

## Mit transparenten PVC-Rohren Algen ins rechte Licht gerückt

Die Entwicklung, Rohmaterialien auf Basis von nachwachsenden anstelle von fossilen Rohstoffen zu verwenden, wird von führenden Wirtschaftsforschern als der wichtigste Trend der globalen chemischen Industrie für die nächsten 25 Jahre gesehen. Ein weiteres sehr interessantes Konzept erregt in diesem Zusammenhang momentan das Interesse von Investoren verschiedener Produktbranchen: Hierbei handelt es sich um die sehr geschickte Vernetzung eines sog. Photobioreaktors (PBR), d.h. Biomassenerzeugung auf Algenbasis mit einer Biogasanlage und einem Blockheizkraftwerk. Der so geschlossene Kreislauf bündelt effizient Stoff- und Energieströme und eignet sich neben der Biomassenherstellung auch zur effizienten Synthese von Naturstoffen, Pharmazeutika, Tierfutter, Dünger, Nahrungs- und Nahrungsergänzungstoffen. Die Algentechnologie eröffnet zudem die sehr elegante Möglichkeit zur Herstellung von Bio-Treibstoffen – und dies alles, ohne in Konkurrenz zur konventionellen Landwirtschaft zu treten. Das Ausmaß, mit dem die Technologie der Zucht von Mikroalgen zur Biomassenerzeugung zur Lösung der zukünftigen Energie- und Lebensmittelversorgung der globalen Gesellschaft beitragen wird, hängt sehr entscheidend von den Investitionskosten, der Lebensdauer sowie der Effizienz der verwendeten Reaktorsysteme ab. Der vorliegende Beitrag beschreibt das Grundkonzept dieser Technologie und den Stand der Technik der aktuellen Reaktorentwicklung. Insbesondere konzentriert sich die Beschreibung dabei auf das zu erwartende Potenzial aus der Verwendung von speziell für diese Anwendung formulierten transparenten PVC-Rohren als

Basis für PBR-Systeme. Auch werden die technischen Vorteile und Charakteristika eines innovativen PBR-Systems vorgestellt, in dem extrem dünnwandige transparente PVC-Rohre zur Anwendung kommen. Derartige Systeme liefern eine perfekte Antwort auf die aktuell von Fachleuten an PBR-Systeme gestellten technischen und wirtschaftlichen Anforderungen.

### 1. Einleitung

Man "nehme": Wasser, Licht, Kohlendioxid und einige Spuren an Mineralien – das ist alles! Mikroalgen wachsen sehr schnell – deutlich schneller als jede herkömmliche Nutzpflanze. Über Jahrmillionen hat die Evolution dank sehr effizienter Photosynthese dafür gesorgt, dass über die Zucht von Mikroalgen – je nach verwendeter Algenstämme – sehr effizient hochwertige Biomasse mit hohen Anteilen an Ölen und Fettsäuren, Kohlehydraten, Eiweißen oder sehr speziell ausgewählten Naturstoffen (z.B. Beta-Carotin oder Astaxanthin) zugänglich wird.

Bei Mikroalgen handelt es sich um eine der besterforschten Pflanzengruppen überhaupt. Weltweit werden seit Jahren enorme Anstrengungen unternommen, um die Ausbeute an bestimmten Algen-Bestandteilen immer weiter zu erhöhen oder die Zusammensetzung der Algen speziellen Erfordernissen optimal anzupassen. Obwohl die grundsätzliche Idee der Verwendung von Mikroalgen als Rohstoffquelle schon seit Jahrzehnten theoretisch bekannt ist, hat die kommerzielle Umsetzung dieser Technologie gerade erst begonnen und steckt in einigen Bereichen sogar noch in den Kinderschuhen. Ein ständig steigender globaler Bedarf an Futter- und Lebensmitteln verlangen in zunehmendem Maße nach Quellen für Biomasse, die nicht an Rohöl oder die konventionelle Landwirtschaft mit ihren endlichen Flächen des Ackerbaus gekoppelt sind.

Die international renommierte Wirtschaftsforschungsgesellschaft Frost und Sullivan sieht in der Abkehr vom Rohöl hin zu nachwachsenden Rohstoffen als Basis für organische chemische Grundstoffe einen der wichtigsten globalen Trends in der chemischen Industrie bis zum Jahr 2020<sup>1)</sup>. Die Tatsache, dass die meisten Algenarten keine besonderen Ansprüche an die Wasserqualität stellen und keinen Ackerboden zum Wachstum benötigen, hat das Interesse an der Nutzung dieser Technologie ebenfalls enorm beflügelt. Die PBR-Anlagen können also z.B. auch

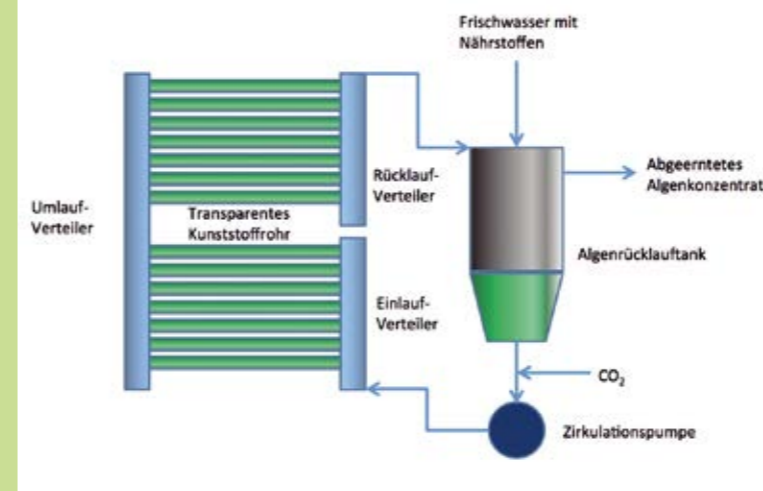


Abbildung 1: Allgemeines Funktionsprinzip eines Photobioreaktors zur Zucht von Mikroalgen

die Suspension vordringen kann und der Prozess für die „Ernte“ unterbrochen werden muss. Alternativ hierzu existieren Reaktorausführungen, in denen kontinuierlich Algenbiomasse geerntet wird. Die weitere Aufarbeitung der Algenbiomasse umfasst eine weitere Aufkonzentration, Zentrifugieren, Aufbruch der Zellen gefolgt von einer individuellen Aufarbeitung, Wertstoffextraktion oder anderen

Trennschritten. Evtl. verbleibende Restbiomasse kann ebenfalls (z.B. in einer Biogasanlage) mitverarbeitet werden. Abb. 2 zeigt die grundsätzlichen Verwertungswege.

in der Wüste installiert werden. Damit ergänzt die Algentechnologie die konventionelle Landwirtschaft. Einige relevante Algenstämme weisen sogar eine bis zu fünffach höhere Flächenproduktivität als Mais (als eine der produktivsten konventionellen Nutzpflanzen) auf. Aber wie funktioniert nun diese Technik? Im Prinzip recht einfach. Abb. 1 gibt die Antwort.

### 2. Photobioreaktoren

Um nun das oben beschriebene Potenzial der Algentechnologie vollständig zu nutzen, bedarf es bezahlbarer, einfach zu betreibender und langlebiger PBR-Anlagen, die zudem so wachstums- und energieeffizient wie möglich arbeiten. Abb. 3 zeigt vereinfacht die „Produkt-Pyramide“ in den für die Algentechnologie relevanten Märkten samt deren geschätzten Marktgrößen.

Eine Suspension von Mikroalgenzellen zirkuliert unter Bestrahlung mit Sonnenlicht oder geeignetem künstlichen Licht in einem geschlossenen System aus (z.B.) transparenten Rohren (dem sog. Photobioreaktor). Hierbei wird eine kontinuierlich steigende Konzentration an Algenzellen erreicht; schließlich hat die Konzentration eine Schwelle überschritten, oberhalb der keine nennenswerte Lichtmenge mehr in

Abbildung 2: Schema zur Produktion und Aufarbeitung von Mikroalgen-Biomasse

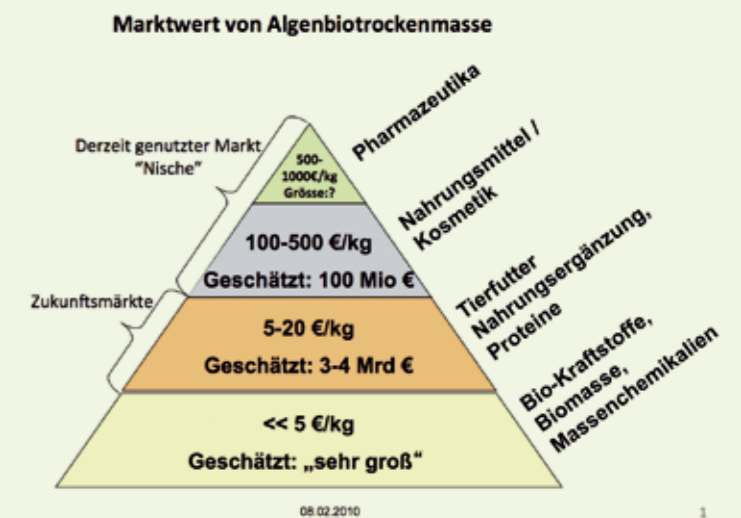
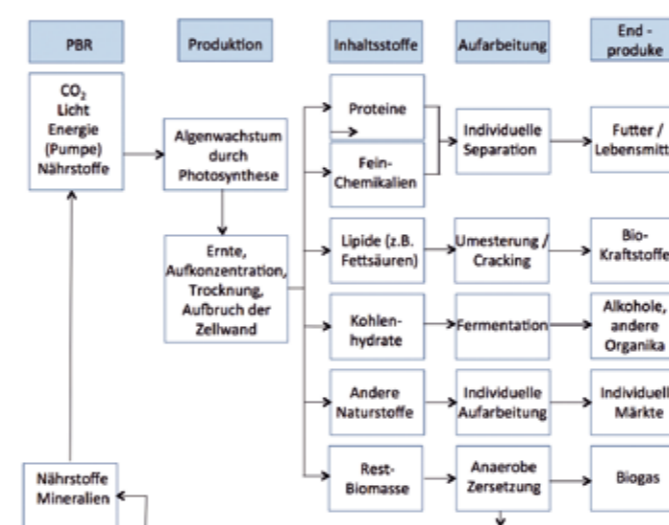


Abbildung 3: Produktpyramide samt abgeschätztem Marktpotenzial für aus Mikroalgen-Biomasse hergestellte Folgeprodukte

Die typische Kostenrechnung für sog. Algenbiotrockenmasse (BDM) auf Basis gängiger Algenstämme liefert 4-10 €/kg BDM je nach Alge und Zuchtprozess<sup>2)</sup>. Kein Wunder also, dass die Technologie in den Premiummärkten (s.v.) schon seit jeher ein sehr profitables Geschäft ist – wirtschaftlich unabhängig von der Natur und der dabei verwendeten PBR-Konzepte. Die sinnvolle

Erschließung der deutlich größeren Märkte im Futter- und Nahrungsmittelsegment hingegen gelingt nur unter Verwendung entsprechend effizienter Bioreaktoren<sup>3)</sup>. Ein zusätzlicher Aspekt muss beachtet werden, wenn man aus Mikroalgen Biotreibstoffe gewinnen möchte: Nur die technologischen Wege sind hier sinnvoll, die am Ende eine Algenbiomasse liefern, deren relevanter Energiegehalt höher ist als die Summe der Energieformen, die zu ihrer Erzeugung verbraucht wurden. Also kommt es spätestens an dieser Stelle entscheidend darauf an, eine möglichst energieeffiziente PBR-Technik zur Verfügung zu haben. Dabei kommen der Wahl der passenden Rohmaterialien zur Herstellung der PBR-Rohre dem PBR-Design, der Betriebsweise des Reaktors sowie den Details der Biomassenaufbereitung Schlüsselrollen zu.

Entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat schließlich auch das Ausmaß, in dem die Einzelbestandteile der BDM möglichst komplett weitergenutzt werden können<sup>4)</sup>. Beim Versuch, den PBR möglichst (Energie-) effizient zu betreiben, muss man berücksichtigen, dass nur ein ganz bestimmter Teil des Sonnenlichts für das Photosynthese-System der Algen nutzbar ist (sog. Photosynthesis-Active-Radiation PAR, 400-750 nm). Somit muss jedes PBR-Design diesen Spektralbereich des Lichtes optimal ausnutzen. Andererseits gibt es für jedes Algensystem eine individuell festgelegte Schwelle der sog. Lichtsättigung, oberhalb derer die Algensuspension bei weiterer Intensitätssteigerung des Lichtes nicht mehr mit einer weiteren Wachstumssteigerung, sondern zunehmend sogar mit Wachstumsschwächung reagiert. Ein optimales PBR-Konzept berücksichtigt diesen Umstand durch eine angemessene „Verdünnung“ der Lichtmenge. In der Natur findet man dieses Prinzip natürlich auch wieder: Jeder Baum z.B. sorgt durch eine ihm und dem Standort eigene Entwicklung der Blattmenge und -größe für die optimale Balance zwischen Photosynthese und Beschattung. Es gibt aber noch eine

ganze Anzahl weiterer Faktoren, die einen sehr gewichtigen Einfluss auf den Wirkungsgrad einer PBR-Anlage haben; als Beispiele seien hier die Temperatur-Begrenzung, optische Effekte (vor allem Streuung und Reflexion), die lokale Sauerstoffkonzentration, Strömungswiderstände, die UV-Beständigkeit der Materialien sowie die UV-Abschirmung der Algenmasse, bakterielle Verkeimung, ein tottraumarmes Design, die optimale Einstellung der Hell-Dunkel-Zyklen bei der Bestrahlung der Algenzellen und schließlich die langfristige chemische Beständigkeit der Reaktormaterialien gegenüber den bei der periodisch durchgeführten Reinigung des Reaktors genannt. All die vorgenannten Aspekte und vor allem auch die grundlegenden Prinzipien der sog. Quantenausbeute bei der Photosynthese sind dafür verantwortlich, dass der in die Praxis tatsächlich für das Algenwachstum ausgenutzte Energieanteil des Sonnenlichts nie mehr als 5 % betragen kann. Typische Werte aktueller PBR-Designs bewegen sich im Bereich von nur 3 %<sup>5) 6)</sup>.

PBR-Anlagen können in unterschiedlichen technischen Basiskonzepten gebaut werden; grundsätzlich unterscheidet man dabei zunächst zwischen sog. geschlossenen oder offenen Systemen. Bei den offenen Systemen spricht man i.d.R. von sog. „Open Ponds“ (vgl. Abb. 4a). Es handelt sich dabei um künstlich angelegte seichte Gewässer mit vorgegebener Strömung; sie sind kostengünstig und einfach im Unterhalt, haben jedoch den Nachteil einer sehr geringen Effizienz und hohem Kontaminationsrisiko. Die Qualität der hier gewonnenen Algenbiomasse ist daher

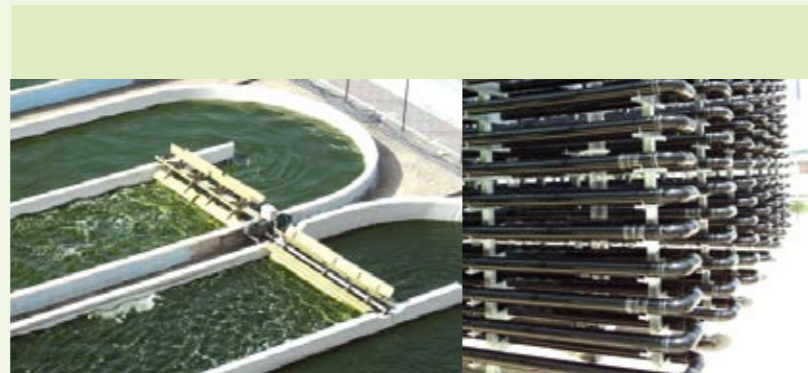


Abbildung 4a: „offene“ Photobioreaktoren (Courtesy of climatetechwiki.org)

Abbildung 4b: „geschlossene“ Rohr-basierende Photobioreaktoren (GF DEKA)

auf bestimmte Anwendungen begrenzt. Bei den geschlossenen PBR-Systemen gibt es neben den klassischen (horizontalen) Rohrreaktoren noch zwei weitere oft verwendete Designkonzepte: Vertikal stehende Blasen-Säulen und Plattenreaktoren, wobei den Rohr-basierenden PBR von der Mehrheit der Fachleute das höchste kommerzielle Potenzial zugerechnet wird.

### 3. Transparentes PVC als vielversprechende Materialbasis für Photobioreaktoren

Bisherige Designs und Konstruktionen von PBR-Anlagen trugen in der Vergangenheit mehrheitlich die Handschrift von Biotechnologen und Biologen – nicht von Materialwissenschaftlern; man stützte sich daher bei der Material- und Bauteilauswahl auf das, was am Markt einfach erhältlich war. Es ist daher kein Wunder, dass PBR-Anlagen dieser Generation zunächst auf Basis von Glas, Plexiglas (PMMA) oder Polycarbonat (PC) kommerzialisiert wurden und sehr teuer waren. Deutlich günstigere Materialalternativen, dies betrifft im wesentlichen transparentes Standard PVC-U, fanden bislang aus Gründen mangelnder UV-Stabilisierung und unzureichender optischer Qualitäten keine Verwendung. Die Kombination von einem guten Prozessverständnis der Erzeugung von Biomasse aus Mikroalgen einerseits und einem sehr tiefen Know-how im Bereich der Rohrextension und Rezepturenentwicklung von (transparentem) PVC andererseits macht es aber möglich, eine neue Materialalternative zu entwickeln. Dieser Werkstoff ist ein transparentes weichmacherfreies PVC, das in idealer Weise auf die spezifischen Anforderungen bei der Verwendung in PBRs zugeschnitten ist. Die

Verfügbarkeit eines solchen – auch bezahlbaren – Materials kann als eine der wesentlichen Voraussetzungen zur Erschließung der zuvor genannten Märkte mit deutlich größerem Volumen unterhalb des „Premiumsektors“ (vgl. Abb. 3) gesehen werden.

(Futter- und Nahrungsergänzungsmittel, Biotreibstoff) Tabelle 1 stellt die wichtigsten Charaktereigenschaften dieses Materials mit den daraus erwachsenden Anwendervorteilen für PBR-Bauteile zusammen.

Vorteil	Technischer Nutzen
Hohes Molekulargewicht bei hohem Chloranteil; hoher E-Modul und Vicat-Erweichungstemperatur > 74°C	Sehr attraktives und ausgeglichenes thermomechanisches Eigenschaftsprofil; die Druckrohranforderung der DIN 8061/62 werden sogar bis T=40°C erfüllt; größere Schellenabstände möglich
Auf die spezifischen Anforderungen von PBRs abgestimmte Formulierung	Verbesserte UV-Beständigkeit; außergewöhnlich gute Transparenz im PAR-Bereich
Verzicht auf den Einsatz von Schlagzäh-Modifizierern	Erhöhung der chemischen Beständigkeit gegenüber den verwendeten Reinigungssubstanzen (Ozon, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , Natronlauge, Salpetersäure, Bleichlauge)
Herstellung von extrem dünnwandigen (s << 1,0 mm) Rohren möglich	Wichtiger Aspekt bei der Herstellung kostengünstiger Reaktoren
Zulassung nach europäischem Lebensmittelrecht möglich	Erschließung weiterer Märkte im Lebensmittelsegment
Sehr gute Oberflächenqualitäten	Beitrag zur Reduktion der Verkeimungsgefahr der Rohrrinnenwandungen; Erhöhung der Lichtdurchlässigkeit

Die aus solch einem PVC-Material hergestellten Rohr-basierenden Photobioreaktoren wiederum weisen eine Reihe von außerordentlichen Vorteilen für den Anwender auf:

- Der gesamte transparente Bereich des PBR (auch komplexe Bauteile wie z.B. Verteiler) basiert auf ein und demselben Material. U-Bögen sind aus Rohren thermo-formbar.
- Die Verbindungstechnik ist einfach und vielseitig: Sie reicht von einfachen (aber sehr präzise zu fertigenden angeformten) Steckmuffen, über Schweiß- bis hin zu Klebeverbindungen. Lösare Verbindungen

können über Flansche realisiert werden.

- Anwendungsbezogen ist eine kostengünstige signifikante Erhöhung der UV-Stabilität möglich, so dass Außenanwendungen für diese Reaktoren ebenfalls möglich werden.
- Kundenspezifisch können die optischen Eigenschaften der PBR-Komponenten noch sehr durch den Einsatz von Funktionsadditiven und Filtrern modifiziert werden.

### 4. Eine neue Generation von Rohr-basierenden PBR-Systemen aus transparentem PVC-U

In enger Zusammenarbeit mit einem niederländischen Entwicklungspartner mit Kernkompetenz in der Bioprozess-Technologie ist es nun gelungen, einen sehr richtungsweisenden und innovativen Prozess zum Betrieb eines Rohr-PBR mit diesem neuen transparenten PVC optimal zu verknüpfen. Ein wesentliches Merkmal dieses Prozesses ist die Betriebsweise mit zwei Phasen: Entsprechend konditioniertes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder abgekühlte Verbrennungs-Abgase einer

Turbine oder eines Kraftwerkes werden am untersten Punkt des PBR-Rohrsystems in die Algensuspension injiziert und beanspruchen als „wandernde“ Gasblase ca. ein Drittel des Reaktorvolumens. Da die PBR-Rohre mit leichtem Neigungswinkel gegen die Horizontale verlegt sind, sorgt der natürliche Auftrieb der Gasblase für eine Wanderung derselben, wobei dieser Prozess im Bedarfsfall durch eine Zirkulationspumpe unterstützt werden kann. Diese Betriebsweise erzeugt eine Wellenbildung samt Turbulenzen in der Flüssigphase mit folgenden wichtigen positiven Effekten auf die Algensuspension:

- Sehr wirkungsvoller Übergang von CO<sub>2</sub> in die Algenzelle
- Vermeidung einer wachstumsschädlichen lokalen Überkonzentration von Sauerstoff in den Algenzellen
- Vermeidung von Ablagerungen und Verkeimungen an den Rohrwänden (sog. Biofouling)
- Ideale Umwälzbedingungen der Algensuspension in der biologisch für Hell-Dunkel-Zyklen geforderten Frequenz < 1 Hz

Ein weiterer signifikanter und eminent wichtiger Vorteil dieses Konzeptes zum Betrieb des Reaktors ist der extrem niedrige Betriebsdruck von << 0,5 bar bei o.g. Verfahrensweise. Bei geeigneter Horizontalneigung kann oft auch ganz auf eine Zirkulationspumpe verzichtet werden. Eine weitere deutliche Verringerung des Energiebedarfs durch Druckverluste bei der Zirkulation ist die Verwendung von U-Bögen, die – aus denselben Rohren via Thermoformen hergestellt – über einen größeren Bogenradius ( $r \gg 2$  Rohraußendurchmesser) verfügen. Durch diese Maßnahme kann der Energiebedarf dieser Reaktoren im Vergleich zu bisher kommerzialisierten (Glas-) Reaktoren um mindestens eine Größenordnung, bei Verzicht auf die Zirkulationspumpe sogar um mehr als zwei Größenordnungen reduziert werden.

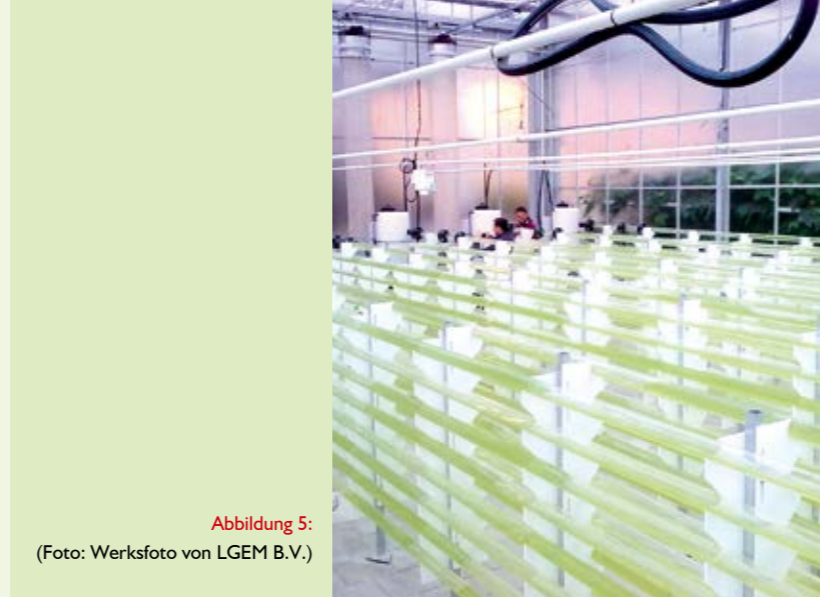


Abbildung 5:  
(Foto: Werksfoto von LGEM B.V.)

Die Länge einer einzelnen Rohrschleife wird durch die Höhe der lokalen Sauerstoffkonzentration limitiert; durch den sehr einfachen und wirkungsvollen Gasaustausch dieses Konzeptes lassen sich extreme Leitungslängen von mehr als 250 m realisieren. Für das Design der benötigten Komponenten hat dieses Betriebskonzept auch entscheidende Auswirkungen: Der außerordentlich geringe Betriebsdruck ermöglicht die Verwendung von bisher ungeahnt dünnwandigen Rohren: Typischerweise kommen transparente PVC-U Rohre der Abmessung 63x0,5 mm hier zur Anwendung. Die einfachste und kostengünstigste Verbindungstechnik bei diesen Reaktoren erfolgt über aus entsprechend dimensionierten Rohren gefertigte Doppelmuffen; **Abb. 5:** zeigt eine Batterie aus kommerziell erhältlichen PBR mit einem Gesamtvolumen von je 750 l, die diese Technologie verwendet.

Enorme Kostenvorteile gegenüber den Plattenreaktoren ergeben sich bei diesem PBR-Konzept auch beim Upscaling in den kommerziell interessanten Hektar- Bereich, da dies zum großen Teil nur mit einer Verlängerung der Rohrschleifen verknüpft ist.

Vor dem Hintergrund all der vorgenannten Charakteristika kann die Entwicklung eines dünnwandigen PBRs auf Basis der „Bubble-Brush“™-Technologie ohne Zweifel als ein sehr bedeutender Schritt im Hinblick auf die Reduzierung der Investkosten bei gleichzeitiger deutlicher Erhöhung der Energieeffizienz gewertet werden. Einer auch thermodynamisch sinnvollen Herstellung von Biokraftstoff auf Algenbasis kommt man mit diesem Ansatz einen gewaltigen Schritt näher.

Nach aktuellem Wissenstand auf Basis von echten Wachstumsdaten aus Feldversuchen mit diesem Reaktorkonzept (also keine Extrapolationen aus idealisierten Labordaten) kann im Gewächshausbetrieb in Mitteleuropa ein jährlicher Flächenertrag von 15-45 Tonnen Algenbiotrockenmasse pro Hektar erzielt werden – mehr als die doppelte mit Mais als der effizientesten Biomassenpflanze in konventioneller Landwirtschaft erreichbare Menge.

Abbildung 6: Röhren-Photobioreaktoren auf Basis von 63x0,5mm Rohren aus einer speziell hierfür entwickelten transparenten PVC-Rezeptur. Der Reaktor wird mit der Marken-geschützten „Bubble-Brush“™-Technologie betrieben. (Foto: Mit freundlicher Genehmigung von LGEM B.V.)



Mit Hilfe von Computersimulationen wurde die für diese Reaktortechnologie optimale Rohrordnung in dreidimensionaler Anordnung simuliert und auf optimale Lichtverteilung hin optimiert. Hierbei ergab sich, dass pro Hektar Stellfläche ca. 120 km 63x0,5 mm Rohre mit einem Gesamtvolumen von 360 m<sup>3</sup> in sog. „Stacks“ angeordnet werden müssen; erfreulicherweise können die Investkosten gegenüber bisher verwendeten (z.B. Glas-basierenden) PBR-Systemen bei gleichem Volumen um ca. 90 % gesenkt werden.

### 5. Schlüsselanwendungen, aktuelle Märkte und Ausblick

Wir stehen augenblicklich an der Schwelle der Kommerzialisierung von Rohr-basierenden PBR-Anlagen auf Kunststoffbasis. Bereits jetzt schon erkannte wichtige Zielmärkte sind:

- Die Kopplung an und Integration in bestehende Biogas-/Blockheizkraftanlagen; die grundlegenden wissenschaftlichen Arbeiten und Machbarkeitsstudien hierzu wurden von der TH Berlin Wildau geleistet. Hierbei werden Energie- und Masseströme einer PBR-Anlage, einer konventionellen Biogasanlage und eines Blockheizkraftwerkes elegant in einem Kreislauf gekoppelt. Entstehende Abgase werden direkt wieder als Betriebsgas für den PBR genutzt; „Motor“ ist die Sonne.

- Direkte Nutzung von Mikroalgenkonzentraten als Futter in der Fischzucht
- Düngemittelproduktion auf Basis von Mikroalgen
- Effiziente Produktion von Feinchemikalien, Wirkstoffen, Nahrungsmittelergänzungstoffen sowie bestimmten Naturstoffen (z.B. Omega3-Fettsäuren, Beta-Carotin, Astaxanthin)
- Kopplung einer Algenfarm an großtechnische CO<sub>2</sub>-Erzeuger (z.B. Kraftwerke, Zementfabriken) zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in die Atmosphäre
- Abwasserreinigung
- Kombination der Algentechnologie mit der bereits existierenden Gewächshausindustrie zur besseren ganzjährigen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der kommerziell interessante Einsatz der Erzeugung von Biomasse auf der Basis von Mikroalgen gerade erst begonnen hat; hierbei sind viele theoretisch erkannte Bereiche der unterschiedlichen Wertschöpfungsketten noch nicht komplett entwickelt. Mit einer jetzt kommerziell verfügbaren Materialbasis eines speziell angepassten transparenten PVC und einem sehr Energieeffizienten Rohrreaktorkonzept neuester Generation öffnen sich jedoch die Türen ein ganz großes Stück für die Nutzung dieser Technik zur Ackerboden-unabhängigen Erzeugung von Biomasse. Ein wichtiger Beitrag zur zukünftigen Sicherung des globalen Energie- und Nahrungsbedarfs ist damit ganz sicher geliefert.

### 6. Literaturverweise

- 1) Pressemitteilung, Process Online 2 / 2011
- 2) R. Lisker; Project presentation SAG; July 2012; TH-Berlin Wildau
- 3) C. Posten, Eng. Life Sci., 2009, 9 (3), 165
- 4) R. Wijffels, „An outlook on microalgal biofuels“; Science, 329; 796; 2010
- 5) E. Roebroek, Presentation at HortiFair, Amsterdam; November 2011
- 6) M. Tredici, Presentation at Algae World Europe; Munich, May 2012