



# DAS RWE-ALGENPROJEKT IN BERGHEIM-NIEDERAUSSEM

Produktion von Mikroalgen unter Nutzung von  
Kraftwerksrauchgasen zur CO<sub>2</sub>-Einbindung



|  |    |
|--|----|
| MOTIVATION   | 3  |
| ANLAGENBESCHREIBUNG  | 4  |
| Rauchgasentnahme   | 4  |
| Rauchgasleitung  | 5  |
| Blasenreaktor  | 5  |
| Photobioreaktoren  | 6  |
| UNTERSUCHUNGSPROGRAMM  | 8  |
| Erste Projektphase   | 8  |
| Aktivitäten an der Jacobs University Bremen<br>und im Forschungszentrum Jülich | 8  |
| Untersuchungen zur Algenkonversion   | 10 |
| Weiterer Projektverlauf  | 10 |

Blick in den Kühlturm und auf die  
Rauchgaskanäle der BoA Niederaußem

## MOTIVATION

Die Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus Abgasen der CO<sub>2</sub>-emittierenden Industrie wird in Zukunft eine bedeutende Rolle zur Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen spielen.

Neben den Optionen zur Abtrennung des CO<sub>2</sub> aus den Prozessen und der Speicherung unter der Erde wird in Fachkreisen, aber auch in der Öffentlichkeit immer mehr über Möglichkeiten zur Umwandlung und Nutzung von CO<sub>2</sub> nachgedacht. RWE hat verschiedene Optionen der klimawirksamen Wiederverwertung und Fixierung von CO<sub>2</sub> ausführlich untersucht, um Potenziale aufdecken und hieraus Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Ein Ergebnis dieser Untersuchungen besteht darin, dass RWE ein Projekt zur CO<sub>2</sub>-Einbindung durch Mikroalgen aufgelegt hat.

Mikroalgen sind einzellige pflanzenartige Lebewesen, die zum Wachstum durch Photosynthese CO<sub>2</sub> aufnehmen. Ein wesentlicher Vorteil von Mikroalgen ist, dass sie deutlich höhere Wachstumsraten aufweisen als alle Landpflanzen und dadurch in der Lage sind, schneller als Landpflanzen CO<sub>2</sub> in Biomasse umzusetzen. Außerdem wachsen marine Mikroalgen in Salzwasser, was die Stabilität der Produktion gegenüber Süßwasseralgen signifikant steigert.

Mikroalgen produzieren in hiesigen Breiten 60 bis 100 t/(ha x a) Trockensubstanz. Dabei werden 120 bis 200 t/(ha x a) an CO<sub>2</sub> gebunden. Die Wachstumsrate von Mikroalgen liegt deutlich über der von schnell wachsenden Energiepflanzen wie Weiden oder Pappeln aus Kurzumtriebsplantagen mit 12 t/(ha x a) oder Miscanthus mit 15 t/(ha x a) Trockensubstanz.

Marine Mikroalgen können in geschlossenen Anlagen produziert werden, und es können Standorte genutzt werden, die aufgrund ihrer Bodenbeschaffenheit für den Pflanzenanbau nicht geeignet sind. Dadurch kann eine Standortkonkurrenz mit dem Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln vermieden werden.

Die besonderen Fähigkeiten der Mikroalgen sollen genutzt werden, um CO<sub>2</sub> aus Rauchgasen von Braunkohlenkraftwerken einzubinden.

Für einen großtechnischen Einsatz sind jedoch noch zahlreiche Punkte nicht gelöst. Neben technischen Fragestellungen, die mit der Entwicklung dieser Technologie einhergehen, muss vor allem der Nachweis geführt werden, dass die Gesamtenergiebilanz von Algenproduktion bis Konversion positiv ist und eine Netto-CO<sub>2</sub>-Minderung erzielt wird.

Um diese Punkte gezielt zu untersuchen und Lösungen zu entwickeln, hat RWE zusammen mit renommierten Partnern ein Projekt gestartet. Rauchgase aus dem Kraftwerk Niederaußem werden zu einer in der Nachbarschaft des Kraftwerkes errichteten Algenproduktionsanlage geleitet, um dort das CO<sub>2</sub> aus dem Rauchgas in Algenbiomasse umzusetzen. Mit der erzeugten Algenbiomasse sollen außerdem unterschiedliche Konversionspfade für die Algen im Sinne einer energetischen wie stofflichen Nutzung, wie zum Beispiel für Baustoffe oder Treibstoffe, untersucht werden.

## ANLAGENBESCHREIBUNG

In der Nachbarschaft zum Kraftwerksstandort Niederaußem hat RWE Power eine Anlage zur Einbindung von CO<sub>2</sub> aus dem Kraftwerk in Mikroalgen errichtet.



Bild 1: Außenansicht des BoA-Kühlturms und der Rauchgaskanäle in Niederaußem

Dabei wird Rauchgas an einem Kraftwerksblock entnommen und durch eine Leitung zur Mikroalgen-Produktionsanlage transportiert. Das im Rauchgas enthaltene CO<sub>2</sub> wird in der Algensuspension gelöst und von den Algen zum Wachstum aufgenommen. Die Algen werden entnommen (geerntet) und weiteren Untersuchungen zur Umwandlung in chemisch oder energetisch nutzbare Produkte zugeführt.

### **Rauchgasentnahme**

Das Rauchgas zur Bereitstellung des CO<sub>2</sub> für die Algen wird an einem konventionellen Braunkohlenkraftwerks-

block entnommen. Die benötigte Rauchgasmenge wird hinter der Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) abgezweigt, d. h. in dem Zustand, in dem es normalerweise an die Umgebung abgegeben wird.

Das Rauchgas hinter der REA enthält hohe Anteile Wasserdampf. Damit dieser Wasserdampf nicht in der Rauchgasleitung kondensiert und diese zusetzt, wird das Rauchgas vor dem Transport getrocknet. Das Rauchgas wird danach mit Hilfe eines Gebläses durch eine Leitung zum Gewächshaus transportiert. Ein Schema zeigt Bild 2.

### Rauchgasleitung

Die Leitung besteht aus PE. Dieser Kunststoff wurde ausgewählt, um einer Korrosion durch Kondensation von Wasserdampf-Restmengen vorzubeugen.

Das Gewächshaus, in dem die Algenproduktionsanlage errichtet wurde, steht auf einem Nachbargrundstück des Kraftwerksgeländes. Insgesamt hat die Rauchgasleitung eine Länge von ca. 750 Metern.

### Blasenreaktor

Die Rauchgasleitung endet vor dem Gewächshaus, in dem sich die Algenproduktionsanlage befindet. Die Rauchgase werden nach einem Verfahren der Novagreen Projektmanagement GmbH außerhalb des Gewächshauses in einen so genannten Blasenreaktor eingeleitet. Im Behälter befindet sich Algensuspension, die aus Salzwasser und darin befindlichen Mikroalgen besteht. Die Rauchgase vermischen sich

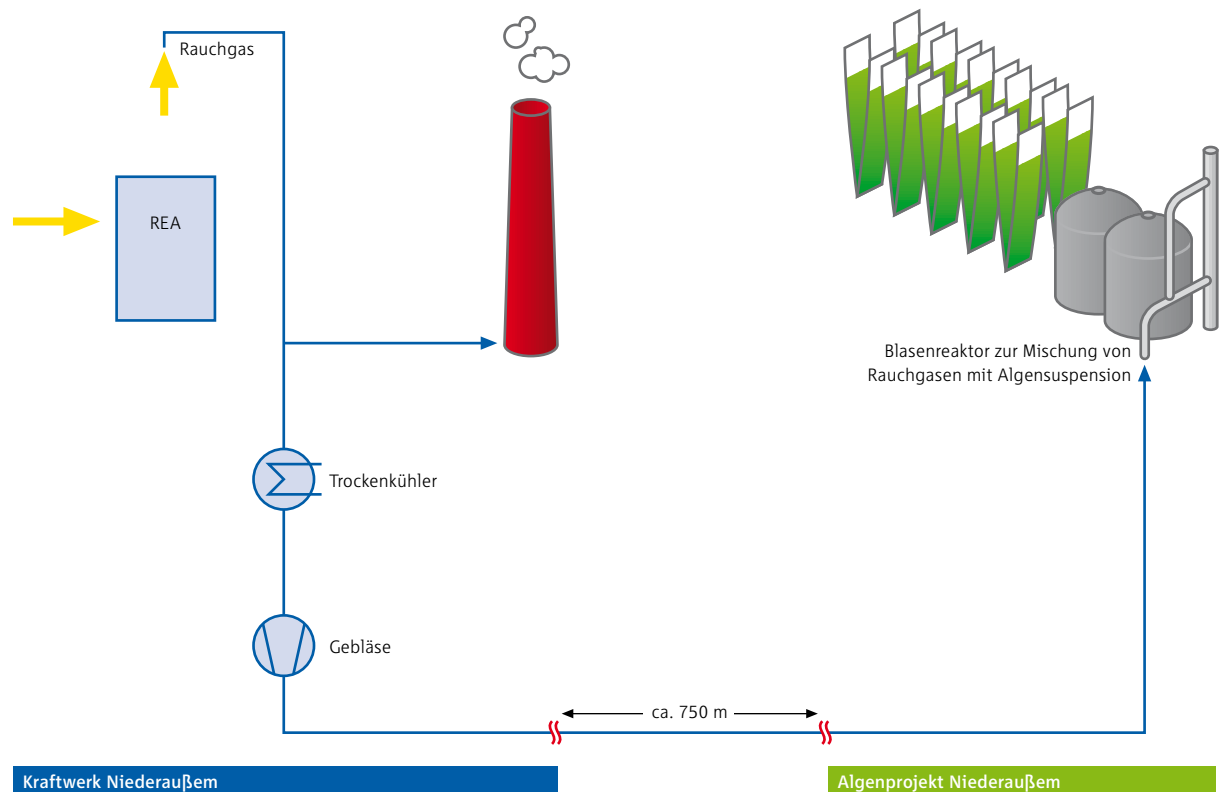


Bild 2: Schematische Darstellung der Rauchgasanbindung.



Bild 3: Anordnung der Photobioreaktoren im Gewächshaus.

mit der Suspension, wobei diese bis zum Sättigungsgrad  $\text{CO}_2$  aus dem Rauchgas aufnimmt. Das oben aus der Suspension austretende Gas ist um die entsprechende  $\text{CO}_2$ -Menge reduziert und wird über einen Kamin an die Umgebung abgeführt.

Durch das Verfahren des Blasenreaktors werden keine Rauchgase in das Gewächshaus geleitet, sondern nur das in der Algensuspension gelöste  $\text{CO}_2$ .

#### Photobioreaktoren

Die  $\text{CO}_2$ -angereicherte Algensuspension wird ins Gewächshaus geführt und dort in die von der Novagreen Projektmanagement GmbH entwickelten Photobioreaktoren (Bild 3) geleitet. Diese bestehen aus transparenten Kunststoffschläuchen, die in V-Form an Trägern befestigt sind.

Zur Optimierung der Kulturbedingungen befinden sich die Bioreaktoren in einem Gewächshaus. Dort können relativ konstante Temperaturbedingungen sowie optimale Nährstoffbedingungen und Lichtverhältnisse für hohe Wachstumsraten der Algen eingestellt werden. Die benötigte Wärme wird klimaschonend aus nicht genutzter Kühlturmabwärme des benachbarten Kraftwerks zur Verfügung gestellt (Hortitherm). Die Photobioreaktoren sind derzeit auf einer Grundfläche von 600 Quadratmetern errichtet. Für Erweiterungen stehen bis zu 1.000 Quadratmeter Gewächshausfläche zur Verfügung.

Die erste Ausbaustufe auf 600 Quadratmeter Fläche enthält ca. 52 Kubikmeter Algensuspension. Von oben wird über einen kleinen Schlauch Suspension zugeführt, unten wird Suspension per Schlauch abgeführt. Im transparenten Photobioreaktor kommen die Algen in Kontakt mit Licht und wachsen. Das für die Photosynthese benötigte  $\text{CO}_2$  wird von den Mikroalgen aus der Suspension gelöst und aufgenommen. Damit alle Mikroalgen gleichmäßig Licht erhalten, wird in den Photoreaktoren für Durchmischung gesorgt, indem von unten Luftblasen in den Reaktor eingeleitet werden und durch diesen hindurch perlen.

Der pH-Wert der Suspension dient als Indikator für den  $\text{CO}_2$ -Gehalt. Er wird in repräsentativen Photobioreaktoren gemessen und für die Steuerung der Zuführung von  $\text{CO}_2$ -angereicherter Suspension aus dem Blasenreaktor eingesetzt. Die abgezogene Suspension wird wieder dem Blasenreaktor zugeführt. Der Anteil der Algen wird durch die Messung der optischen Dichte der Suspension ermittelt. Ist diese ausreichend hoch, wird die Algensuspension statt in den Blasenreaktor in einen Erntebehälter geleitet. Die Algen werden dann vom Salzwasser getrennt. Die abgeschiedenen Mikroalgen haben eine pastöse Konsistenz und stehen nun für die Weiterverarbeitung bereit. Das Salzwasser wird in den Kreislauf zurückgeführt. Bild 4 stellt das Verfahren schematisch dar.

Mit der Anlage können pro Jahr bis zu 6.000 Kilogramm Algen (Trockensubstanz) produziert werden. Dadurch werden 12.000 Kilogramm  $\text{CO}_2$  eingebunden.

**Daten zum Algenprojekt**

|   |   |
|---|---|
| Kooperationspartner im Algenprojekt     | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ RWE Power AG</li> <li>▪ Jacobs University Bremen</li> <li>▪ Forschungszentrum Jülich GmbH</li> <li>▪ Phytolutions GmbH</li> </ul>  |
| Auftragnehmer                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bong, Gartenbaubetrieb</li> <li>▪ Novagreen Projektmanagement GmbH, Vechta, Algenreaktoren</li> </ul>  |
| Standort Algenprojekt                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bergheim-Niederaußem, in unmittelbarer Nähe des RWE-Kraftwerks Niederaußem</li> <li>▪ Versuchsanlagen in der Jacobs University Bremen und im Forschungszentrum Jülich</li> </ul> |
| Anbindung an Kraftwerk                  | 750 m Rauchgasleitung mit Verdichter  |
| Maximale Gesamtfläche Photobioreaktoren | ca. 1.000 m <sup>2</sup>  |
| Erwartete Produktion                    | ca. 6 t/a trockene Algenmasse (bei 600 m <sup>2</sup> )   |
| Erwartete CO <sub>2</sub> -Einbindung   | ca. 12 t/a aus Kraftwerksrauchgasen (bei 600 m <sup>2</sup> )   |
| Laufzeit Gesamtprojekt                  | 3 Jahre   |
| In Betrieb seit                         | 2008  |

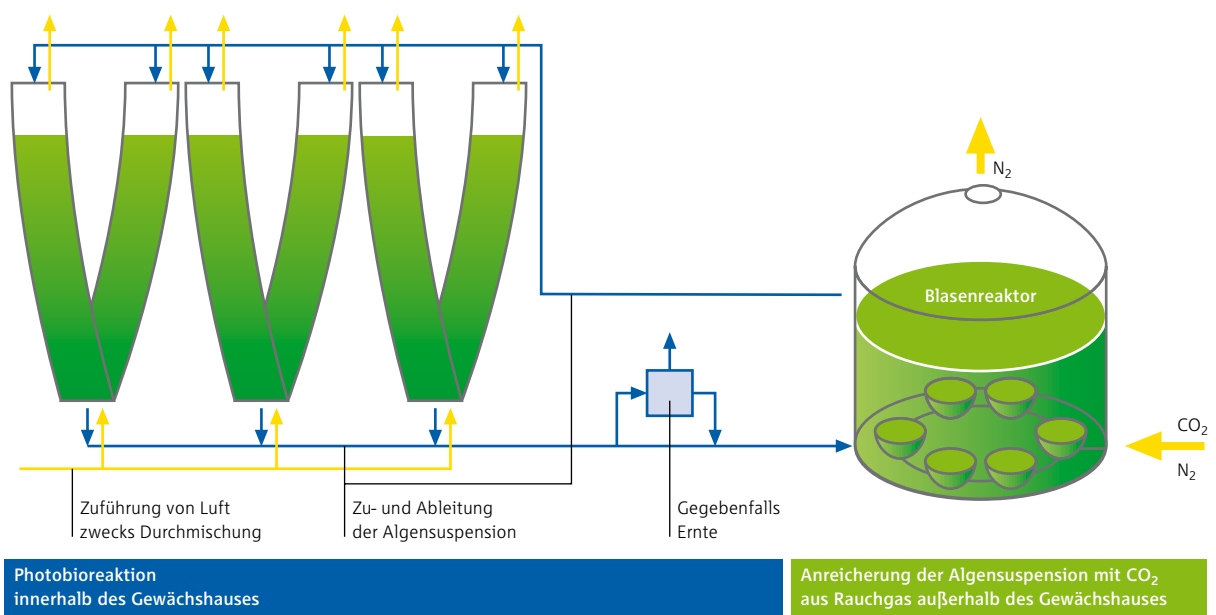


Bild 4: Verfahrensschema des Photobioreaktors mit Blasenreaktor.

## UNTERSUCHUNGSPROGRAMM

Die von RWE Power am Kraftwerksstandort Niederaußem errichtete Anlage zur Algenproduktion mit Rauchgasen bietet einzigartige Möglichkeiten, gemeinsam mit renommierten Partnern diese Option der CO<sub>2</sub>-Einbindung zu untersuchen. Hauptziel der Untersuchung ist die energetische, ökologische und langfristig ökonomische Bilanz des gesamten Prozesses der Algenproduktion und anschließender Umwandlungs- und Nutzungsmöglichkeiten.

### **Erste Projektphase**

In der ersten Phase des Projektes sollen die Algenwachstumsraten durch Einsatz unterschiedlicher Algenkulturen, optimierter Kulturbedingungen und verbesserter Gewächshaustechnik gesteigert werden. Zudem soll die gesamte Prozessführung mit dem Ziel eines möglichst geringen Energiebedarfs optimiert werden, um eine möglichst große Biomassegewinnung und Netto-CO<sub>2</sub>-Minderung zu erzielen.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von Konzepten zur Nutzung der Algen. Ein Verfahren zur Umsetzung der Algenbiomasse in energetisch nutzbare Produkte wird bereits untersucht. Ein Teil der Algen soll zudem in einer Biogasanlage eingesetzt werden. Weitere Erfolg versprechende Konversionspfade werden für eine folgende Projektphase ermittelt.

Für zukünftige Anwendungen sollen außerdem Gesamtkonzepte mit geeigneten Standorten entwickelt und anhand von Kosten-, Nutzen- und Potenzialanalysen bewertet werden.

Zur Durchführung des Programms wurden namhafte Projektpartner gewonnen: Prof. Dr. Thomsen, Jacobs University Bremen, hat die wissenschaftliche Leitung des Projekts. Prof. Dr. Schurr und Prof. Dr. Ulbrich, Forschungszentrum Jülich, sind für die Optimierung der Umweltbedingungen für die Algenproduktion mit innovativer Gewächshaustechnik zuständig. Phytolutions, ein Spin-off der Jacobs University, betreibt gemeinsam mit dem Gewächshausinhaber und -betreiber Bong die Algenproduktionsanlage.

### **Aktivitäten an der Jacobs University Bremen und im Forschungszentrum Jülich**

Neben den umfangreichen Arbeiten an der Algenproduktionsanlage in Niederaußem werden Untersuchungen mit baugleichen Reaktoren in Bremen und in Jülich (zur Optimierung der Produktionsbedingungen und der hierfür innovativ einzusetzenden Gewächshaustechnik) durchgeführt. Die Anzahl der Photobioreaktoren und damit die Anlagengröße erlauben experimentelle Untersuchungen für einen Übertrag der Ergebnisse auf die Produktionsanlage in Niederaußem.





An der Jacobs University Bremen wird unter der Leitung von Prof. Dr. Thomsen eine Algenanlage errichtet, mit der Algenkulturen entwickelt werden. Prof. Dr. Thomsen ist ein renommierter Forscher im Bereich der Ozeanografie, der sich seit vielen Jahren mit dem Thema Algenzucht und CO<sub>2</sub>-Mitigation/-Sequestration beschäftigt. Aufgabe der Bremer Forschungsgruppe innerhalb des Algenprojektes ist es, geeignete Algenstämme oder Mischungen von Algenarten auszuwählen, die für die in Niederaußem errichtete Anlage und die dortigen Gegebenheiten (Klima, Lichtverhältnisse) besonders gut geeignet sind. Die Jacobs University führt zusammen mit Phytolutions die laufende verfahrenstechnische, konzeptionelle und biologische Optimierung der Algenproduktionsanlage in Niederaußem durch. Die Überwachung und ggf. Anpassung der Anlagenparameter wird über ein ferngesteuertes Prozessleitsystem realisiert. Die wissenschaftlichen Arbeiten hinsichtlich geeigneter Gesamtkonzepte werden in Bremen angefertigt. Hierzu gehört unter anderem die Auswertung der Projektergebnisse im Hinblick auf Möglichkeiten zur Realisierung von industriellen Algenzucht-Großprojekten an geeigneten Orten mit optimierten Standortbedingungen.

Neben der Suche nach geeigneten Algenarten für die Algenzucht in Niederaußem konzentriert sich eine Forschergruppe auf die Optimierung von Gewächshäusern für die Algenproduktion. Am Forschungszentrum Jülich wurden hierzu in zwei vorhandenen Forschungsgewächshauseinheiten innovative Verglasungen installiert. Das Forschungszentrum Jülich verfügt seit vielen Jahren über Erfahrungen im Bereich der Gewächshaustechnik und der Optimierung der Pflanzenproduktion. Die neuartigen Verglasungen der Gewächshäuser in Jülich zeichnen sich durch eine hohe Transparenz und eine vorteilhafte Unterstützung der Klimaregulierung aus. Auf diese Weise kann das Lichtangebot der Sonne möglichst effektiv genutzt werden und der Energieverbrauch zur Klimatisierung der Gewächshäuser deutlich reduziert werden. Ziel der Arbeiten ist die Integration der Licht-, CO<sub>2</sub>-, Nährstoff- und Temperaturbedingungen zur Optimierung der Produktionsbedingungen. Durch neue nicht-invasive Verfahren sollen Informationen über den Zustand der Algen gewonnen werden, die dann zur Steuerung und damit zur weitgehenden Automatisierung der Biomasseproduktion eingesetzt werden können. An Hand dieser Anlagen sollen Erkenntnisse gewonnen werden, wie innovative Gewächshauswerkstoffe und neuartige Sensorverfahren zur Automatisierung der Kultursteuerung in einer integrierten Lösung zu einer Optimierung der Kulturbedingungen und damit zu einer energieeffizienten Algenproduktion beitragen können. Die in Jülich aufgebauten Photobioreaktoren werden mit technischem CO<sub>2</sub> beaufschlagt. Um einen direkteren Vergleich zwischen der Gewächshaustechnik in Niederaußem und der in Jülich angewandten im Bezug auf die Algenproduktion zu ermöglichen, wird in

Niederaußem ebenfalls ein Teil der aufgestellten Photobioreaktoren mit technischem CO<sub>2</sub> versorgt. Gleichzeitig werden an beiden Standorten die Einflussfaktoren auf die Algenproduktion wie Sonnenscheindauer, Lichtintensität und Temperatur aufgezeichnet.

#### Untersuchungen zur Algenkonversion

Mit der produzierten Algenbiomasse werden unter anderem Versuche zur Hydrothermalen Karbonisierung durchgeführt. Bei der Hydrothermalen Karbonisierung wird Biomasse unter Zugabe von Wasser und unter Sauerstoffabschluss unter Druck erhitzt, um unterschiedliche Kohlenwasserstoffprodukte zu erhalten. In grundlegenden Untersuchungen werden die Prozessparameter bestimmt und auf den Algeneinsatz hin optimiert. Es wird analysiert, welche Eigenschaften der Algenbiomasse deren Konversion durch Hydrothermale Karbonisierung begünstigen, um mit dieser Rückmeldung die Algenzucht zu optimieren.

Die Vergärbarkeit von Algen als Monosubstrat soll im Rahmen einer Studie untersucht werden. Dabei sollen der maximale Gasertrag, der Einfluss des Salzgehaltes und mögliche Co-Substrate und Vorbehandlungen geklärt werden. Die experimentellen Arbeiten werden mit den in Niederaußem produzierten Algen durchgeführt.

Geplant ist zudem die Erforschung der Zugabe von Algenbiomasse in eine Biogasanlage.



#### Weiterer Projektverlauf

Im weiteren Verlauf ist eine Ausweitung des Projektes vorgesehen. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Aktivitäten sollen weitere Erfolg versprechende Konversionspfade mit der dann in ausreichendem Maße vorhandenen Algenbiomasse erprobt werden. Zu den Konversionspfaden können die Umwandlung in Biodiesel, BtL, Butanol und andere gehören. Dazu werden Partnerschaften mit weiteren Unternehmen in diesem Bereich angestrebt. Außerdem sollen weitere Algenproduktionstechnologien im gleichen Gewächshaus eingesetzt werden, um einen direkten Vergleich der Verfahren zu ermöglichen. Die biologischen Aspekte der Mikroalgenproduktion – Selektion der Arten, Mischpopulationen, Nährstoffe – sollen im weiteren Projektverlauf eingehend bearbeitet werden. Umfangreiche Arbeiten sind auch im Bereich der Optimierung der Algenproduktion durch verbesserte Gewächshaustechnik vorgesehen.



Inspektion eines Rauchgaskanals  
der BoA Niederaußem

