf der Grundlage der festgelegten Komponenten sowie implementierter Messgeräte erfolgte das technische Monitoring kontinuierlich durch die Auswertung der Messparameter sowie begleitend durch regelmäßige durchgeführte Inspektionen der Anlagen. Zusätzlich wurden Komfortparameter definiert, diese umfassen sowohl visuelle und akustische als auch Geruchsbelastungen und stehen somit im Zusammenhang mit der technischen Leistungsfähigkeit der Anlage. Auf der Basis von Messungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem soziologischen Monitoring unmittelbare Korrelationen zwischen technischer Performance und Nutzerakzeptanz identifiziert.

2.2.2 Energetisch

Im Rahmen des energetischen Monitorings wurden die Strahlungseinträge (Globalstrahlung und PAR Strahlung) und die damit zu erzielenden Wärme- bzw. Biomasseerträge erfasst. Auf Basis dieser zu errechnenden Energiekonversionswerte kann die Anlage mit anderen Solaranlagen (Photovoltaik bzw. Solarthermie) verglichen und Vorhersagen zu Erträgen an anderen Standorten getroffen werden. Dabei erfolgte stets eine Rückkopplung zu den Nutzern des Gebäudes, etwaige Akzeptanzprobleme konnten somit direkt auf die Prozessführung zurückgeführt werden. Im ersten Quartal 2015 erfolgte die Gesamtbilanzierung der Energieflüsse basierend auf zwischenzeitlichen Auswertungen. Dies schloss sowohl die Erfassung von energetischen Erträgen (Wärme, Biomasse, Strom) als auch Daten über den Unterhalt der Anlage mit ein (Primärenergie).

2. Grundlagen

2.2.3 Soziologisch

Die Nutzungsanalyse umfasst sieben Phasen: Expertengespräche zur Konstruktionsweise des Gebäudes (1) sowie zu Funktionsweise und Bedienungsmöglichkeiten der Gebäudetechnik (2), Beschreibung des Gebäudes als technosoziales System mit unterschiedlichen Herausforderungen für beteiligte Akteure mit variierender Expertise (3), Expertengespräche mit Schulungspersonal (4), Interviews mit Anwendern im Hinblick auf deren Nutzungserfahrung und deren Einfluss auf die Alltagsqualität sowie die Akzeptanz der Technik (5), Auswertung der Anwendersgespräche und Rückkoppelung der Ergebnisse an Technikentwickler und Schulungspersonal (6) sowie vergleichende Beurteilung der Befunde des “BIQ” mit dem Open House und den Water Houses (7).

2.3 Systemkomponenten und Konzept

Das einfallende Sonnenlicht wird in die Energieformen Wärme und Algenbiomasse umgewandelt. Die für das Wachstum notwendigen Nährstoffe sowie Kohlendioxid (CO_2) werden kontinuierlich zugeführt. Dabei stammt das CO_2 aus einer Biogasverbrennung in einer Gastherme. Gleichzeitig wird dem im Kreislauf geführten Kulturmedium die benötigte bzw. entstehende Wärme über Wärmetauscher zu- bzw. abgeführt. Mittels des sogenannten Airlifts werden die Mikroalgen in den Bioreaktoren der Fassade ständig in Bewegung gehalten. Über die Anlagentechnik in der Energiezentrale erfolgt die Steuerung der Versorgung der Mikroalgen mit CO_2 und Nährstoffen, die Aufrechterhaltung einer konstanten Temperatur sowie die Ernte der Algenbiomasse. Die Ernte der Algen erfolgt mittels einer Flotation. Dabei werden die nachwachsenden Algen dem Kreislauf kontinuierlich entnommen, so

dass eine konstante Zelldichte aufrechterhalten werden kann. Die Fassadenreaktoren generieren solarthermische Wärme. Konzeptionell vorgesehen war, dass mit dieser Wärme sowohl Trinkwarmwasser erzeugt, als auch die Heizungsanlage mit Wärme versorgt werden können. In der Realität wurde jedoch ein Großteil der Wärme an den Energieversorger verkauft (Energy-Contracting). Mit der überschüssigen Wärme wurden Erdwärmesonden beladen um diese gespeicherte Wärme bei Bedarf zu entnehmen und mit Hilfe einer Wärmepumpe für das Gebäude nutzbar zu machen. Die für den Betrieb des Algenfluidkreislaufes nötigen Umwälzpumpen werden mit Strom betrieben. Die dafür notwendige Primärenergie wird zum Teil über PV-Module (Fläche 36 qm) auf dem Dach des BIQ-Hauses bereit gestellt.

2.4 Messparameter

Die folgenden Parameter wurden gemessen;

- Algenmedium (Temperatur, pH-Werte etc.)
- Druckluft für den Airlift
- Klimadaten
- Rauchgas
- Produktion und Verteilung von Wärme
- Produktion und Verbrauch von Strom
- Komfortparameter

2.4.1 Messtechnik

- Wärmezähler zur Messung der Produktion und Verteilung von Wärme
- Stromzähler zur Messung des benötigten Verbrauchs aller Komponenten der Anlage, insbesondere der Pumpen
- Sensoren für Messungen im Kulturmedium sowie des klimatischen Kontextes

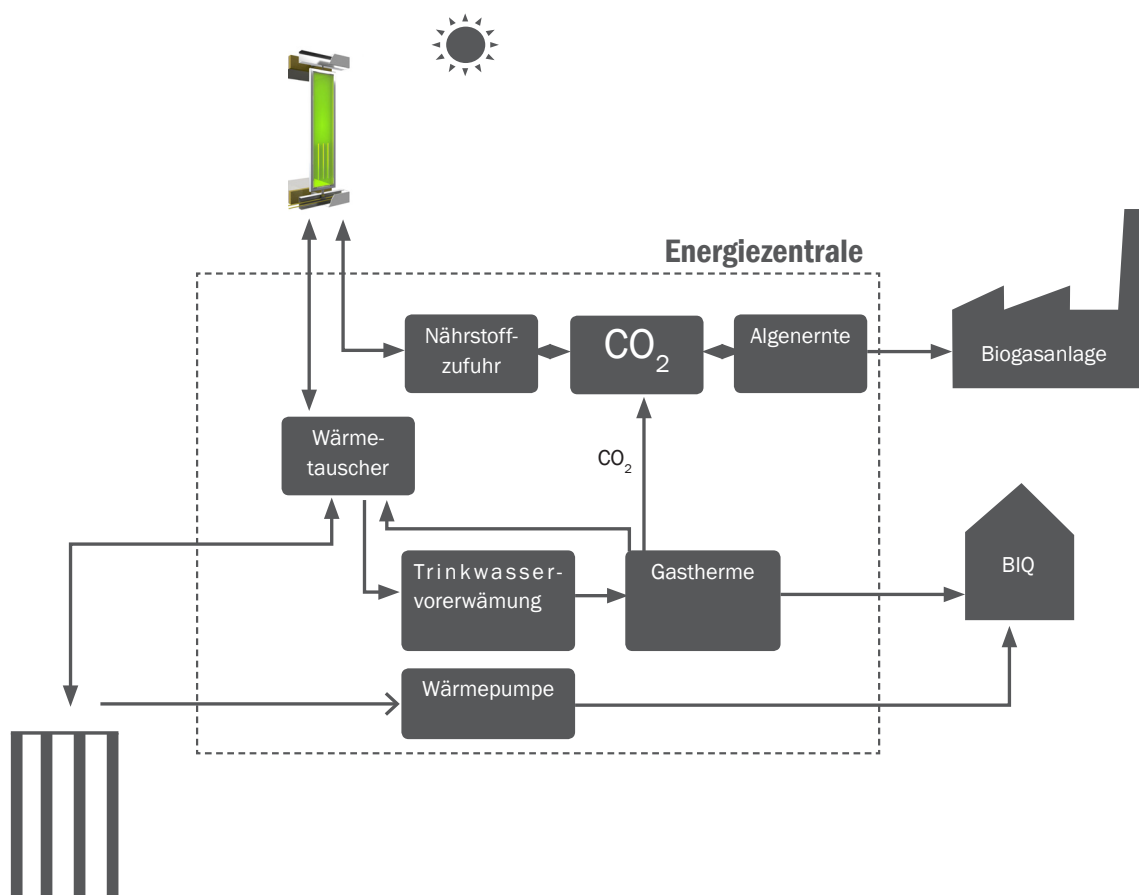


Bild 1: Schematische Darstellung des Anlagenkonzepts sowie der Schnittstellen mit externen Anlagen

3. Technik

3.1 Allgemein

Es ist zu beachten, dass nicht nur die sichtbare Technik einen hohen Innovationsgrad aufweist, sondern insbesondere bei der haustechnischen Integration der Anlage viele neue Lösungen mit Pilotcharakter entwickelt wurden. Aufgrund einer intensiven Optimierungsperiode war es möglich eine funktionierende Gesamttechnologie zu etablieren, welche bis auf kleinere Störungen nahezu über den gesamten Zeitraum betrieben werden konnte.

In der Tabelle 1 werden die aufgetretenen Probleme in Kurzform dargestellt. Dabei wird insbesondere auf die Wirkungszusammenhänge und etwaigen Korrelationen mit der energetischen Effizienz sowie der grundsätzlichen Akzeptanz der Nutzer fokussiert. Die in diesem Bericht zitierten technischen Details zu den jeweiligen Störungen sind umfangreichen Gutachten entnommen.

Grundsätzlich sind Fassadentechnologie und Gebäude bzw. Wohnungen technisch soweit entkoppelt, dass Probleme mit dem Betrieb der Anlage im Bewohneralltag nur dann wahrgenommen werden, wenn es zu Vibrations- und/oder Geräuscentwicklung, Glasbrüchen oder Leckagen kommt. Die Steuerung der Anlage hat für den von den Bewohnern empfundenen Komfort nahezu keine Bedeutung.

3.2 Zusammenfassung

Trotz der Komplexität der Anlagentechnik waren nur sehr wenige technische Störungen oder Ausfall/Fehlfunktionen der Komponenten zu verzeichnen. Größere Störungen, die dazu führten, dass die Anlage auch nach zwei Jahren Betrieb nicht in einen Standardbetrieb überführt werden konnte, wa-

ren falsch dimensionierte Wärmetauscher sowie die Verwendung von Aluminium für die Distanzprofile im Innenbereich der Photobioreaktoren.

3.2.1 Wärmetauscher

Die unzureichend dimensionierten Wärmetauscher, die erst Anfang 2014 gegen solche mit ausreichender Kühlkapazität ausgetauscht werden konnten, führten im Betriebsjahr 2013 dazu, der Füllstand in den Bioreaktoren abgesenkt werden musste um das Medium ausreichend zu kühlen. Dadurch wurde die Menge des zu kühlenden Mediums und damit die notwendige Kühlleistung verringert. Allerdings konnten aus diesem Grund auch nicht die zu erwartenden Wärmeerträge erzielt werden. Die Biomasseerträge waren noch stärker betroffen, da das Algenwachstum stark temperaturabhängig ist und bei Überhitzung vollständig zum Erliegen kommt.

3.2.2 Distanzrahmen

Die Korrosion der Aluminiumdistanzprofile (Kap.3.1.2) hatte zur Folge, dass die Zu- und Abläufe im Laufe der Zeit immer stärker und irreversibel verstopften. Ende 2014 waren die Verstopfungen so stark, dass nur noch wenige Reaktoren einen ungestörten Zu- und Ablauf aufwiesen. In Konsequenz führte dies dazu, dass Unterschiede im Füllstand der Reaktoren von bis zu einem halben Meter auftraten. Um ein Überlaufen zu verhindern, wurde der Füllstand entsprechend abgesenkt (von 2,6 m auf etwa 1,9 m), wodurch nur noch eine um 27 % geringere aktive Fassadenfläche zur Verfügung stand (statt 185 m² nur noch 134 m²). Außerdem führte der gestörte Austausch des Kulturmediums dazu, dass die Mikroalgen nicht immer ausreichend mit Nährstoffen und CO₂ versorgt wurden, was mit starken Ertragseinbußen verbunden war.

Dementsprechend waren auch in 2014 nur stark eingeschränkte Produktionen an Wärme und Biomasse zu verzeichnen. Um trotzdem die Leistungsfähigkeit der Anlage erfassen zu können, wurden die Messdaten aus den Betriebszeiträumen, in denen ein weitgehend ungestörter Betrieb aufrechterhalten werden konnte, ausgewertet und daraus verlässliche Konversionsraten bestimmt. Anhand

dieser Konversionsraten sowie den vorliegenden Strahlungsdaten wurden dann Werte für die Jahresproduktion ermittelt.

Komponente	Technisch	Energetisch	Soziologisch
Photobioreaktor-Glas-scheiben	Glasbrüche, defekte Reaktoren wurden ausgetauscht	Marginale Auswirkungen auf energetische Effizienz da mit jedem ausgefallenen Bioreaktor die Produktion von Wärme und Biomasse reduziert wird	Schaden war visuell wahrnehmbar; negative Reaktionen in Blogs (siehe Medienanalyse), Vermutung von "Kinderkrankheiten" in der Weiterentwicklung der Technologie bei den Bewohnern
Aluminium-distanzrahmen im Reaktor	Korrosion der Aluminiumdistanzprofile in den Reaktoren aufgrund lokaler pH-Werte bis zu 14, Austausch und Ersatz durch glasfaserverstärkten Kunststoff	Korrosionsprodukte verstopften Zu- und Abläufe und hatten signifikante Auswirkungen auf die energetische Leistungsfähigkeit	keine direkten soziologischen Auswirkungen
Wärmetauscher	Keine ausreichende Kühlleistung im Sommer	Fehlende Temperaturkonstanz im Sommer, weniger Biomasseproduktion	keine direkten soziologischen Auswirkungen
Rohrverbindungen Fassade	Aufgetreter Frostschaden, Austausch defekter Verbindungen	keine energetischen Auswirkungen	Austreten von Flüssigkeit
Stellventile im Medienkreislauf	Fehlschaltung/Undichtigkeit	Auswirkungen auf Wärme- und Biomassenproduktion aufgrund nicht optimaler Steuerung	keine direkten soziologischen Auswirkungen
Saturationsanlage	Unzureichende Saturationsleistung, daher Implementierung einer Alternative	Vollversorgung mit CO ₂ ist kritisch für optimales Algenwachstum	keine direkten soziologischen Auswirkungen
Airlift	Keine technischen Auswirkungen	Reduzierte Frequenz des Airlifts führte zu signifikanter Reduktion des Primärstromverbrauchs ohne Auswirkungen auf den Biomassenertrag	Weniger Geräuschemissionen hatten direkte Auswirkungen auf Nutzer; die Akzeptanz war jedoch sowohl davor, als auch danach hoch

Tabelle 1: Korrelationen der technischen und energetischen Leistungsfähigkeit sowie der Akzeptanz der Nutzer

4. Energie

4.1 Allgemein

Die Bilanzierung der bioreaktiven Fassade war aufgrund der teilweise unzureichenden Datenlage eine Herausforderung. Im Folgenden wird explizit auf die wesentlichen Aspekte hinsichtlich Bilanzierungszeitraum, Datenlage und Bilanzraum eingegangen.

4.2 Bilanzzeitraum

Grundsätzlich ist festzustellen, dass im gesamten Zeitraum des Monitorings kein Regelbetrieb erreicht werden konnte. In 2013 wurde dieser dadurch verhindert, dass die zunächst eingebauten Wärmetauscher zu klein dimensioniert waren und deshalb die Anlage nicht ausreichend gekühlt werden konnte. Im Ergebnis konnten also die Wärme- und Biomasseerträge bis zum Einbau neuer Wärmetauscher im April 2014 nicht realisiert werden. Die Messdatenauswertung für diesen Abschlussbericht umfasste den Zeitraum 01.01.2014 bis 31.12.2014.

4.3 Datengrundlage

Im März erfolgte der Einbau der neuen Wärmetauscher sodass die Anlage in dieser Zeit partiell stillgelegt wurde. Das Gleiche trifft für den November und Dezember 2014 zu, wo Wartungsarbeiten durchgeführt wurden. Entsprechend der Einschränkungen im Betrieb sind in den Monaten März, November und Dezember die Ergebnisse nur bedingt aussagekräftig. Dennoch wurde mit den vorhandenen Datensätzen eine Jahresbilanz für alle Monitoringparameter durchgeführt und in eine energetische Gesamtbilanz überführt. Für die Erträge der beiden besonders durch Störungen betroffenen Monate Februar und November sind auf der Basis von Jahresmittelwerten der Effizienzfaktoren und der in diesen beiden Monaten auftretenden

Solarstrahlung interpoliert worden. Grundsätzlich standen die Daten aus unterschiedlichen Quellen zur Verfügung:

- Unregelmäßige Handablesungen direkt von den installierten Wärmemengenzählern
- Aufzeichnungen des automatischen Messdatenerfassungssystems

Die beiden Quellen weisen trotz gleicher Zählwerke nicht zu klärende Diskrepanzen auf, so dass auf die automatischen Aufzeichnungen zurückgegriffen wurde, welche die verlässlichere Datenquelle darstellt.

4.3.1 Solareinstrahlung

Es wurde für den entsprechenden Zeitraum die Messung der Globalstrahlung des Deutschen Wetterdienstes für den Standort Hamburg-Fuhlsbüttel als Basis genommen. Mittels eines monatsspezifischen Faktors von PAR-Strahlung zu Globalstrahlung erfolgt die Umrechnung der Globalstrahlung auf die Fassaden.

4.3.2 Wärme

Für die Berechnung der Wärmeerträge wurden Monatsmittelwerte aus der automatischen Messdatenerfassung ermittelt. Da in 2014 die Füllhöhe in den Photobioreaktoren aufgrund des weiter oben beschriebenen Problems von gestörten Zu- und Abläufen nur 1,90 m betrug, wurden die gemessenen Wärmeerträge mit einer aktiven Fassadenfläche von nur 135 qm erzielt (129 PBR x 0,55m x 1,9m). Diese Fläche entspricht nur 73% der möglichen aktiven Fläche von 185 qm bei einer optimalen Füllhöhen von 2,6 m.

4.3.3 Biomasse

Anhand der gewonnenen Daten wurden Konversionseffizienzen, d.h. Kennzahlen zur Umwandlung

des über einen Tag eingestrahlt Lichts in Algenbiomasse errechnet.

4.3.4 Strom

Für die Berechnung des Stromverbrauchs wurden monatliche Verbräuche aus der automatischen Messerfassung für jede einzelne Verbrauchsstelle herangezogen, die manuell abgelesenen Daten übereinstimmten.

4.4 Bilanzen

Zur Darstellung der Energiebilanzen lassen sich verschiedene Bilanzrahmen ziehen. Die Betrachtung „Nur Bioreaktorfassade“ hat den Prozess um die Photobioraktor (PBR)-Fassade im Fokus und berücksichtigt die direkt dort ein- und ausgehenden Energieströme inkl. der erzeugten Biomassen. Die Betrachtung „BIQ Gesamt“ berücksichtigt alle Energieströme in die Heizzentrale und in die Bioreaktorfassade und alle für das Gebäude erzeugten,

nutzbaren Wärmeströme inkl. der erzeugten Biomasse.

4.4.1 Bilanzrahmen Bioreaktorfassade

Diagramm 8 zeigt grafisch die nur für die Bioreaktorfassade berücksichtigte Energiebilanz. Es ist erkennbar, dass der inklusive der Sonneneinstrahlung große Energieinput in den Biomasseprozess bislang nur zu einem kleinen Teil in nutzbare Energie in Form von Wärme und Biomasse überführt wird. Bezogen auf die Sonnenenergie weist das System einen solaren Nutzungsgrad von 25,4 % auf, was im Vergleich zu herkömmlichen solarthermischen System ein niedriger Wert ist (dort ca. 40 bis 60 %). Unter Berücksichtigung der Sekundärenergie für den Betrieb des Prozesses beträgt der Gesamtnutzungsgrad 22,6 %. Es ist jedoch anzumerken, dass der Energieertrag der Anlage den mit Primärenergie behafteten Energieverbrauch übersteigt.

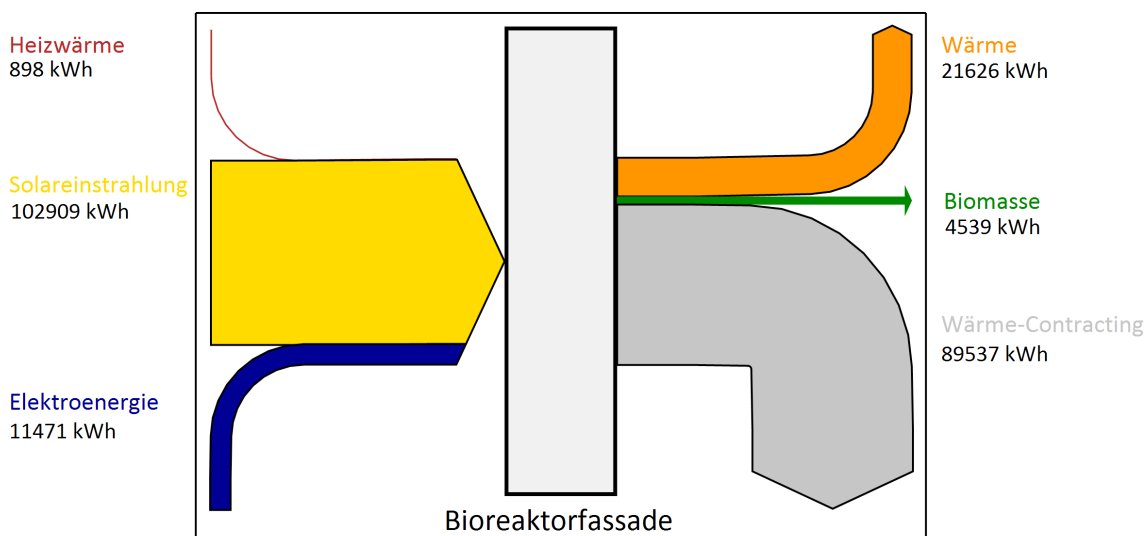


Diagramm 8: Monatliche Produktion von Wärme aus der Verbrennung von Biogas in einer Gastherme in 2014. Die Produktion errechnet sich aus dem Verbrauch an Gas und dessen Nutzung zur Erwärmung von Warmwasser für das BIQ und zur Einspeisung von Überschüssen in das Nahwärmenetz.

4. Energie

Ergebnisse

4.4.2 Bilanzrahmen Gesamt

Die grafische Darstellung des gesamten Bilanzrahmens des BIQ ist Diagramm 9 zu entnehmen. Im Energieflussdiagramm sind folgende Werte markiert, die fraglich erscheinen:

- Der Verbrauch an Elektroenergie der Wärmepumpe ist den vorliegenden Datenquellen nicht zu entnehmen. Der hier markierte Wert von 2.000 kWh ist eine grobe Annahme und basiert auf einer angenommenen Jahresarbeitszahl von ca. 5.
- Die der Wärmepumpe aus der Geothermie zugeführte Wärme ist im Vergleich mit der erzeugten Wärme nicht plausibel.
- Vergleicht man die den Pufferspeichern der Warmwasserbereitung in Summe zugeführten Wärme mit der nach den Speichern gezählten Wärme, führt dies zu einem Verlust von 27,3 % an der Speicherstation. Zu erklären wäre dieser Wärmeverlust mit den 1000l großen Wärmespeichern, die kontinuierlich auf > 60°C gehalten wurden.

Unter Ansatz der den Datenquellen entnommenen Messwerten beträgt der Umwandlungsnutzungsgrad, hier das Verhältnis von nutzbar abgeführter zu zugeführter Energie (ohne Solarenergie), 91,7 %. Die Betrachtung nimmt an, dass die der Geothermie zugeführte Wärme aus der PBR-Anlage auch tatsächlich nutzbar ist und nicht als Verlust abgeführt wird. Unter Berücksichtigung der auf die Photobioreaktoren auftreffenden Solarenergie beträgt der Nutzungsgrad 37,9 %. Für eine Bioreaktorfassadenfläche von 185 qm betrugen die solaren Einträge in 2014 auf der SW/SO Fassade 102.909 kWh/a. 21,0 % davon konnten als Wärmeertrag und 4,4 % als Biomasseertrag gewonnen werden. In Summe errechnet sich ein Gesamtnutzungsgrad von 25,4%.

Insbesondere die aktuelle Verwendung der Wärme steht im Kontrast zur ursprünglichen Konzeption. Diese sah vor, dass die solar thermisch generierte Wärme für die gebäudeinterne Heizung und Trinkwassererwärmung verwendet wird. Im realen Betrieb wurde die Wärme hauptsächlich in den dafür vorgesehenen Erdsonden gespeichert. Wiederum dort entnommene Wärme wurde im Rahmen eines Energy Contractings hauptsächlich an der öffentlichen Versorger verkauft.

Energetische Bilanz BIQ gesamt bezogen auf 185 m² Fassadenfläche 1.1.14 - 31.12.14

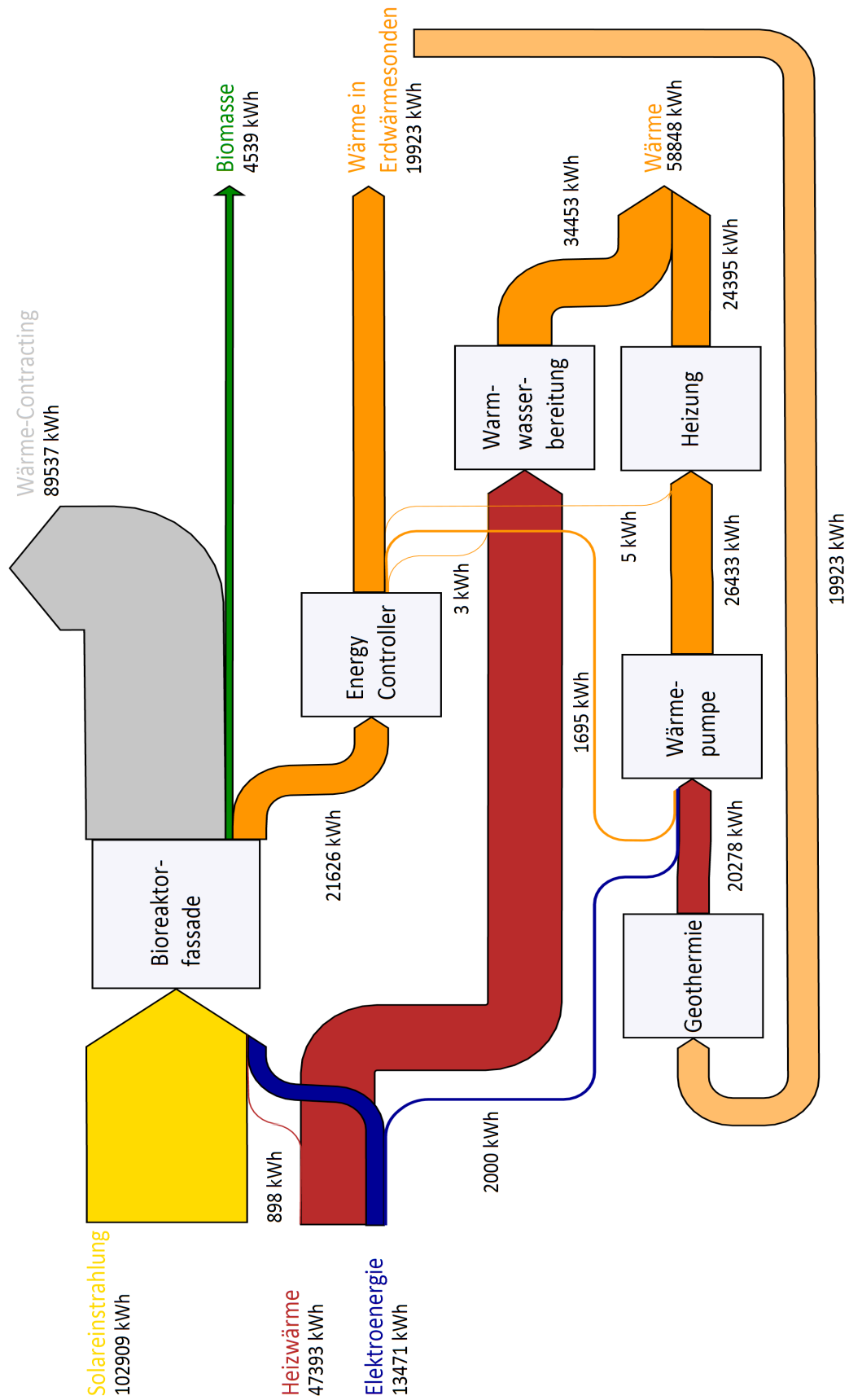


Diagramm 9: Energetische Bilanz gesamt

5. Soziologie

Aufgrund der technologischen Neuheit gibt es kein anschlussfähiges Wissen über den Einfluss der Fassade auf die Lebensqualität der Bewohner.

Deshalb sind folgende Forschungsfragen gestellt worden: 1) Für welche Personen bzw. Haushalte ist das BIQ attraktiv, sodass es zur Anmietung einer Wohnung kommt? 2) Wie nehmen die Bewohner die Algenfassade im Alltag im Hinblick auf die Merkmale Schall, Farbe, Blasenbildung, Vibration und Sauberkeit wahr? 3) Welchen Einfluss hat die Algenfassade als identitätsstiftendes Merkmal über ihre bloße Existenz hinaus auf die Lebensqualität der Bewohner? 4) Welche Strategien zur Verbreitung der Technologie lassen sich daraus entwickeln?

Alle Haushalte, die befragt worden sind, haben ihre Wohnung nicht wegen der Algenfassade angemietet, sondern überwiegend aufgrund der Qualität der Wohnung und der verkehrsgünstigen Lage des Hauses. Der Technologie der Algenfassade wurde sich wohlwollend genähert, jedoch nicht ohne eine gewisse Skepsis, die entstand, weil sich das System für Laien nicht erschließen lässt und später durch die Entwickler erklärt worden ist.

Die Akzeptanz des Systems konnte aus Sicht der Wahrnehmung durch BewohnerInnen ohne größere Probleme erreicht werden, nachdem ein Schall- und ein Vibrationsproblem gelöst werden konnten. Bedenken aufgrund der Ästhetik der Anlage gab es keine. In dieser recht günstigen Konstellation des Herstellungsprozesses sind drei Phasen der Herstellung der Akzeptanz erkennbar: Eine erste Phase zu Beginn der IBA von April bis Juni 2013, in welcher man der Technologie ohne Einschränkungen aufgeschlossen gegenüber stand. Eine zweite Pha-

se ab Sommer 2013 bis ungefähr Februar 2014, in der Wartungs- und Reparaturarbeiten den Langmut derjenigen BewohnerInnen, welche sich eine kürzere Anlaufphase erwartet hatten, strapaziert hat und eine dritte Phase, in der die Technologie wieder in den Hintergrund tritt und im Bewohneralltag, wie ursprünglich erhofft, eine immer unbedeutendere Rolle spielt. Auch wenn im BIQ vergleichsweise wenig soziale Konflikte während der Erprobungsphase entstanden sind, wirkt die Algenfassade aus der distanzierten techniksoziologischen Perspektive zur Zeit noch nicht elastisch genug, um verschiedenen Haushaltstypologien gerecht zu werden, was nach den vorliegenden Erkenntnissen auf die noch nicht vollständig hergestellte Produktreife und dadurch bedingte Wartungsarbeiten, aber nicht auf die Technologie selbst zurückgeführt werden kann.

Aus der Perspektive der Innovation und ihrer Beteiligten ist vor dem Hintergrund des mit dem Probetrieb neu erworbenen Wissens mit der Neukonstruktion der Reaktoren im Jahr 2015 und dem bevorstehenden Umbau der Anlage ein großer Schritt in Richtung Produkt- und Marktreife gemacht worden, der von den BewohnerInnen aufgrund ihrer Distanz zum Spezialwissen aber nicht unbedingt adäquat beurteilt werden kann bzw. der ungestörte Wohnalltag bereits nach kurzer Wohndauer höher geschätzt wird als die fortschreitende Innovation. Es sollte deshalb durch die beteiligten Experten weiterhin ein sensibler Umgang mit den BewohnerInnen angestrebt werden, um deren Identifikation mit dem Projekt nicht zu verlieren.

Die Kommunikation mit den BewohnerInnen, die ihre Wohnungen direkt an der Fassade haben, dient deshalb in erster Linie dazu, eine völlige Entfremdung der BewohnerInnen von der Technologie zu

vermeiden. Dies ist vor dem Hintergrund der Befunde aus den in einem anderen Forschungsverbund untersuchten Gebäuden der Neuen Wilhelmsburger Mitte im BIQ bisher mit am besten gelungen: Auch in den anderen untersuchten Gebäuden wurden hoch ambitionierte Technologien an BewohnerInnen getestet, obwohl die Produktreife noch nicht hergestellt werden konnte. Dort sind aufgrund der Ausarbeitung der Konzepte mit Eigentums- und Risikoübergängen von neuen Technologien in die Hände von Laien mit unterschiedlichen intensiven Betroffenheiten zum Teil erhebliche Einbußen in der Wohnqualität sowie im Umgang mit Mängeln teils massive soziale Konflikte in den Hausgemeinschaften entstanden. Dies hat unter den Befragten in den untersuchten Gebäuden zu einer sehr differenzierten Betrachtung der Lebensqualität geführt, die aufgrund der Unausgereiftheit der eingesetzten Module eher zu Lasten energieeffizienter Technologien stattgefunden haben. Solche Zusammenhänge sind im BIQ nicht zu erkennen gewesen. Hier wurden die Technologie und die damit verbundenen Ziele, in einer vertikalen Farm aus Algen Energie und Biomasse zu gewinnen, nicht in Frage gestellt, sondern es wurde sehr klar erkannt, dass es sich um mechanische oder materialbedingte Probleme handelte, die im weiteren Innovationsprozess ohne weiteres behoben werden könnten.

6. Ausblick und weiterführende Forschungsfragen

Wie der vorliegende Bericht zeigt, konnte mit der am BIQ etablierten Technologie der Nachweis der Machbarkeit einer Produktion von Biomasse und Wärme an der Fassade von Gebäuden erbracht werden.

Die erzielten Erträge lagen unterhalb dessen, was aufgrund von Simulationen während der Planungsphase anzunehmen war. Die Gründe dafür liegen hauptsächlich in dem, im Rahmen des Monitorings, noch nicht erreichten Standardbetriebs. Die damit verbundenen Fehlerquellen können absehbar nach einem z.Zt. erfolgenden Umbau behoben werden. Es ist im weiteren Betrieb damit zu rechnen, dass die aufgrund der technischen Kenndaten zu erwartenden Erträge zumindest erreicht, wenn nicht gar übertroffen werden können. Konkret sind folgende Optimierungen angedacht;

- Thermisch effizientere Bioreaktoren, die größere Wärmemengen nutzbar machen
- Algenkulturen, die höheren Temperaturen standhalten, um die aus dem Prozess gewonnene Wärme tendenziell direkt nutzen zu können
- Steigerung des Biomasseertrags durch Optimierung des PBR-Prozesses
- Optimierung des Strombedarfs der Bioreaktorkreise, insbesondere in Bezug auf die Rauchgas- und Druckluftkompression, welche die größten elektrischen Verbraucher darstellen

Eine Weiterführung des Betriebs der Anlage ist dadurch sichergestellt, dass der Betreiber der Anlage, die SSC GmbH, als Energy Contractor für die Energieversorgung des Gebäudes vertraglich zuständig ist und so einen Großteil der Betriebskosten über die Mieter abrechnen kann. Dementsprechend wird die Anlage als Demonstrations- und

Forschungsanlage weiterhin intensiv genutzt. So werden, wie weiter unten näher beschrieben, weiterführende F&E-Projekte an und mit der Bioreaktorfassade durchgeführt werden können. Im Rahmen des Monitorings wurde eine hohe Akzeptanz für die Anlagentechnik bei den Mietern nachgewiesen. Damit wird eine notwendige Voraussetzung erfüllt, um diese Anlagentechnik vermarkten zu können.

Insbesondere eine Anwendung in großen Städten (Megacities) erscheint besonders aussichtsreich, da hier die Entwicklung hin zu einer dezentralen Wärmeproduktion zusammen mit einer Biomasseproduktion für die Ernährung zu erkennen ist. Durch eine Kopplung von Bioreaktorfassade mit dezentraler Abwasserreinigung, wie sie z.Zt. von der SSC zusammen mit der TU Berlin entwickelt wird, könnte die Wirtschaftlichkeit der Technologie noch einmal deutlich gesteigert werden.

Weitere Forschungsfragen

In Bezug auf die am BIQ etablierte Technologie ergeben sich aus dem Monitoring weiterführende Forschungsfragen sowohl in soziologischer als auch in technischer Hinsicht.

Sobald die Systemreife der Technologie erreicht ist, stellt sich die Anschlussfrage in welchen Marktsegmenten eine ertragsoptimierte Technologie erfolgreich platziert werden soll. Im urbanen Verwendungskontext sind "stadtunverträgliche" Infrastrukturen wie zum Beispiel Lärmschutzwände an Autobahnen oder großmaßstäbliche gewerbliche Einrichtungen (Lagerhallen, Möbelhäuser) denkbar. Sollte das System im Büro- und/oder Siedlungsbau eingesetzt werden, so sind in erster Linie ertragreiche, großmaßstäbliche Anlagen denkbar.

Es stellen sich folgende weiterführende Forschungsfragen:

- Wie kann die Akzeptanz der Technologie bei Gestaltern (z.B. Architekten, Ingenieure) gesteigert werden?
- Wie kann die Akzeptanz der Technologie bei Eigentümern von Gebäuden im Hinblick auf die Auswahl geeigneter Gebäudeflächen gesteigert werden?
- Wie kann die Akzeptanz bei zukünftigen Betreibern im Hinblick auf die weitere Verbreitung der Technologie gesteigert werden?
- Wie kann die Akzeptanz grüner Technologien in der Bevölkerung im Hinblick auf den Einsatz der Technologie im öffentlichen Raum gesteigert werden?

Im Hinblick auf die technische Optimierung der Photobioreaktoren ist ein Fokus auf die Dämmung zu richten, um die Wärmeerträge zu erhöhen und sich so den Leistungsdaten des Konkurrenzprodukts Solarthermie anzunähern.

Eine weitere Möglichkeit stellt die Kopplung der Bioreaktorfassade an ein Aquaponic System dar. Hier bietet sich die Möglichkeit einer effizienten Nutzung der Wärme aus der Bioreaktorfassade für die Verwendung für Fischzucht und im Gewächshausbau. Gleichzeitig kann das Abwasser, mit den darin enthaltenen Nährstoffen, aus der Aquakultur in der Bioreaktorfassade recycelt werden.

