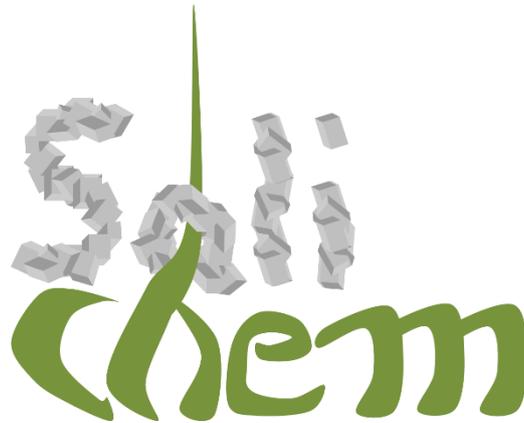


## Veröffentlichung zum IGF-Forschungsprojekt



---

### „Nutzung von salztoleranten Pflanzen zur Produktion von Plattformchemikalien und Energie“

---

Bewilligungszeitraum: **1. Januar 2015 bis 31. Dezember 2016**

AiF Forschungsvorhaben Nummer: **CORNET 136 EN**

Forschungsstelle: **Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.**

Projektleiter: **Dr. Michael Müller**

Autoren: Dr. Michael Müller (PFI)  
Dr. Marie-Caroline Jonville (Celabor)



Saline plant uses for chemicals and energy production

# CORNET Project SaliChem

## Saline plant uses for chemical and energy production

CORNET 136 EN

### Ziele

Die Versalzung von Böden wird hervorgerufen durch die globale Erderwärmung und unkontrollierte Bewässerung bei der Landwirtschaft. Salztolerante Pflanzen, s.g. Halophyten, können auf Böden wachsen, wo konventionelle Saaten nicht mehr gedeihen. Deren Biomasse könnte für die Herstellung von Lebensmitteln, Lebensmittelzusätze, Chemikalien und Energie genutzt werden. Aufgrund der zunehmenden Bodenversalzung kann von einer zukünftigen Reduzierung der fruchtbaren Ackerflächen ausgegangen werden. Der Bedarf an Biomasse für die Produktion von Lebensmitteln, Chemikalien und Energie ist, vor dem Hintergrund der steigenden Ölpreise und wachsenden Weltbevölkerung, offensichtlich. Allerdings sollte aufgrund der Teller-Tank-Diskussion nur Biomasse für die Produktion von Chemikalien verwendet werden, die nicht im Konflikt mit der Lebensmittelindustrie steht. In Anbetracht dieser Vorgaben ist die vollständige Nutzung aller Pflanzenbestandteile, inkl. wertvoller Extraktstoffe, unumgänglich.

Die Identifizierung von Anbauflächen, die aufgrund von Versalzung nicht mehr für traditionelle Pflanzen zur Verfügung stehen, zählt zu den zentralen Herausforderungen zur Bekämpfung des Problems. Halophyten sind ideale Kandidaten die es für die Produktion von Chemikalien und Energie zu untersuchen gilt.

Ziel des Projekts SaliChem war die Entwicklung einer Wertschöpfungskette, von

- der optimalen Extraktion von biologisch aktiven Pflanzenextrakten für Pharmazie und Lebensmittelindustrie,
- hin zur endgültigen Wertschöpfung durch sequenzielle Biomassenutzung für Chemikalien und Energie im Rahmen eines Bioraffineriekonzepts.

Für alle Schritte wurden die theoretischen, technischen,

### Objectives

*Salinization of soil is caused by global warming and uncontrolled irrigation in agriculture. Salt tolerant plants, so called Halophytes, can grow on soil where conventional crops fail. Their biomass can potentially be used for food, food additive, chemical, and energy production. Due to increasing salinization of soils, a decrease of fertile crop land can be foreseen in the future. The need of biomass for the production of food, chemicals and energy is apparent, considering the increase in costs and unknown reserves of fossil petroleum and the increase in world population. However, due to the food vs. fuel debate, only biomass which cannot be used for food should be considered for chemical and energy production. In view of these boundaries, a full valorization of all plant components, including valuable extracts, is essential.*

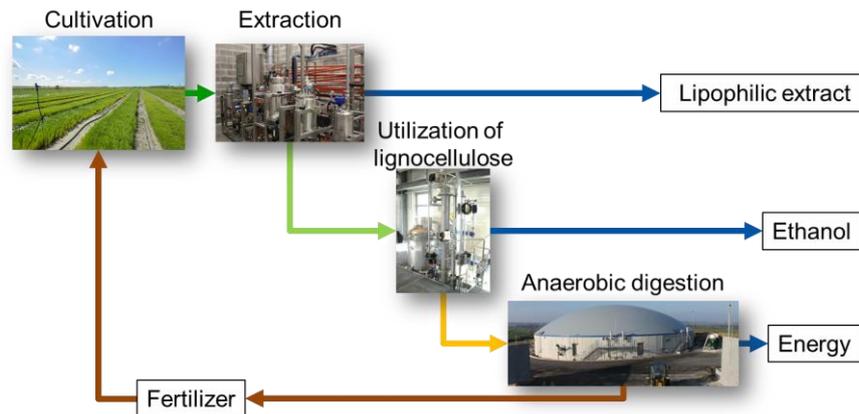
*Finding areas where traditional crops are unable to grow due to salinization is one key challenge to overcome these problems. Halophytes are ideal candidates to be investigated in terms of biomass production for chemicals and energy production. Within SaliChem, the goal was to achieve a complete process chain, starting from*

- *optimizing extraction of biological active plant extracts for the pharmaceutical and food industry,*
- *to a final valorization through sequential biomass utilization for chemicals and energy production through a biorefinery concept.*

*For all steps the theoretical, technical, practical and economical aspects were taken into account. Multiple halophytes were evaluated in a first screening and the most promising candidate, Spartina maritima, was used for the complete valorization chain. Recommendations were*

praktischen und ökonomischen Aspekte berücksichtigt. Mehrere Halophyten wurden in einem ersten Screening untersucht und der aussichtsvollste Kandidat, *Spartina maritima*, wurde für die gesamte Wertschöpfungskette herangezogen. Empfehlungen für deren Nutzung, basierend auf den extrahierbaren Substanzen und chemischen Zusammensetzung, wurden aufgestellt.

Mit dem erzeugten Wissen ist es möglich neue Konzepte für den Biomasseanbau für Flächen zu entwickeln, die heute nicht genutzt werden und zukünftig durch Versalzung nicht mehr zur Verfügung stehen.



**Fig. 1: Biorefineriekonzept für *Spartina maritima***

*established for their use depending extractable compounds and chemical composition.*

*Using the generated knowledge, it is possible to generate new concepts of crop cultivation in areas that are unused today and that will become salinized in the future.*

**Fig. 1: Biorefinery concept for *Spartina maritima***

### Industrielle Anwendung

Das wirtschaftliche Potential ist immens, wenn man die betroffenen Stakeholder des Projekts betrachtet. Die globalen Kosten der durch Bewässerung verursachten Versalzung belaufen sich auf geschätzte 11 Milliarden US-Dollar pro Jahr.

Der Markt für Lebensmittelzusätze basierend auf Naturprodukten wächst rasant und maßgeblich. In Belgien hat sich die Anzahl der Beschäftigten in diesem Sektor in den letzten fünfzehn Jahren verdoppelt. Die Anzahl an Lieferanten ist in den letzten fünf Jahren um 65 % gestiegen. Der Verkauf von Naturkosmetik in Deutschland wuchs um fast 7 % in 2009 auf 717 Millionen EUR – 45 Millionen EUR mehr als im Vorjahr – und erreichte einen Anteil von 5,6 % am gesamten Kosmetikmarkt.

Der Biogassektor braucht dringend alternative Rohstoffe, um der ändernden Gesetzesgrundlage und der Teller-Tank-Diskussion gerecht zu werden. Prognosen zeigen, wenn 10 % der versalzten Flächen in Europa für den Anbau von Biogassubstraten genutzt würden, könnte dadurch ein Marktvolumen von 1,4 Milliarden Euro für Biogasanlagenbauer entstehen. Auf der anderen Seite ist der Markt für biobasierte Chemikalien prognostiziert bis 2017 um 600 % auf 340 Milliarden EUR zu wachsen. Hierfür ist eine ausreichende Biomasseversorgung sicherzustellen.

### Industry Application

*The economic potential is immense, considering all the stakeholders affected by the project. The global cost of irrigation-induced salinity is equivalent to an estimated US\$11 billion per year. The food supplement market based on natural products is growing quickly and significantly. In Belgium, the number of employees in this sector doubled in the last fifteen years. The number of suppliers had increased by 65 % in the last 5 years. Sales of natural cosmetics in Germany in 2009 grew by almost 7 % to 717 million EUR – 45 million euros more than the year before – and achieved a share of 5.6 % of the total cosmetics market.*

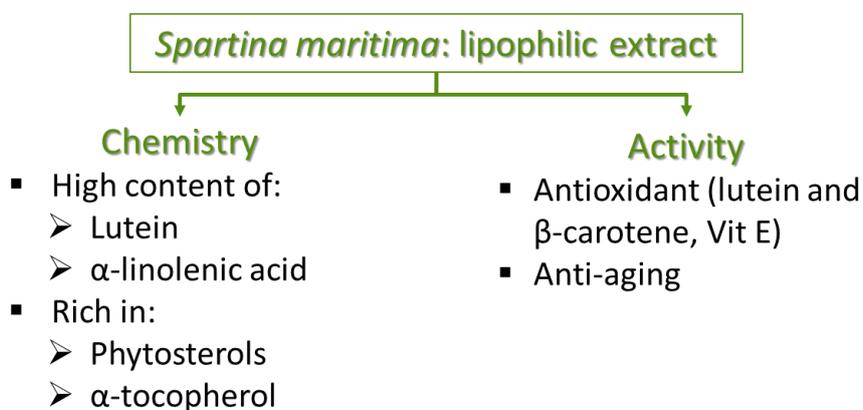
*The biogas sector is in dire need of alternative feedstocks to cope with more stringent legislation and the food vs. fuel debate. Projections show, using 10% of the salinity affected soil in Europe for biogas crop production, results in a market of about €1.4 billion for biogas plant manufacturers. On the other side, the biobased chemicals market is projected to grow by 600 % to €340 bln. until 2017. For this, a sufficient biomass supply must be ensured.*

## Ergebnisse und Schlussfolgerung

*Spartina maritima* wurde aus einer Auswahl an Halophyten für eine Wertschöpfung in einem Biorefineriekonzept ausgewählt. *Spartina maritima* ist ein an Europas Küsten wachsendes mehrjähriges Schlickgras. Während des Projekts wurde die Pflanze nicht mit Salzwasser kultiviert und zeigte trotzdem hohe Konzentrationen von wertvollen lipophilen Komponenten. Eine chemische Charakterisierung zeigte die Anwesenheit von Carotinoiden (hauptsächlich Lutein und  $\beta$ -Carotin), Phytosterole, Tocopherole und Fettsäuren (hauptsächlich  $\alpha$ -Linolensäure). Wie die Literatur beschreibt, induziert Salzstress die Bildung von sekundären Pflanzenstoffen in Halophyten. Ohne Salzstress war jedoch der Anteil an Lutein bereits sehr hoch (höher als in Gemüse mit bekannten Luteingehalten). Die produzierten Extrakte wurden auf verschiedene biologische Aktivitäten untersucht (antioxidativ, antimikrobiell und anti-aging). Interessante Ergebnisse wurden mit dem lipophilen Extrakt von *Spartina maritima* bezüglich Anti-Elastase- und Antikollagenase-Inhibierung gefunden. Das Extrakt könnte als neue Zutat für Hautpflegeprodukte Verwendung finden.

## Results and Conclusions

*Spartina maritima* was chosen from a selection of halophytes to be exploited through the biorefinery approach. *Spartina maritima* is a perennial cordgrass and grows along Europe's coastal regions. During the project, the plant was grown without salt stress. Even under this condition it showed high contents of lipophilic high valuable compounds. Chemical characterization reported the presence of carotenoids (mainly lutein and  $\beta$ -carotene), phytosterols, tocopherols, and fatty acids (mainly  $\alpha$ -linolenic acid). As described in the literature, induced salt stress can elevate the formation of plant secondary metabolites (PSM) in halophytes. Even though, the yield of lutein was significant (higher than the richest vegetable source of lutein) without any salt stress induced. The produced extracts were screened for various biological activity (antioxidant, antimicrobial and anti-aging). Interesting results were obtained with *Spartina* lipophilic extract concerning anti-elastase and anticollagenase inhibition. The extract could be used as new ingredient for skin-care products.



**Fig. 2: Zusammensetzung des lipophilen Extrakts von *Spartina maritima***

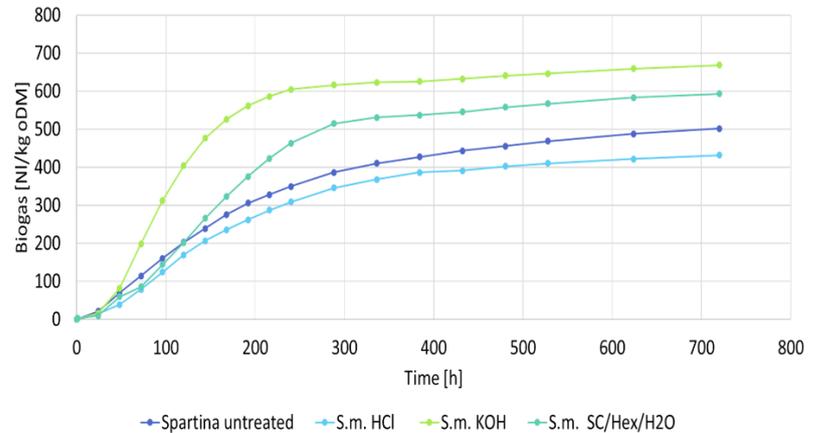
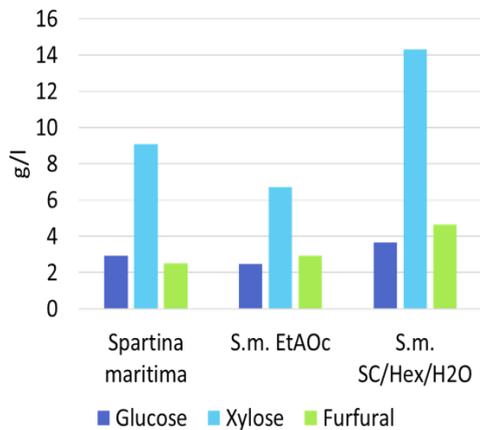
**Fig. 2: Composition of lipophilic extract from *Spartina maritima***

Darüber hinaus wurde im Projekt aufgezeigt, dass die Faserstruktur von *Spartina maritima* hohe Gehalte an Cellulose und Xylan besitzt, die für eine Verzuckerung genutzt werden können. Die Gehalte an Cellulose und Xylan sind vergleichbar mit anderen Rohstoffen der „2. Generation“, wie z.B. Weizen- und Maisstroh. Durch eine Vorbehandlung mittels Thermodruckhydrolyse (TDH), entwickelt am PFI, konnte die Hemicellulose hydrolysiert werden. Eine vorgeschaltete Extraktion führte zu Synergieeffekten mit der TDH-Vorbehandlung, vermutlich durch eine Reduzierung der hydrophoben

As was also shown in the project, *Spartina maritima* has high cellulose and xylan contents that can be exploited for saccharification. The levels of cellulose and xylan were comparable to other “second-generation” feedstocks, such as wheat straw or corn stover. Thermal Pressure Hydrolysis technology (TPH), developed by PFI, led to a hydrolysis of the hemicellulose fraction. Extraction prior to pretreatment showed a synergistic effect on the TPH pretreatment, possibly due to reduction of hydrophobicity. Higher xylose yields could be

Eigenschaften. Höhere Xyloseausbeuten konnten dadurch im Vergleich zu nicht extrahiertem Material erzielt werden. Die alkoholische Fermentation des Hydrolysates war der Fermentation mit einem Standardmedium überlegen. Die Einflüsse der Nährstoffe auf die Fermentation gilt es zu untersuchen.

*observed compared to pretreatment without prior extraction. The ethanol fermentation with *Spartina maritima* hydrolysate was superior over standard medium. The influences of nutrients on the fermentation needs to be investigated.*



**Fig. 3: Einfluss der Extraktion auf die Thermodruckhydrolyse (links) und Biogasproduktion (rechts)**

**Fig. 3: Effect of extraction on thermal pressure hydrolysis (left) and biogas formation (right)**

Ein zusätzlicher Synergieeffekt konnte beobachtet werden, wenn extrahierte *Spartina maritima* Biomasse für Biogasproduktion eingesetzt wurde. Ein Anstieg um 43 % des Biogasertrages konnte im Vergleich zu nicht extrahiertem *Spartina maritima* aufgezeigt werden. Durch die Synergieeffekte zwischen Extraktion und Biomasseverarbeitung können wirtschaftliche Vorteile für Biorefineriekonzepte ausgeschöpft werden, die sich auf die gesamte Wertschöpfungskette, von Landwirtschaft bis Kosmetik-, Chemie- und Biogasindustrie, positiv auswirken. Durch Extraktion kann die Intensität der Biomasseverarbeitung reduziert und die Biogaserzeugung verbessert werden. Weiterhin können durch die Erlöse der wertvollen Pflanzenextrakte die relativ hohen Kosten der Biomassekonversion zu Plattformchemikalien ausgeglichen werden. Der weltweite Markt für Lutein hatte einen Wert von ungefähr 233 Millionen US-Dollar in 2010 und ein Wachstum auf 308 Millionen US-Dollar wird bis 2018 erwartet. *Spartina maritima* repräsentiert eine attraktive Alternative zur Ringelblume, der derzeitige Quelle für Luteinextraktion, da *Spartina maritima* Lutein in der gesamten Pflanze akkumuliert und die Ringelblume nur in einem Pflanzenorgan, der Blüte. Der Austausch von Ringelblumen mit *Spartina maritima* könnte zu einer vereinfachten Erntetechnologie und zu einem potentiell höheren Flächenertrag von Lutein führen.

*An additional synergistic effect could be observed when extracted *Spartina maritima* biomass was used for biogas production. An increase of 43 % in biogas yield could be observed compared to untreated *Spartina maritima*. Through the synergistic effects of extraction and biomass processing, economic advantages can be exploited for biorefinery concepts, benefitting the whole valorization chain starting in the agricultural sector to the cosmetic, chemical and biogas industry. The biomass processing intensity and the biogas formation can be reduced and improved by the extraction process, respectively. Furthermore, the additional income through the high value extract can alleviate the relatively high costs for biomass conversion to platform chemicals. The worldwide market for lutein was worth roughly US\$ 233 million in 2010 and is expected to grow to US\$ 308 million in 2018. *Spartina maritima* represents an attractive alternative to Marigold, the current source for lutein extraction, since *Spartina maritima* accumulates lutein in the whole plant and Marigold only in one organ, the blossom. Replacing Marigold with *Spartina maritima* could lead to a simplified harvest and potential higher yield of Lutein.*

## Danksagung

Wir bedanken uns bei den Firmen der Biogas-, und Phytochemikalienbranche für die tatkräftige Unterstützung im Projekt

Ebenso bedanken wir uns bei dem Projektpartner Celabor für die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Das IGF-Vorhaben 136 EN der Forschungsvereinigung Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. -PFI-, Marie-Curie-Straße 19, 66953 Pirmasens wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

## Acknowledgements

*We would like to thank the companies of the biogas and phytochemical sector for supporting the project work and sampling.*

*We also want to thank the project partner Celabor for the fruitful cooperation.*

*The research project CORNET 136 EN of the research association Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. -PFI-, Marie-Curie-Straße 19, 66953 Pirmasens was funded by the following ministries within the programme of "promoting pre-competitive joint research" and carried out under the umbrella of the German Federation of Industrial Co-operative Research Associations (AiF). We would like to express our sincere thanks for this support.*

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Industrielle  
Gemeinschaftsforschung **IGF**



Wallonie

