

Einführung

„Gebäudeintegrierte Photobioreaktoren (PBR) als Energieerzeugungssystem bei gleichzeitiger Regulierung des Tageslichteintrages und des Wärmehaushaltes“

SSC Strategic Science Consult GmbH
Dr. habil. Martin Kerner
22761 Hamburg, Beim Alten Gaswerk 5

1. Übersicht Mikroalgentechnologie

Umwandlung von Sonnenlicht in Biomasse

Mikroalgen sind winzige ca. 5 µm grosse, meist einzellige Organismen (Abbildung 1). Wie andere Pflanzen nutzen Mikroalgen das Sonnenlicht als Energiequelle, um daraus zusammen mit CO₂ und Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) die sogenannte Biomasse aufzubauen. Dieser Prozess heißt Photosynthese, er läuft in gleicher Weise bei landwirtschaftlich genutzten Pflanzen wie Ackerpflanzen ab. Allerdings sind Mikroalgen wesentlich effizienter in der Umwandlung von Lichtenergie in Biomasse als höhere Pflanzen, weil sie einzellig sind und jede dieser Zellen Photosynthese betreibt. Mikroalgen können sich bis zu einmal am Tag teilen und damit ihre Biomasse verdoppeln. Die Biomasse der Mikroalgen ist ein Energieträger. 1 g trockene Biomasse enthält etwa 23 kJ Energie.

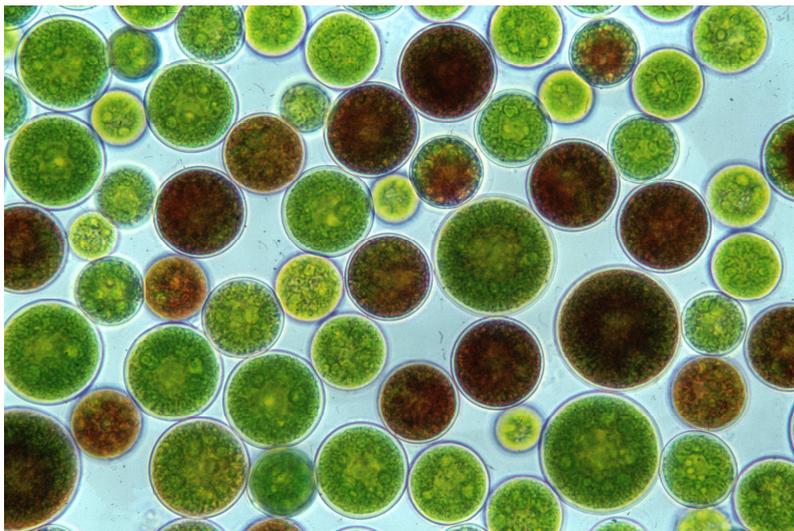


Abbildung 1. Mikroskopische Aufnahme der Mikroalge Haematococcus

Die für eine Mikroalgenkultivierung an Gebäuden notwendige Technologie wird in Abbildung 1 zusammengefasst.

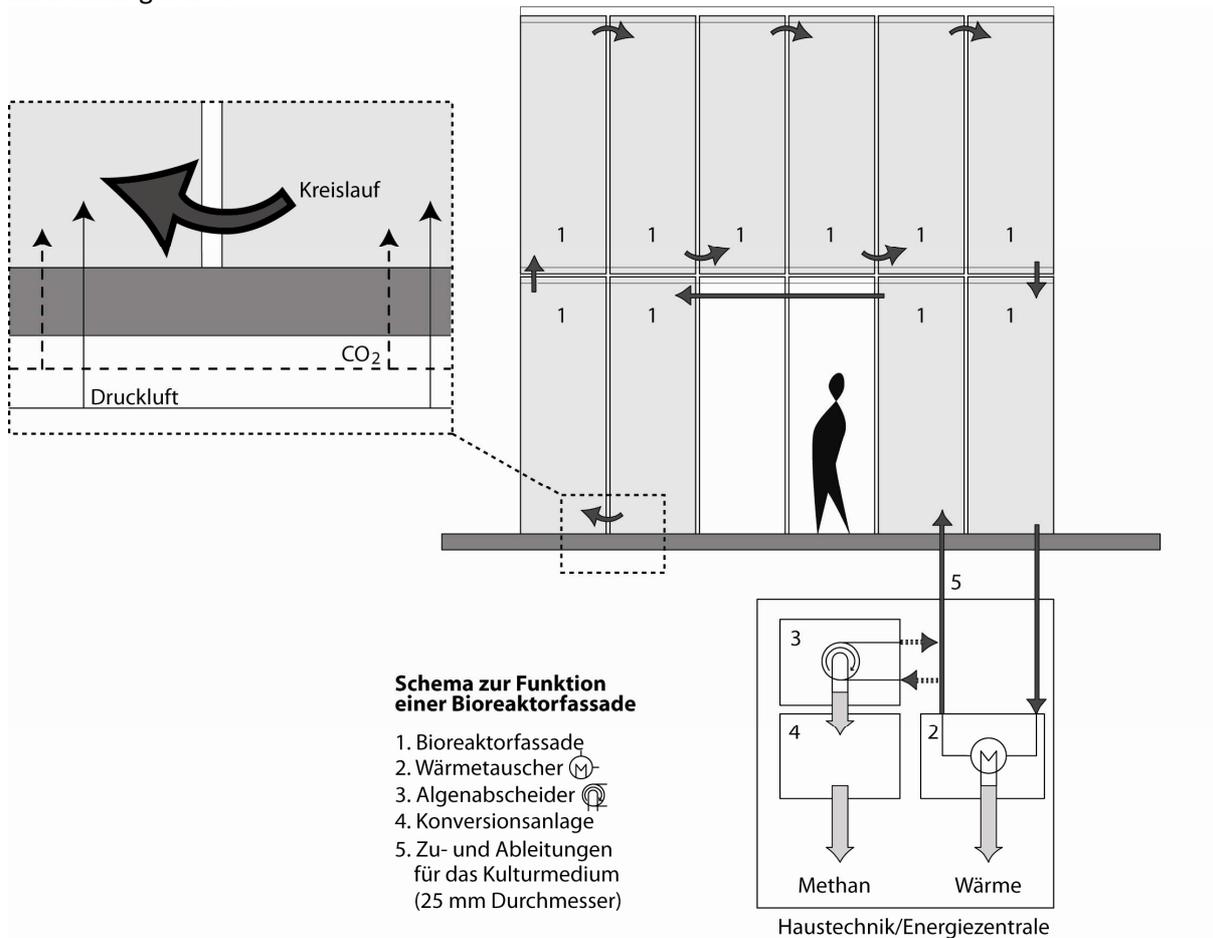


Abbildung 2: Diagramm zur Funktionsweise einer Bioreaktorfassade - die Bioreaktorfassade wird mit ihren Funktionen der Wärmegewinnung, Biomasseproduktion und Rauchgasreinigung als geschlossenes System direkt an die Haustechnik gekoppelt (Abbildung: ©Arup GmbH).

Beschreibung der Komponenten:

1 Bioreaktorfassade

In plattenförmigen Bioreaktoren werden die Mikroalgen kultiviert. Zur Vermehrung durch Zellteilung benötigen Algen Tageslicht, CO₂ und Nährsalze. Der Bioreaktor stellt einen ca. 2cm breiten Hohlkörper aus lichtdurchlässigen, transparenten Kunststoffschalen dar, der mit einer wässrigen Lösung (auch Medium genannt) gefüllt ist. In dem Medium sind die zum Wachstum notwendigen Nährsalze enthalten. Damit die Mikroalgen nicht absinken und in Schwebe bleiben, wird das Kultivierungsmedium durch die Zuleitung von Druckluft kontinuierlich durchmischt. Die hohen Strömungsgeschwindigkeiten an den Innenflächen des Bioreaktors unterbinden auch das Absetzen der Mikroalgen und Biofäule. Kontinuierlich wird der Nährstoff CO₂ als Gas hinzu geführt.

Für eine optimale Beleuchtung werden die Reaktoren an der Außenseite von Gebäuden als Fassadenelemente angebracht. Idealerweise lassen sich die Bioreaktoren als Öffnungselemente nach dem Sonnenstand ausrichten. Die Bioreaktoren werden in Reihe geschaltet, so dass das Medium durch alle Bioreaktoren zirkuliert. Über den Lichteinfall heizen sich die Reaktoren tagsüber zusätzlich auf, ihre Funktionsweise entspricht solarthermischen Absorbern. Der Kreislauf wird über die

Haustechnik geführt, wo an zentraler Stelle Biomasse und Wärme entnommen werden kann; die gewonnene Energie wird von der Energiemanagementzentrale gespeichert bzw. verteilt.

2 Wärmetauscher

Im Haustechnikraum wird die Wärme über einen Wärmetauscher abgeleitet und anschließend im bzw. am Gebäude gespeichert (Erdspeisespeicher bzw. PCM-Speicher) oder direkt für die Brauchwassererwärmung genutzt.

3 Algenabscheider

Die beim Wachstum der Algen entstehende Biomasse wird über einen Algenabscheider automatisch geerntet und kann anschließend in einer Konversionsapparatur zu Methan (Biogas) umgewandelt werden.

4 Konversionsanlage

Die in der Biomasse enthaltene Energie kann durch die Biologische Konversion (der mikrobiellen Prozess der Fermentation) oder die physikalisch chemische Konversion (die sogenannte hydrothermale Konversion) zu Biogas umgewandelt werden:

Beide Verfahren erreichen etwa gleich hohe Konversionseffizienzen von etwa 70-80 % (i.e. Anteil, mit dem die Energie in der Biomasse in Energie in Form von Methan umgewandelt wird). Bei dem vorliegenden Forschungsprojekt soll aufgrund der vorhandenen Erfahrungen mit der Technologie die hydrothermale Konversion zum Einsatz kommen.

Der gasförmige Brennstoff kann verschiedenen Verwertungswegen zugeführt (Einspeisung ins öffentliche Erdgasnetz, Betanken von Erdgas-Autos, Nutzung in Blockheizkraftwerken) oder nahezu verlustfrei gespeichert werden.

5 Zu- und Ableitungen

Die Leitungszuführung ist vergleichbar mit der Druckluftzuführung von ETFE-Kissen. Der Leitungsdurchmesser beträgt ca. 25 mm.

6 Haustechnik / Energie-Management Zentrale

Eine kontinuierliche Kultivierung mit minimalem Unterhaltsaufwand wird durch eine automatisierte Prozess- und Anlagenführung ermöglicht, der die Kultivierung der Alge mit deren Ernte und Verwertung koppelt und am Gebäudestandort realisiert. Die benötigte zusätzliche Haustechnik kann als „plug-in“ in standardisierte Haustechniklösungen integriert werden. Die Wasserver- und entsorgung der Bioreaktoren erfolgt direkt über das städtische Frisch- und Abwassersystem.

Neben der Steuerung der Stoff- und Energieflüsse kann über die Energie-Management Zentrale auch die vertikale und horizontale Ausrichtung der Bioreaktorfassade erfolgen um die Produktion von Wärme und Biomasse, aber auch die Funktionalitäten Wärme- Hitze- und Lichtschutz sowie Schalldämmung zu steuern.

Die für die Prozess- und Anlagenführung entwickelte Steuerungstechnik entspricht einem gängigen Standard und kann deshalb in entsprechenden Anlagen (z.B. SPS von Siemens) zusammen mit der Steuerung der übrigen Haustechnik erfolgen.

2. Entwicklung und Erprobung der Mikroalgentechnologie

Die SSC GmbH führt seit Anfang 2008 umfangreiche Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Verfahren und Anlagen zur großtechnischen Kultivierung von Mikroalgen durch. Mit Unterstützung der Stadt Hamburg und in Kooperation mit der E.on Hanse AG wurde dazu im August 2008 eine Pilotanlage in Hamburg Reitbrook in Betrieb genommen (Abb. 3).

An dieser Pilotanlage konnten in Zusammenarbeit mit verschiedenen Hochschulen und Universitäten aus Norddeutschland im Rahmen des interdisziplinären F&E Projektes TERM (Technologien zur Erschließung der Ressource Mikroalgen) die Voraussetzungen geschaffen werden, damit die Mikroalgentechnologie im Fassadenbereich eingesetzt werden kann. Dazu gehören:

- Mikroalgen in Nordeuropa unter unterschiedlichen Licht- und Temperaturbedingungen ganzjährig (sommers wie winters) im Freiland kultivieren zu können.
- Mittels neu entwickelter Reaktortechnologie hohe Zelldichten im Reaktor und damit hohe Produktionsraten zu erzielen (10-100 g Trockengewicht pro m² Reaktoroberfläche und Tag), wobei das eingestrahlte Licht mit einer Effizienz von 5-8 % in Algenbiomasse überführt wird.
- Den Bewuchs der Reaktoroberflächen (sog. Biofouling) effektiv zu verhindern.
- Eine kontinuierliche Kultivierung mit minimalem Unterhaltsaufwand durch eine automatisierte Prozess- und Anlagenführung zu ermöglichen.

Seit November 2010 arbeitet die SSC GmbH im Rahmen eines Verbundprojektes gefördert durch die Zukunft Bau (i.e. Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, BMVBS) mit den Firmen ARUP GmbH und Colt AG an der Entwicklung einer Mikroalgentechnologie speziell für den Einsatz an Fassaden (sog. Bioreaktorfassaden). Dazu gehört ein angepasstes Trägersystem, ein Steuerungssystem und ein in die Haustechnik integriertes Energiemanagementsystem. Damit stehen zeitnah die Verfahrens- und Anlagentechniken zur Verfügung, um die Bioreaktorfassade am Smart Treefrog (IBA 2013) sicher realisieren und betreiben zu können.

Abbildung 3: Umsetzung und Erprobung der Mikroalgentechnologie der SSC GmbH auf dem Gelände der E.on Hanse AG in Hamburg Reitbrook: Mikroalgen werden in plattenförmigen Photobioreaktoren, die in Reihe auf einem Nachführsystem montiert sind, kultiviert (Abbildung: ©SSC GmbH).



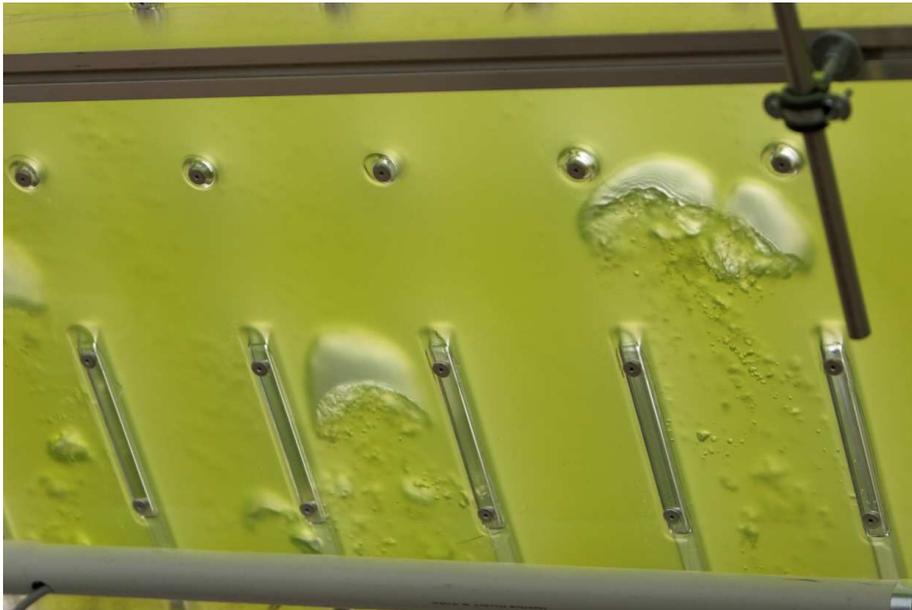


Abbildung 4: Teilansicht eines Photobioreaktors der Firma SSC, in dem eine hohe Strömungsgeschwindigkeit und damit Turbulenz durch große, aufsteigende Luftblasen erzeugt werden. Diese Turbulenz verhindert effektiv die Bildung von Biofouling (Abbildung: ©SSC GmbH).



Abbildung 5: Rückansicht eines Bioreaktors – der Bioreaktor besteht aus zwei tiefgezogenen PET-Kunststoffschalen (100% recyclebar), die einen ca. 2cm breiten Hohlraum einschließen, durch das das Medium mit den Algen zirkuliert (Abbildung : ©SSC GmbH)

1-Kopfbereich, 2-Verschraubung der tiefgezogenen Halbschalen zur Versteifung, 3-„Antriebsbereich“, 4-verklebter Randbereich der Halbschalen (Verschweißung der Halbschalen in Planung), 5-Einleitung Druckluft, 6-Zuleitung Medium, 7-Zuleitung Rauchgas (CO₂)

3. Mehrwert von gebäudeintegrierten PBR

Aus der in Absatz 2 aufgeführten Technologiebeschreibung ergibt sich direkt folgender Mehrwert für eine Kultivierung von Mikroalgen in Bioreaktorfassaden an Gebäuden:

- Über die Biomasse wird CO₂ gespeichert
- Aus der Biomasse wird Methan als erneuerbare Energiequelle gewonnen
- Gleichzeitig wird Wärme gewonnen, die im Gebäude genutzt werden kann
- Als multifunktionales Fassadenelement dienen die Bioreaktoren darüber hinaus dem Lichtschutz, Wärme/Kälteschutz und Schallschutz.

In Bezug auf die Energie werden in Tabelle 1 energetische Kennzahlen aufgeführt, wie sie im Rahmen des F&E Projekt TERM von der Firma SSC GmbH als Jahresmittelwerte für ihre Anlagentechnik erhoben wurden. Maximale Biomasse Produktionsraten lagen für Hamburg bei 100g TS/m²/Tag.

Basisdaten pro qm Reaktorfläche als Jahresmittelwerte		
Produktion Biomasse ¹	15	g TS/m ² /Tag
Produktion Energie in Biomasse	345	KJ/m ² /Tag
Produktion Biogas aus Biomasse	10,20	L Methan/m ² /Tag
Kennzahlen Energie für 200 qm Reaktorfläche; 300 Tage Produktion im Jahr		
Biomethanproduktion ²	612	m ³ Methan/a
Energie in Methan	6487,2	kWh/a
Verlust Energie (Hilfsstrom, etc) ³	30	% der Produktion
Netto Energie als Methan	4541,04	kWh/a
Netto Energie aus Wärme	ca.6000	kWh/a

Tabelle 1 . Energiebilanz für eine Biomasseproduktion in einer Bioreaktorfassade mit Standort Nordeuropa.

Zusätzlich zur Energieproduktion können Bioreaktorfassaden herkömmliche Systeme für den außenliegenden Sonnenschutz und Kollektoren bei zusätzlichem Mehrwert ersetzen.

¹ Stefan Hindersin. Biomassenproduktion durch Mikroalgen. Einflüsse von Licht, Kohlenstoffdioxid und Rauchgas auf die Produktivität von Mikroalgenkulturen in Photobioreaktoren. Diplomarbeit Uni Hamburg , September 2009.

² Alexander Zapf. Methods to enhance the methane yield from the anaerobic digestion of microalgae. Master Thesis, September 2009.

Tom Maxfield. Anaerobic digestion of microalgae – methods of methane yield enhancement. Master Thesis, November 2009.

³ Seven Feige. Assessment of microalgae technology for large scale biomass production based on biofixation of carbon dioxide in flue gases from cement production. Diplomarbeit, Mai 2010

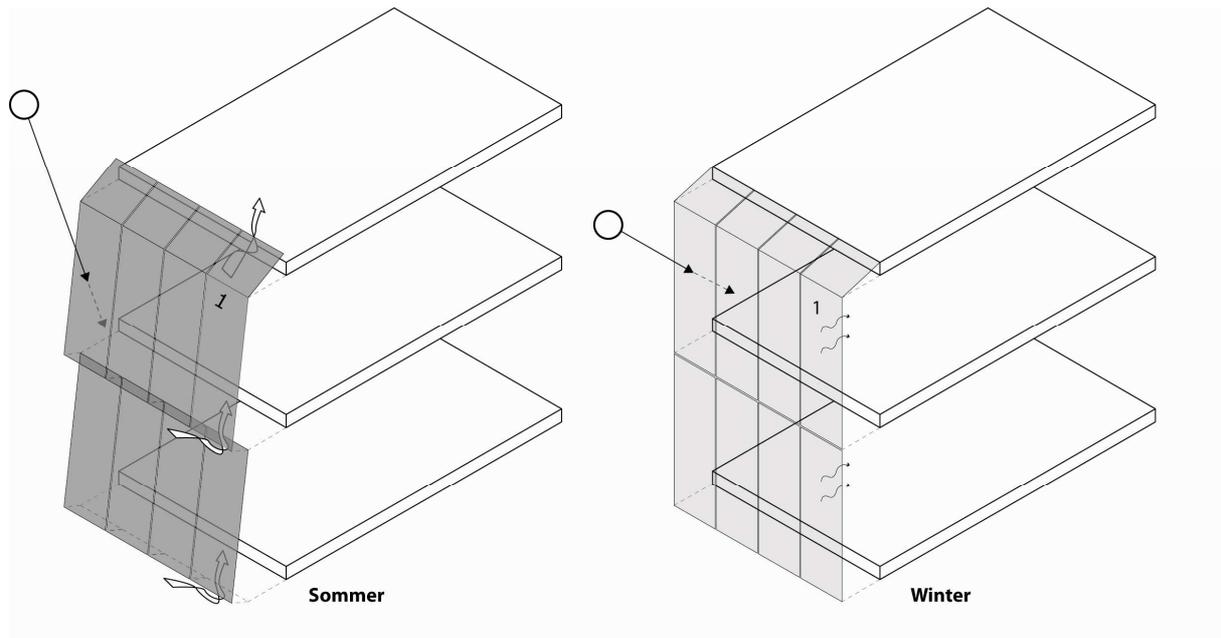


Abbildung 6: Schema zur Funktion einer Bioreaktorfassade im Winter und Sommer – die Bioreaktoren können geführt werden, um eine natürliche Ventilation zu ermöglichen bzw. die Orientierung zur Sonne zu optimieren (Abbildung: ©Arup GmbH).

In den folgenden Abbildungen 7 und 8 werden die Möglichkeiten für Einbausituationen für gebäudeintegrierte PBR dargestellt mit denen die oben aufgeführten Funktionalitäten erreicht werden können.

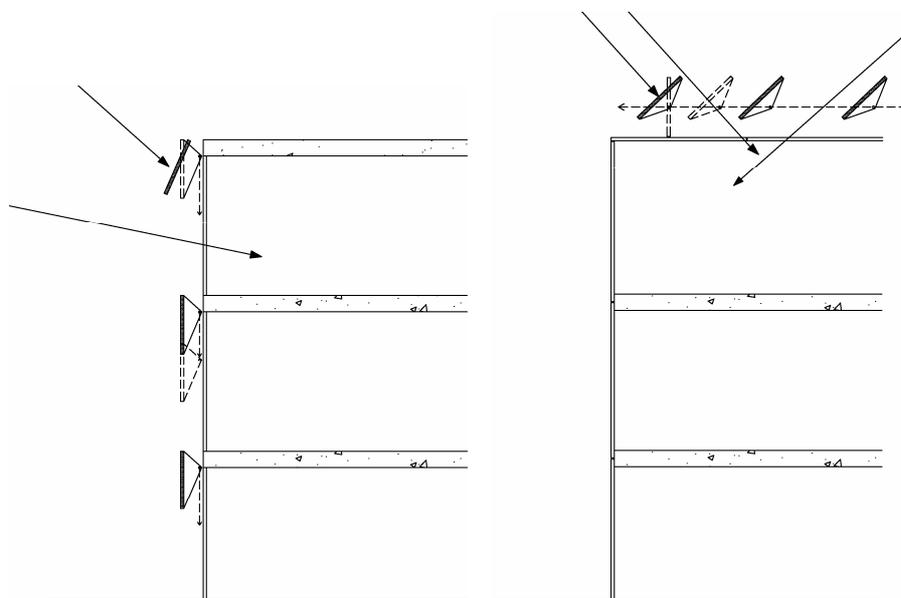


Abbildung 7: Einbausituationen von außenliegenden Bioreaktoren – links: Sonnenschutzmarkise, bzw. –großlamelle (starr oder einachsiger nachgeführt), rechts: auf Dächern montierte Großlamellen (starr oder ein- bzw. zweiachsig nachgeführt) auch als außenliegende Sonnenschutzelemente bei Glasdächern (Abbildungen: ©Arup GmbH).

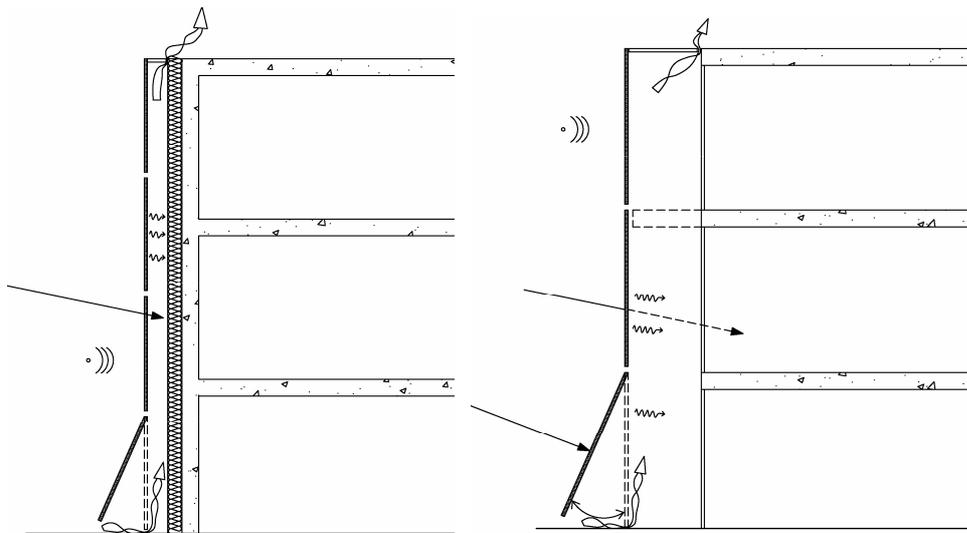


Abbildung 8: Einbausituationen von integrierten Bioreaktoren – links: hinterlüftete Außenwandbekleidung / Kaltfassade, rechts als außenliegende Haut bei Doppelfassade für zusätzlichen Wärme- / und Schallschutz (Abbildungen: ©Arup GmbH).

4. Welche Standorte und Gebäudetypen eignen sich für die Technologie?

In Abbildungen 9-12 werden anhand von gebäudeintegrierten PV-Projekten der Firma Colt die möglichen Anwendungsmöglichkeiten illustriert.



Abbildungen 9: Referenz außenliegende, drehbare Sonnenschutzelemente Büronutzung, PSD-Bank Karlsruhe, COLT GmbH



Abbildungen 10: Referenz außenliegende starr montierte Sonnenschutzmarkisen, Würth Waldenburg, COLT GmbH



Abbildung 11: Referenz außenliegende, drehbare Sonnenschutzelemente Sheddach, Visby, Ausführung: COLT GmbH



Abbildung 12: Referenz hinterlüftete Außenwand, Handwerkskammer Koblenz, Ausführung: COLT GmbH

Das System eignet sich für die folgenden Gebäudetypen, die Reihenfolge spiegelt dabei die zu erwartende sukzessive Markterschließung wieder:

- Industrie und Gewerbebauten
- Siedlungsbau
- Kommerzielle Bauten
- Gebäude der öffentlichen Infrastruktur

Da das Fassadensystem CO₂ und Rauchgas zu speichert, bietet sich die Integration in Hallen von Industrie und Gewerbe an, um das bei Prozessketten anfallende CO₂ abzubauen. Zudem unterstützt die Größenausdehnung der Fassaden- und Dachflächen industriell genutzter Flachbauten den wirtschaftlichen Betrieb. Flach- und Sheddächer, aber auch südausgerichtete Fassaden stellen ideale Bedingungen dar. Dabei kommt die Bioreaktorfassade nicht nur bei Neubauten, sondern

insbesondere auch für das Retrofitting bestehender Konstruktionen in Betracht. Mit der Installation von Bioreaktoren kann die gestalterische Aufwertung des Bestandes entscheidend aufgewertet werden. Der an der Fassade ablesbare Abbau des CO₂ stellt für Industriebetriebe einen Imagevorteil dar, der in der Wertschöpfung nicht zu vernachlässigen ist. Das System wird so zum Baustein der Umweltkommunikation – die Produktionsrate der Algen und damit der Abbau von CO₂ kann unmittelbar an der Grünfärbung der Fassade abgelesen werden.

Es folgt die Verwendung für den Siedlungsbau und hier vor allem in der Realisierung von Plusenergiehäusern. Aufgrund dessen gestalterisches Potential und Multifunktionalität eignet sich das Modul, das neben der nachhaltigen Energieerzeugung, den Sonnen-, Wärme- und Schallschutz verbessert, für Verkleidungen von Erschließungszonen, hinterlüfteten Außenwandbekleidungen und Wintergartenkonstruktionen. Für die Speisung des Systems mit Rauchgas ist die Kopplung an Blockheizkraftwerk der Siedlung eine erfolgsversprechende Möglichkeit. Die Technologie wird gemeinsam mit der PV Technologie zur Anwendung kommen und solarthermische Absorber für den Wohnungsbau am Markt ablösen.

Bei kommerziell genutzten Gebäudetypologien ist wie bei der Verbreitung der PV davon auszugehen, dass die Entscheidungsträger frühzeitig das Potential der Technologie erkennen, dem Unternehmen ein nachhaltiges, im wahren Sinne des Wortes „grünes Image“ zu verleihen. Bei der Verwendung als Kaltfassade beispielsweise als Brüstungsplatten oder als Sonnenschutzmarkisen kann die gewonnene Wärme über Kältepumpen zu der Konditionierung der Büroflächen beitragen.

Großprojekte der öffentlichen Infrastruktur wie Flughafen- und Bahnhofshallen und –dächer stellen aufgrund der großen Ausdehnung an Fassaden und Dachflächen ideale Bedingungen für eine Integration des Systems dar. Bei den großflächig verglasten Terminalhallen lässt sich das System als Sonnenschutz integrieren. Die Versorgung mit CO₂ lässt sich mithilfe der bestehenden Haustechnik bei Projekte dieser Größenordnung leicht bewerkstelligen.