



**Biorefining at the  
University of Applied Sciences Upper Austria  
Campus Wels**

**Alexander G. Jäger & Klaus Krennhuber**

**(co)-Operation**

**SKD**



**Kooperation zum Kompetenzaufbau „Hochwertige Produkte aus Algen“  
– Screening, Kultivierung, Downstreaming**

**Fördergeber FFG**

**Laufzeit September 2014 – August 2018**

**Partner: Management Center Innsbruck Internationale Hochschule  
GmbH  
Austrian Drug Screening Institute GmbH Innsbruck**

## **Problemstellung**

Die Algenforschung befindet sich in einem facettenreichen Spannungsfeld zwischen der fast agrarischen Nutzung von Algen mit wenigen Produkten und immensen Versprechungen und Erwartungen zur energetischen Nutzung von Algen (Lipide, Algenfuel, Jetfuel). In Südostasien ist eine eher agrarisch ausgerichtete kommerzielle Produktion von Algen etabliert. Im Forschungsbereich beschäftigen sich mehrere Arbeitsgruppen zumeist mit einzelnen Algenstämmen und einer Produktklasse. Das (bio-) chemische Potential von Mikroalgen sowie von terrestrischen Algen wurde selten systematisch untersucht und lässt ein großes Feld für eine von der „Tagesaktualität“ unabhängige, aber doch industriell ausgerichtete Forschung. Ebenso ist ein ganzheitlicher Forschungsansatz über die gesamte Prozesskette, von der Identifizierung möglicher Wertstoffe über die Algenkultivierung bis hin zum Downstream-Processing sowie der Verwertung von Reststoffen aus der Kultivierung kaum erforscht.

Die Bildung pharmakologisch relevanter Sekundärmetabolite in Mikroalgen allgemein und in Bodenalgen im speziellen ist bisher noch weitgehend unbekannt, und folglich ist auch deren Potential als Wirkstoffproduzenten bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Aus dieser Organismengruppe sind vereinzelt Beispiele wie Antikoagulantien, Immunsuppressiva, Herbizide, antiprotozoale, antibakterielle, antifungale, zytotoxische, antitumorale und antivirale Wirkstoffe beschrieben. Ein breites Screening fehlt.

Die optimalen Kultivierungsbedingungen wie Mediumzusammensetzung, diverse Umgebungsparameter (Lichtstärke, -qualität und -eintrag, Temperatur etc.) sind nur für eine geringe Anzahl von Algen wirklich bekannt. Energetisch günstige Beleuchtungssysteme in der Kultivierung sind genau so wenig etabliert wie modifizierte Reaktoroberflächen, die ein Fouling durch Algen verhindern und den Lichteintrag hoch halten können.

Die Aufarbeitung der Algen-Biomasse stellt neben dem Reaktordesign zur Kultivierung die wohl größte Herausforderung an die Kommerzialisierung eines auf Algen basierenden Produktes dar. Bisher scheitert ein ökonomischer Einsatz von Algen zur Gewinnung von hochwertigen Rohstoffen vor allem am hohen Energieverbrauch bei der Aufkonzentration der Roh-Suspension. Ein ganzheitliches Konzept braucht die energetische Verwertung; nach Wertstoffgewinnung aus den Algen bleiben Reststoffe zurück, die im Sinne einer möglichst vollständigen Nutzung der Biomasse verwertet werden.

Das vorliegende Projekt zielt darauf ab, ökonomisch verwertbare Produkte aus den Algen zu gewinnen, den Gesamt-Prozess zu optimieren, um die Produkt-Margen zu vergrößern und ein ökonomisch ganzheitliches Konzept zu generieren, das exemplarisch für die Produktion verschiedenster Wertstoffe aus Algen ist. In diesem Projekt wird ein Screening etabliert, in welchem aquatische und terrestrische Algenstämme auf Kultivierbarkeit und Produktbildung unter verschiedensten Umwelteinflüssen untersucht werden. Somit könnten aus einem geeigneten Algenstamm mehrere Produkte isoliert und im Anschluss die Biomasse energetisch genutzt werden.

## **Zusammenfassung**

Ziel des Projektes ist die Etablierung eines ökonomischen Gesamtprozesses zur Produktion von werthaltigen Produkten aus phototrophen Mikroorganismen (Algen, Mikroalgen) und die anschließende energetische Verwertung der Biomasse. Dafür werden bestehende F&E-Strukturen im Bereich der Studiengänge Biotechnologie und Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik (MCI) bzw. Bio- und Umwelt-Verfahrens- und Material und Kunststofftechnik (FH OÖ) aufgebaut, weiterentwickelt und verknüpft, sowie die analytische Expertise des Austrian Drug Screening Institutes (ADSI) in das Konsortium eingebracht werden. Die Entwicklung der einzelnen Prozessschritte und der Kompetenzaufbau für die Betrachtung des Gesamtprozesses stehen im Vordergrund, um für potentielle Firmenpartner aus den Bereichen der Pharma-, Kosmetik- und Lebensmittelindustrie zielgerichtete Dienstleistungen anbieten zu können. Hierzu werden in einem Screening-Verfahren aquatische und terrestrische Mikroalgen sowie Cyanobakterien vorhandener Algenbanken betrachtet werden. Vielversprechende Algenstämme werden zunächst in offenen Systemen kultiviert und auf mögliche Wertstoffe analysiert. Um ausreichend Biomasse zu Verfügung stellen zu können, sollen Photobioreaktoren für aquatische Mikroalgen weiterentwickelt und ein Konzept für einen terrestrischen Algenreaktor erarbeitet werden. Antihaltende Materialien sowie neuartige Belichtungs- und Belüftungssysteme stehen für Aquakulturen im Focus des Projektes. Die biologische Aktivität der Inhaltsstoffe wird mittels Bioassays untersucht. Noch nicht identifizierte Stämme sind anhand der AFLP – Methode zu genotypisieren. Vielversprechende Stämme werden einem Kultivierungsscreening unterzogen, um optimale Wachstums- und Produktbildungsparameter zu identifizieren. Die Analytik der Metabolite erfolgt vorwiegend mittels chromatographischer und spektrometrischer Methoden. Der Downstream-Prozess soll zum Kompetenzaufbau bei der Zellabtrennung und Produktisolierung beitragen. Durch Zentrifugation oder Membrantechnik werden die Zellen aufkonzentriert. Das Downstream Processing orientiert sich allgemein an der Modifizierung von etablierten Methoden wie fest/flüssig Extraktion, Filtration, Zentrifugation und Zellaufschlussverfahren. Produktspezifische Methoden müssen ermittelt werden. Die restliche Biomasse kann durch hydrothermale Karbonisierung in HTC-Kohle umgewandelt werden oder in Biogasprozessen genutzt.

Durch die Bündelung des bisher etablierten Knowhows und der Infrastruktur des MCI, der FH OÖ, des ADSI und der gemeinsamen Fokussierung auf den ganzheitlichen Prozess entsteht ein international wahrnehmbares Zentrum für Algenprodukte.

# Combined Agro Forest Biorefinery

## Fördergeber



**Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE)  
Im Rahmen des Strukturfonds-Programms „Investition in Wachstum  
und Beschäftigung 2020“,  
Investitionspriorität 1a, Maßnahme 1 „Forschungs- und  
Technologieinfrastruktur“**

**Laufzeit Januar 2016 – Dezember 2020**

**Partner: Wood K-Plus Kompetenzzentrum Holz GmbH, Linz**

## **Ausgangssituation aus globaler Sicht**

Das Forschungsprogramm hat den Schwerpunkt in der regionalen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen für die Produktion von flüssigen Bioenergieträgern und Biochemikalien durch die Entwicklung von technologischen Verfahren.

Aus ökonomischen Gründen ist das Konzept der reinen Biotreibstoffherstellung durch eine ganzheitliche Nutzung der eingesetzten Biomasse in einer Bioraffinerie ersetzt worden. Bei einer kompletten Rohstoffnutzung werden durch mehrere Verfahren mehrere Produkte hergestellt. Die alleinige Fokussierung auf Bioethanol mit Hefen wird ergänzt durch die Produktion z.B. von Biobutanol mit den entsprechenden Mikroorganismen.

Die Europäische Kommission hat im Jahr 2012 eine Strategie vorgestellt, mit der sie die Umstellung der europäischen Wirtschaft auf eine verstärkte und nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen unterstützt. Angesichts der zur Neige gehenden fossilen Rohstoffe braucht Europa nicht nur Bioenergieträger auch der Versorgung mit Basischemikalien, Baumaterial, Nahrungs- und Futtermitteln muss weiter gesichert sein.

Die Strategie der EU umfasst die drei Hauptfelder

1. Investitionen in Forschung und Innovation
2. Entwicklung der Märkte und der Wettbewerbsfähigkeit
3. Verstärkung der Koordinierung und Beteiligung der einzelnen Akteure.

Das gegenständliche Projekt erfüllt genau diese drei Forderungen.

## „Renewable Energy Directive“

Auf Seiten des Energiesektors schreibt die „Renewable Energy Directive“ einen wesentlichen Anteil an regenerativer Energie im Transportsektor fest.

Laut übereinstimmender Aussage aller führenden Energieforschungsinstitute ist bis zum Jahr 2050 ein Anteil von 95% Energie aus erneuerbaren Quellen nicht nur möglich (Quelle Prof. Kornelis Blok Ecofys, Utrecht, the Netherlands, Pathway to a Fully Sustainable Global Energy System by 2050, WREC Linköping 2011) sondern aus Gründen des Klimaschutzes und den Protokollen von Kyoto und den Nachfolgekongressen auch notwendig (Abb.1).

Der nach wie vor notwendige Anteil an Treibstoffen wird dabei fast ausschließlich aus Reststoffströmen und landwirtschaftlichen Nebenprodukten gedeckt werden, Elektrizität wird vorwiegend mittels Wasserkraft, Wind- und Solarenergie zur Verfügung gestellt werden. Anzumerken ist, dass all dies nur bei einer gleichzeitigen Reduktion des Energieverbrauches möglich sein wird.

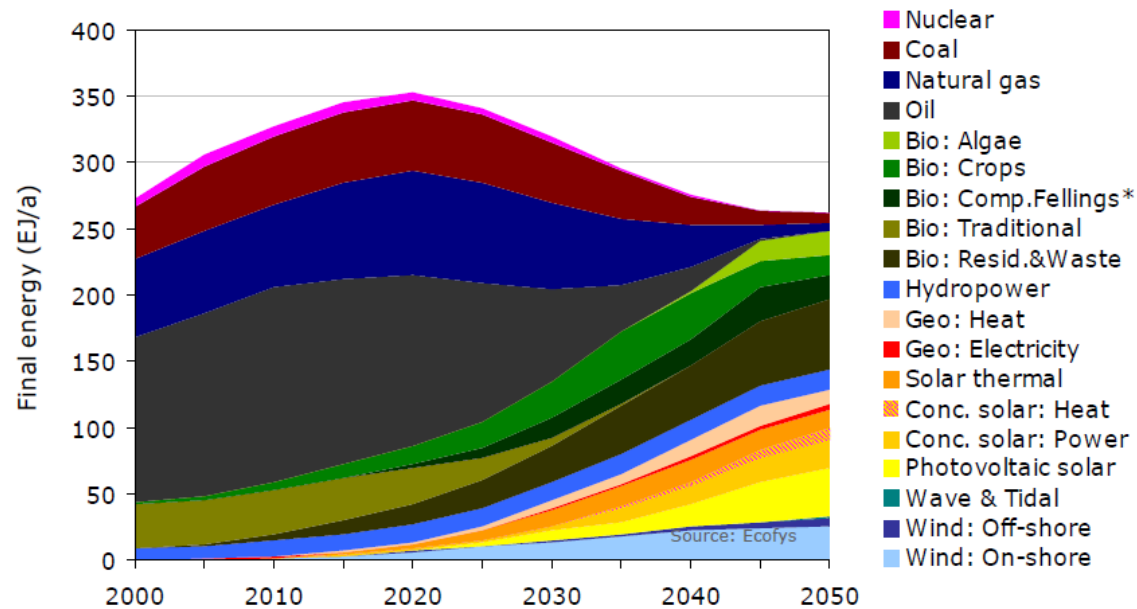


Abb.1 Entwicklung der Weltenergieproduktion bis zum Jahre 2050 nach Blok

Prof. André Faaij (Copernicus Institute, Faculty of Science – Utrecht University) hat in einem Beitrag zum World Renewable Energy Congress, Linköping -Sweden, 10th May 2011 unter dem Titel Bioenergy in a Sustainable Future; Results on Bioenergy“ in the IPCC-SRREN ebenso quantifiziert, dass es – bei allen Ungewissheiten des Marktes und der Politik bis zum Jahr 2050 ein Potential von 500 EJ pro Jahr an Bioenergie gibt. Die Herstellung flüssiger Energieträger aus Reststoffen aus der Papier-und Zellstoffindustrie sowie agroindustriellen Reststoffen spielt dabei mittelfristig (in den Jahren 2020 bis 2030) eine wesentliche Rolle.

### Bioraffinerien

Trotz aller Fortschritte auf dem Gebiet der Bioenergieforschung hat sich gezeigt, dass einer rein energetischen Verwertung der Rohstoffe ökonomisch Grenzen gesetzt sind. So wird zunehmend im Sinne einer ganzheitlichen Nutzung eine Koppelung von volume and value Produkten untersucht: Aus einem oder mehreren Rohstoffströmen werden durch unterschiedliche Verfahren unterschiedlichste Produkte generiert (Phase 3 biorefinery) und alle Rohstoffbestandteile, wie bei einer Erdölraffinerie genutzt

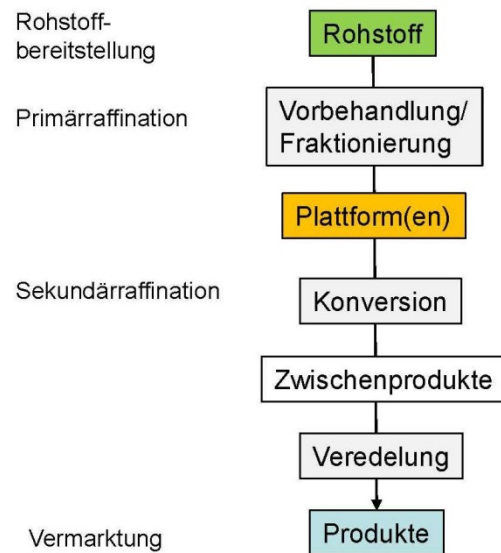


Abb.2 Prinzip der Bioraffinerie. Quelle: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Deutschland)



### Stroh als Rohstoff:

Weltweit werden derzeit ca. 3,5 Mrd. Tonnen Stroh produziert. Daraus könnten ca. 800 Mio. t flüssige Bioenergieträger mit einem Wert von ca. 400 Mrd. € produziert werden (Abb.3). Wertstoffe wie Oxalsäure, Zuckeralkohole und seltene Zucker die aus diesen Rohstoffen hergestellt werden könnten, würden das Potential noch weiter erhöhen. Zumindest einen Teil dieses Rohstoffes nutzbar zu machen ist Ziel des Projektes.

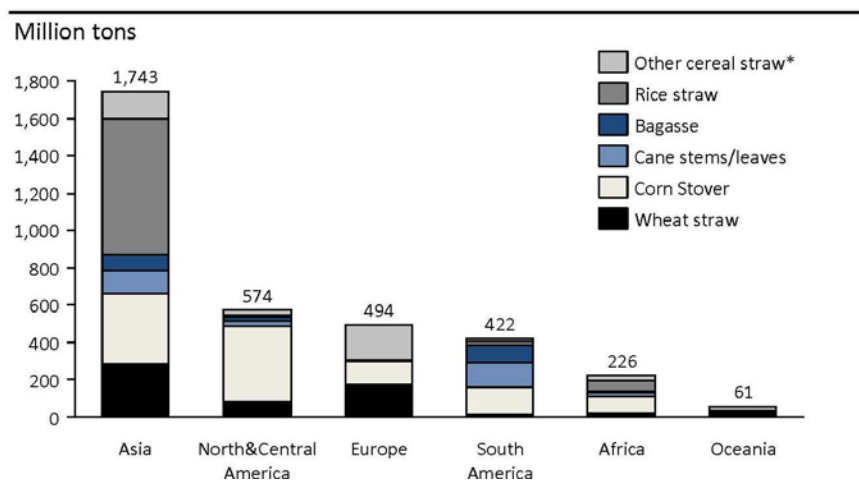


Abb.3 Strohproduktion aus verschiedenen Stroharten

**Holz als Rohstoff:** Weltweit werden jährlich ca. 130 Mio Tonnen Holz für die Herstellung von Chemical Pulp eingesetzt (ca. 30 Mio Tonnen europaweit) (siehe Abb. 4). Davon sind ca. 60 % Nadelholz und ca. 40% Laubholz. In Europa ist das Verhältnis Nadel- zu Laubholz ca. 70/30.

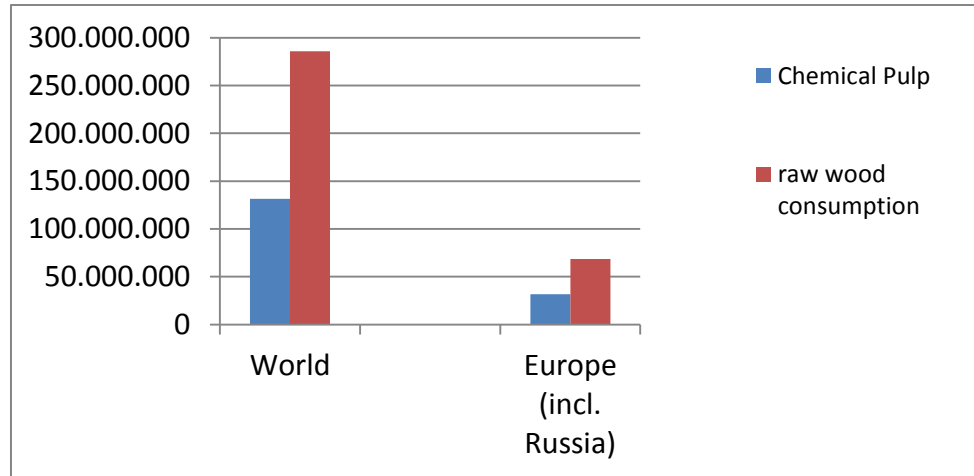


Abb. 4 Jährlich verbrauchte Holzmenge allgemein und zur Herstellung von Chemical Pulp

Daraus ergibt sich die entsprechende (theoretische) Verfügbarkeit der verschiedenen Holzbestandteile (Abb.5)

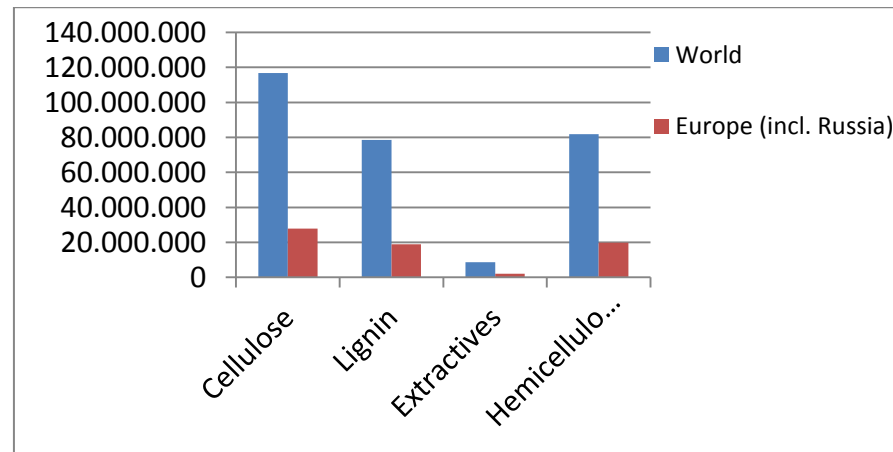


Abb.5: Theoretisch verfügbare Mengen der verschiedenen Holzbestandteile

Tabelle 1 gibt einen detaillierteren Überblick über die Zusammensetzung der Kohlenhydrate in verschiedenen Nadel- und Laubhölzern.

Tab. 1 Zusammensetzung der organischen Verbindungen in verschiedenen Holzarten

Constituent	Scots Pine ( <i>Pinus sylvestris</i> )	Spruce ( <i>Picea glauca</i> )	Eucalyptus ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> )	Silver Birch ( <i>Betula verrucosa</i> )
Cellulose (%)	40	39.5	45.0	41.0
Hemicellulose				
-Glucomannan (%)	16.0	17.2	3.1	2.3
-Glucuronoxylan (%)	8.9	10.4	14.1	27.5
-Other polysaccharides (%)	3.6	3.0	2.0	2.6
Lignin (%)	27.7	27.5	31.3	22.0
Total extractives (%)	3.5	2.1	2.8	3.0

In Österreich gibt es drei Zellstofffabriken, die nach dem Sulfatprozess produzieren:

- Nettingsdorfer Papierfabrik AG & Co KG in Haid bei Ansfelden (OÖ)
- Zellstoff Pöls AG in Pöls (ST)
- Mondi Frantschach, St. Gertraud (K)

Alle drei setzen Nadelholz –vornehmlich Fichte und/oder Kiefer als Rohstoff ein.

Bei der Herstellung der genannten Biotreibstoffe gibt es trotz aller weltweiten Bemühungen mehrere ungelöste Hauptherausforderungen, die den industriellen Einsatz dieser Technologien bisher verhindert haben:

1. Wie können Inhibitoren die während des Herstellungsprozesses bzw. Vorbehandlungsprozesses entstehen reduziert werden
2. Wie können die verwendeten Mikroorganismen (Clostridien, Hefen, E. coli) gegenüber diesen Inhibitoren „stabiler“ werden.
3. Wie können die technologisch bedingten theoretisch nur in geringen Konzentrationen erzielbaren Konzentrationen an Endprodukt erhöht werden, sodaß der Energieaufwand für das Downstream processing (Destillation) geringer wird
4. Wie können alle Zuckerkomponenten (C5 / C6) optimal genutzt werden
5. Wie können weitere „Value added Compounds“ im Sinne eines Bioraffineriekonzeptes hergestellt werden und welche?

Daraus ergibt sich eine Vielzahl von Teilfragen, die bereits beim Thema Grundlagenforschung erörtert wurden:

Kann eine Kombination der Rohstoffe Stroh (agroindustriell) einerseits und Stoffströme aus dem Papier und Zellstoffbereich (z.B. Sulfatablagen) andererseits für die Biotreibstoffherstellung Vorteile bringen. Beide Stoffströme enthalten verwertbare Kohlenhydrate, beide Stoffströme enthalten andererseits Inhibitoren für Clostridien (Butanol) und Hefen (Ethanol). Die Fragestellung, haben bei Mischung der Stoffströme die Inhibitoren additive oder aber gar senkende Wirkungen? Können Ligninkomponenten der Ablaugen absorptiv die Hemmwirkung herabsetzen? Können Endproduktströme aus der Ethanolproduktion mit Stroh mit dem Rohstoff Sulfatablauge gemischt werden, um dann nach Sekundärfermentation höhere Ethanolkonzentrationen als bei den jeweiligen Einzelverfahren? Können die auf das Substrat Stroh adaptierten Hefen der Arbeitsgruppe FH für das Substrat Ablaugen angewendet werden.

Wie verwerten Clostridien die verschiedenen Strohsorten? Wie können Clostridien und Hefen für die beiden Substratklassen genetisch optimiert werden? Welche Value added products können mit anderen Mikroorganismen z.B. mit E. Coli auf den beiden Rohstoffströmen hergestellt werden?

## **ALGENETICS**

### **Genetic Improvement of Cyanobacteria for the Production of Biochemicals**

**Fördergeber INTERREG V-A Austria – Czech Republic**

**Laufzeit Januar 2017 – Dez 2019**

**Partner:**

**Centrum ALGATECH, Třeboň, Czech Academy of Science**

**Mgr. R. Lhotský, Ph.D.**

**Prof. RNDr. Jiří Masojídek, CSc.**

## Content

The main task of this project is to enhance and strengthen the cross-border research and innovation capacities in the framework of cooperation programme between the two regional research institutions in Upper Austria and South Bohemia that deal with current issues of European and global research. The project task conforms to the Regional Innovation Strategy (RIS) of South Bohemia which considers biotechnology as one of the key potentials of the region. In Upper Austria it is conform with the program „Innovatives Oberösterreich 2020, part energy: erneuerbare Energie/Restströme/biogene Prozesse, stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse“.

The strategy of diversification of energy sources, e.g. the use of the 3rd generation of biofuels aims not to compete with food crops while reducing CO<sub>2</sub> emissions. Recent world climatic conference in Paris (Kyoto II) has confirmed an ambitious plan to decrease emissions of greenhouse gasses (GHG). One to the ways to reach this goal is search for alternative sources of energy and fuels which will not add further emission of GHG, namely CO<sub>2</sub> to the atmosphere.

In the project innovation will be achieved in the field of renewable sources of sustainable energy and valuable compounds production from microalgae using biotechnological and genetic engineering approach. The project is predominantly focused on basic research to enhance scientific knowledge in the production of carbon-neutral sources of raw materials and biofuels that will contribute to higher future independence from fossil sources as well as reduction in atmospheric CO<sub>2</sub> level.

As concerns R&D from laboratory to pilot cultivation the project will be specifically focused on the research of genetically enhanced microalgae grown as specific producers of biofuels and starch. We intend to develop and test the genetically modified strains of cyanobacteria (genus *Synechococcus*) that would produce significantly increased amounts of "high-energy" substrates in the cells, e.g. alcohols or polysaccharides during controlled cultivation in photo bioreactors.

This technology is completely innovative in the partner countries and can be used only in extended bioenergy production and transport fuels, but can be also applied in other areas such as chemical or pharmaceutical technology.

All partner institutions wish to extend extensive regular cooperation in biotechnology for sustainable development and knowledge exchange among researchers, lecturers and students via the project. Development of double degree and PhD programs, common R&D projects on european level (Horizon 2020) even in other research areas. Transnational access to research infrastructure and know how. Organisation of common workshops. Enabling the access of SMUs and companies to the institutions in both regions.



**Thank you for your attention and thanks to the sponsors**



**Contacts**

[K.Krennhuber@fh-wels.at](mailto:K.Krennhuber@fh-wels.at)

[A.Jaeger@fh-wels.at](mailto:A.Jaeger@fh-wels.at)