

TECHNIKFOLGENABSCHÄTZUNG

Theorie und Praxis

21. Jahrgang, Heft 1 – Juli 2012

Editorial

3

Schwerpunkt

Challenges and Perspectives of Microalgae Production

<i>Chr. Rösch, C. Posten</i> : Introduction to the Thematic Focus	5
<i>Chr. Hug, D. von der Weid</i> : Algae as an Approach to Combat Malnutrition in Developing Countries	16
<i>R.J. Shields, I. Lupatsch</i> : Algae for Aquaculture and Animal Feeds	23
<i>C. Posten</i> : Design and Performance Parameters of Photobioreactors	38
<i>Chr. Wilhelm</i> : The Biological Perspective. Ideas from New Green Chemistry Concepts for Improving the Performance of Microalgae	46
<i>N.-H. Norsker, M.J. Barbosa, M.H. Vermuë, R.H. Wijffels</i> : On Energy Balance and Production Costs in Tubular and Flat Panel Photobioreactors	54
<i>Chr. Rösch, D. Maga</i> : Indicators for Assessing the Sustainability of Microalgae Production	63
<i>J. Skarka</i> : Microalgae Biomass Potential in Europe. Land Availability as a Key Issue	72

TA-Projekte

<i>S. Schön, F. Drießen, S. Pobloth, Ö. Yildiz</i> : Neue Wege für zukunftsfähige Infrastrukturen in schrumpfenden Regionen	80
<i>J.-P. Löhr</i> : Technikfolgenabschätzung im Technikunterricht	85
<i>M. Puhe, J. Schippl</i> : Stadtverkehr der Zukunft. Was denken junge Karlsruherinnen und Karlsruher?	89

Rezensionen

<i>N. Oreskes, E.M. Conway</i> : Merchants of Doubt. How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming (Rezension von H.-J. Luhmann)	94
<i>A. Mol, I. Moser, J. Pols (eds.)</i> : Care in Practice. On Tinkering in Clinics, Homes and Farms (Rezension von Chr. Schneider und B.-J. Krings)	97

Fortsetzung Seite 2

	<i>C. Streffer et al.</i> : Radioactive Waste – Technical and Normative Aspects of its Disposal (Rezension von M. Reuß)	101
	<i>K. Wiegerling</i> : Philosophie intelligenter Welten (Rezension von A. Rolf)	104
Tagungsberichte	Mediensektoren im Umbruch. Bericht von der Herbsttagung der DGS-Sektion „Wissenschafts- und Technikforschung“ (Stuttgart, 24.–25. November 2011) (von N. Hinderer, R. Kosche, M. Neukirch und J.-F. Schrape)	106
	Climate Engineering aus transdisziplinärer Perspektive. Bericht von der zweiten Sommerschule (Banff, Kanada, 1.–7.8.2011) (von N. Matzner und St. Uther)	109
	Nano is dead: Lang leben die neuen, emergierenden Technologien! Bericht von der S.NET 2011 (Tempe, Arizona, USA, 7.–10. November 2011) (von A. Ferrari)	112
	Wie geht Governance? Bericht vom Workshop der AG „Governance“ im Netzwerk TA (Berlin, 21.–22. November 2011) (von Chr. Schneider)	116
	20 Jahre Lokale Agenda 21 in Deutschland. „RIO+20 – Nachhaltig vor Ort!“ & Fünfter Netzwerk21-Kongress (Hannover, 7.–9.12.2011) (von M. Oertel und M. Albiez)	118
ITAS-News	CONSIDER: Neues Projekt zu Stakeholder-Partizipation in der Forschung	121
	Neue Veröffentlichungen	121
	Personalien	124
TAB-News	„Der Lotse geht von Bord“	125
	Neuer Mitarbeiter im TAB	
	TAB-Bericht zu „E-Petitionen“ im Petitionsausschuss präsentiert	126
	Weitere TAB-Berichte im Bundestag	
	Neue Veröffentlichungen	
STOA-News	New STOA Project on Cloud Computing and Social Networks	128
Netzwerk TA	Jahrestreffen 2011	130
	Workshop der AG „Governance“	
	TRANSDISS verlängert	
	NTA5 – Die fünfte Konferenz des Netzwerks TA findet in der Schweiz statt	

EDITORIAL

Vor vierzig Jahren erschien ein Bericht eines bis dato nicht sehr bekannten Kreises: die „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome. Die Botschaft schlug in der damaligen, noch an der ungebrems-ten Dynamik der Wirtschaftswunderzeit orien-tierten Zeit mit voller Wucht ein. Dass zufälliger-weise kurz darauf die erste Ölkrise für autofreie Sonntage in Deutschland sorgte – etwas damals, aber vielleicht auch heute noch Unerhörtes –, ver-stärkte die Wirkung der Botschaft, auch wenn die Ursachen ganz andere waren und nichts mit einer Verknappung der Ressource Öl zu tun hatten.

Diese Geschichte hatte Folgen, auch wenn die Modelle des Club of Rome viel zu einfach und die Prämissen fragwürdig waren. Das Be-wusstsein der Endlichkeit natürlicher Ressour-cen hat seitdem zugenommen, es wird heute viel über nachhaltige Entwicklung geredet und auch manches unternommen, es wurde die Ressour-cenproduktivität in den industrialisierten Län-dern erheblich gesteigert und vieles mehr.

Dennoch, es scheint eine Frage wert, ob nicht der Wunsch nach unbegrenztem Wachstum, nach einem Leben und einer gesellschaftlichen Ent-wicklung ohne Knappheiten und Nutzungskon-kurrenzen, die Konflikte verursachen und mühsa-me Kompromisse brauchen, weiterhin eines der Hauptmotive vieler technischer Entwicklungen ist. Einige der visionären Versprechungen der Nanotechnologie und der Synthetischen Biologie sind dieses Typs und wecken Erwartungen, die vor allem bei US-amerikanischen Autoren bis hin zu säkularisierten Erlösungshoffnungen reichen.

Vielleicht nicht gerade die Aussicht auf Er-lösung, aber doch mehr oder weniger deutlich geäußerte Erwartungen auf ein „Goldenes Zeit-alter“ gibt es auch im Energiebereich. Das hat Tradition. Vor allem die Kernenergie galt einmal als Schlüssel zum „Energieparadies“. Nur hat sich bislang immer wieder gezeigt, dass die weit reichenden Versprechungen entweder nicht ein-getreten sind oder dass nicht nur begrenzte Res-sourcen, sondern auch nicht intendierte Folgen der Nutzung Grenzen gesetzt haben.

Die Energiewende, die Hoffnung auf nach-haltigere Energieversorgung, der Wechsel von Kohle, Öl, Gas und Uran auf erneuerbare Ener-gieträger sind Folgen von Enttäuschungen, die durch ältere Energiebereitstellungstechnologien entstanden sind. Aber auch hier sprießen mun-ter die Erwartungen auf unbegrenztes und dieses Mal „wirklich“ sauberes Wachstum. Die Sonne stellt keine Rechnung, schreibt Franz Alt. Erneuerbare Energien erneuern sich, wie es schon der Name sagt, dann müssen sie wohl unbegrenzt verfügbar sein. Schöne neue Energiewelt!

Es gehört zum Geschäft der Technikfol-genabschätzung, Erzählungen dieser Art nicht einfach hinterherzulaufen, sondern sie unvorein-genommen zu prüfen. Für die gestartete Ener-giewende hat dies Folgen. Zwar stellt die Sonne keine Rechnung, aber die Technologien, um aus Sonnenenergie nutzbare Energie zu machen, müs-sen entwickelt und bezahlt werden. Unbegrenzt verfügbar? Vielleicht theoretisch, aber doch nicht in der Realität. Denn Knappheiten entstehen an anderer Stelle – dazu gehört z. B. die Begrenztheit der landwirtschaftlichen Nutzfläche, die die Nutzbarkeit von Biomasse limitiert, oder die Begrenztheit mancher seltener Metalle, die für die massenhafte Nutzung von Energiekonversi-ons- oder Speichertechnologien benötigt würden. Erneuerbare Energien sind nicht unbegrenzt ver-fügbare – die Knappheiten liegen nur an anderer Stelle als bei den fossilen.

Aber auch hier versuchen Ingenieure, der Knappheit zu entkommen. Im Fall der Biomas-se sollen z. B. Mikroalgen die Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Nutzfläche und damit die Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion verringern oder aufheben. Neue Aussichten auf ein Paradies unbegrenzter Energieversorgung? Die Beiträge im Schwerpunkt dieses Heftes zei-gen, dass es Potenziale gibt, dass aber die Bäume schon wieder nicht in den Himmel wachsen. Das scheint eine Grunderfahrung der wissenschaftlich-technischen Moderne zu sein: Wenn wir erfolg-reich Knappheiten überwinden, tauchen neue auf.

Armin Grunwald

EDITORIAL

Forty years ago, a report of a previously little known group was published: “The Limits to Growth” by the Club of Rome. The message caused a big stir at a time that was still oriented toward the continuing dynamic of the economic miracle period. Coincidentally, soon after that the first oil crisis brought about car-free Sundays in Germany – something unprecedented at that time, but perhaps even today – and this further increased the effect of the message, even though the causes were completely different and had nothing to do with a scarcity of oil resources.

This had consequences, even if the models of the Club of Rome were far too simple and the premises questionable. The awareness of the finiteness of natural resources has grown ever since, there is much talk about sustainable development today and some steps have also been taken, the resource productivity in the industrialized countries has been increased significantly, and much more.

Nevertheless, it is worth asking whether the desire for unlimited growth, for a life and a societal development without scarcities and use competition, leading to conflicts and requiring arduous compromises, are still a key driver of many technological developments. Some of the visionary promises of nanotechnology and synthetic biology are of this type, giving rise to secularised hopes of redemption, particularly among US American authors.

Maybe not the prospect of redemption, but more or less explicit expectations of a “golden age” exist also in the energy sector. This is tradition. Nuclear energy in particular was once considered to be the key to the “energy paradise”. However, it has been shown time and again that the far-reaching promises have either not occurred or that the use of energy was restricted not only by limited resources but also by unintended consequences.

Energy transition, the hope of a more sustainable energy supply, the switch from coal, oil, gas, and uranium to renewable energy sources are consequences of disappointments caused by

older energy supply technologies. However, here too the expectations of unlimited and this time “really” clean growth are high. The sun doesn’t send us a bill, Franz Alt writes. Renewable energies are renewed, as the name suggests, so they have to be available in unlimited quantities. Brave new energy world!

It is part of the business of technology assessment to not simply follow such stories but to examine them with an open mind. This has consequences for the current energy transition. Though the sun doesn’t send a bill, the technologies for producing usable energy from solar energy must be developed and paid for. Available in unlimited quantities? Maybe in theory, but surely not in practice. Scarcities arise elsewhere – including e.g. the limited availability of agricultural land, which restricts the availability of biomass, or the limited availability of some rare metals that would be required for the widespread use of energy conversion and storage technologies. Renewable energies are not infinitely available – it’s just that the scarcity lies elsewhere than with fossil ones.

But here, too, engineers are trying to find a way around the scarcity. In the case of biomass, for example, microalgae are expected to reduce or eliminate dependency on agricultural land and, thus, competition with food production. New prospects of a paradise of unlimited energy supply? The contributions to the thematic focus in this issue show that there is potential but, again, that “trees do not grow into the sky”. This seems to be a basic experience of scientific and technological modernity: When we manage to overcome scarcities, new ones emerge.

Armin Grunwald

SCHWERPUNKT

Challenges and Perspectives of Microalgae Production

Introduction to the Thematic Focus

by Christine Rösch, ITAS, and Clemens Posten, BLT (both KIT)

Microalgae offer great promise to contribute to the future supply of biofuels, but great efforts in research, development and demonstration are needed to overcome the biological, technical, economic and environmental challenges to developing a sustainable and commercially viable microalgae production system. The thematic focus of this issue highlights the grand challenges, perspectives and milestones of microalgal biomass production. These articles provide an overview of the most important questions addressed by society, and the answers they offer contribute to our conceptual knowledge. They provide a basis on which we can undertake the first steps in assessing any unintended side-effects – a core business of technology assessment.¹

1 The Great Green Hope

Microalgae are viewed with great hope by biomass producers. The hope is that microalgae will be able to overcome the obstacles encountered by first- and second-generation biofuels derived from biomass grown on arable land. They use sunlight five times more efficiently than terrestrial plants, can double their biomass in less than one day, and accumulate a high quantity of lipids, namely up to 50 % of their ash-free cell dry weight (Tredici 2010). Optimistic theoretical estimates are in the range of 24,000 to 137,000 liters oil per ha and year depending on the strain's genetics, the growth method, access to key nutrients, and location (Chisti 2007; Rodolfi et al.

2009). Rapeseed – the dominant feedstock for biofuels in Germany – yields only between 1,200 and 1,600 liters per ha and year (TFZ Bayern 2012). The commercial algae production of *Chlorella* in Germany (Klötze) yields 80 to 100 t dry biomass per year, grown in tubular photobioreactors under mixotrophic conditions.

Microalgae can utilize a wide variety of water types, such as fresh, brackish, saline, marine, and waste water, and can be cultivated on otherwise non-productive, non-arable land. Besides, they can recycle CO₂ and other nutrient waste streams and produce valuable coproducts in addition to biofuels (Benemann 1997). The development of technology for large-scale production and for supplying low-price bulk markets is still in its infancy, and strong and long-lasting efforts are needed in research, development, and demonstration to achieve the required progress. This issue of TATuP contributes to identifying the challenges that will likely need to be surmounted for microalgae to be used in the production of economically viable, environmentally sound biofuels. It is intended to serve as a resource for researchers, engineers, decision makers, and stakeholders by providing a summary of the current challenges and perspectives and indicating the direction that future activities in research, development, and demonstration should take.

2 Wild Strain or Designer Algae?

The selection of the appropriate strains of algae is an important factor in the overall success of the microalgal industry and of biofuel production. The natural variety of algae is enormous and represents an almost untapped resource. Current estimates indicate that there are more than 100,000 species which have not yet been described and which belong to several completely different biological groups. Depending on the species, they can accumulate different metabolites, such as lipids, hydrocarbons, vitamins, omega-3 fatty acids, pigments, antioxidants, and sterols. The main species used commercially are *Chlorella* and *Spirulina* for health food production, *Dunaliella salina* for β -carotene production, *Haematococcus pluvialis* for astaxanthin production, and several other species for aquaculture feed (Borowitzka 1999). One

of the key challenges facing the production of algal biofuels is to find or develop species of algae that feature the following attributes at the same time:

- high photoconversion efficiency, rapid and stable growth
- high contents of lipids and valuable coproducts
- high CO₂ absorbing capacity and limited nutrient requirements
- robustness towards shear stresses in photobioreactors and competitiveness against wild native strains in open ponds
- tolerance to temperature variations resulting from the diurnal cycle and seasons
- capability for live extraction (“milking”) of valuable secondary metabolites
- self-flocculation ability

Worldwide screening of algae has resulted in a collection of over 3,000 strains with promising oil-producing features (Sheehan et al. 1998). The drawback of these strains is that they do not grow fast enough. Genetic and metabolic engineering can increase a species' ability to produce lipids and to achieve the processing capabilities needed (see fig. 1). Increasing the cellular lipid content, with an emphasis on triacylglycerols for the production of biofuels, is at the focus (Schuhmann et al. 2012).

More than 30 different strains of microalgae have been transformed successfully to date, raising encouraging prospects for creating designer algae that exhibit desired features (Radakovits

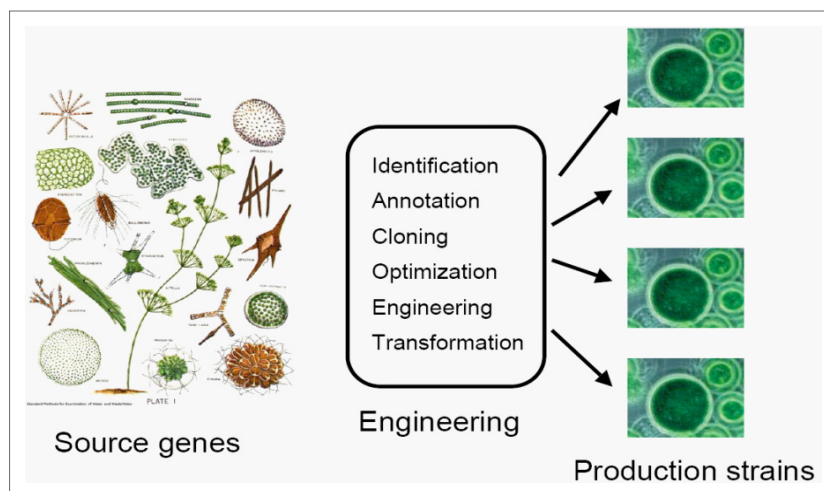
et al. 2010). Despite these promising concepts and successes, the development and distribution of superior designer algae will take some time because work on genetically modified algae is confined to a handful of private sector labs and a few academic institutions. While photosynthesis as such cannot be improved, targets of work are peripheral molecular structures such as antenna pigments, product profiles or metabolic overflow pathways. In this issue, *Christian Wilhelm* presents an approach for increasing microalgal biomass production and its energy efficiency. The concept of *new green chemistry* intends to reduce the number of conversion steps and metabolic processes needed to allocate the carbon into the macromolecular pools of the cell.

3 Open Ponds or Photobioreactors?

Most of the commercial systems employed for microalgae cultivation are artificial open ponds because they are cheap to build and easy to operate and scale up. So-called raceway ponds, usually lined with plastic or cement, are about 20 to 35 cm deep to ensure adequate exposure to sunlight. Paddlewheels provide motive force and keep the algae suspended in the water. The ponds are supplied with water and nutrients, and mature algae are continuously removed at one end. The main drawback of ponds is their biomass yield, which is in the range of 10 to 25 g/(m² d),

and thus higher than for oilseed rape (0.8 to 1.6 g/(m² d)), but significantly lower than for microalgae grown in closed reactors (25 to 50 g/(m² d)). Furthermore, the number of species which can be grown in ponds is limited, they are very vulnerable to contamination, and evaporative water loss. An overview of the differences between algae cultivation in ponds and reactors is given in table 1. Details of the design and operation

Fig. 1: Genetic engineering of microalgae



Source: Own compilation

of reactors can be found in the article by *Clemens Posten* in this issue.

Table 1: Comparison between algae cultivation in open ponds and photobioreactors

Parameter	Open ponds	Photobioreactors
Land footprint	High	Low
Water footprint	High	Low
CO ₂ release	High	Low
Energy requirement	Low	High
Application of waste water	Yes	Yes
Temperature control	Not needed	Required
Reactor cleaning	Not needed	Required
Risk of contamination	High	Low
Product quality	Variable	Reproducible
Microbiology safety	No	Yes
Biomass productivity	Low	High
Capital and operation costs	Low	High

Source: Own compilation

Of the different types of photobioreactors which have been developed so far, only the tubular reactor is used commercially. The hurdles to using photobioreactors for the mass production of bio-fuels are high capital and operation costs and the excessive demand for energy for pumping and the mixing of the culture medium and the harvesting process. Innovative photobioreactor concepts with a reduced energy demand, higher biomass concentration, and lower production costs can be expected in the future (Morweiser et al. 2010). *Niels-Henrik Norsker and colleagues* illustrate in this issue that positive net energy production and low production costs could theoretically be made feasible by changes in reactor design and operation. They point out that optimization of the reactor design will remain a trial-and-error process until the functional relationships between production factors and biomass productivity have been investigated. *Clemens Posten* alerts us to the fact in his article that other factors – apart from energy balance and maximum production – need to be opti-

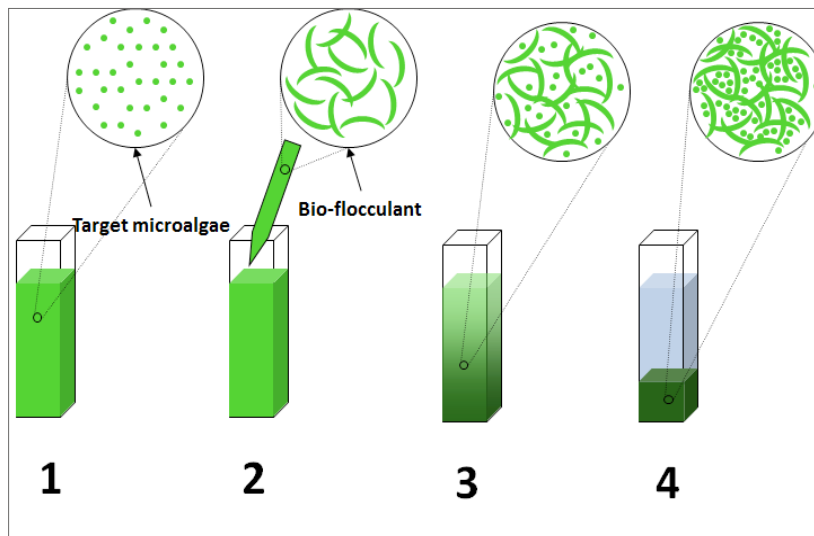
mized, such as geometric and hydrodynamic parameters, measured performance criteria, the mode and stability of operation, and cost effectiveness of the bioreactor. He presents several reactor designs with the objective of establishing a framework for the design and performance of photobioreactors.

4 What is the Best Method for Harvesting and Dewatering?

The harvesting and dewatering of small algal species in dilute suspensions at concentrations between less than 1 g/L (ponds) and 3–15 g/L (photobioreactors) are difficult as well as energy intensive. Dewatering to about 20–30 % water content is necessary in order to reduce volume and weight, to minimize transportation and downstream costs and to extend the shelf-life of the microalgae concentrate. Dewatering can be achieved using different physical, chemical, and biological methods depending on the type of algae, the requirements of the downstream processes, and the desired product quality. The techniques applied include flocculation, gravity sedimentation, centrifugation, filtration, and drying.

Autoflocculation and flocculation with alum, ferric chloride, chitosan, or hydrophobic absorbents (see fig. 2) and collection by means of dissolved air flotation, which thickens the material to 10 % dry weight content (100 g/L), are used as an initial step in dewatering to aggregate the microalgal cells and enhance the ease of further processing, such as sedimentation or centrifugal recovery (Grima et al. 2003). Gravity sedimentation, possibly enhanced by flocculation, is a separation technique with low energy demand and suitable for harvesting of large microalgae at reasonable cost, but it requires substantial area and that the downstream processes and product targets are tolerant to contamination by coagulants. The sediment sludge is more diluted than centrifugally recovered biomass, which substantially influences the economics of product recovery further downstream.

High-speed continuous centrifugation is definitely the preferred method for harvesting algal cells. It is used commercially, for example, to harvest high-value metabolites for hatcheries and nurseries in aquaculture, although strong gravitational and shear forces can damage the cell struc-

Fig. 2: Flocculation of algae

Source: <http://www.algae.wur.nl>

ture (Heasman et al. 2000; Harun et al. 2010). The technique is yet not suitable for dewatering large volumes of algal suspension for the production of biofuels due to its high power consumption and costs (Molina et al. 2003).

Filtration using, for example, membrane, micro-, pressure, or vacuum filters has proved to be the most competitive harvesting option for large microalgae because of their mechanical simplicity and availability in large unit sizes, but is associated with extensive operation costs and hidden preconcentration requirements (Harun et al. 2010). To process low volumes (<2 m³ per day), membrane filtration can be more cost-effective than centrifugation. Owing to the cost of membrane replacement and pumping on larger scales of production (>20 m³ per day), centrifugation may be a more economical method of harvesting the biomass (MacKay, Salusbury 1988). The most common methods for drying large microalgae such as *Chlorella*, *Scenedesmus*, and *Spirulina* are spray-drying, drum-drying, freeze-drying, and sun-drying (Richmond 2004). The high water content of algal biomass means that sun-drying is not a very effective method for algal powder production, and spray-drying is not economically feasible for low value products such as biofuels.

Since the available separation devices are not economically feasible, harvesting and dewatering remain a major challenge to the industrial-scale

processing of algae for biofuels. Regardless of the harvesting method, it is essential to increase the biomass concentration in the reactor in order to reduce energy demand and costs for downstream processing. An increase to 1 wt % in a reactor compared to 0.1 wt % in a pond would decrease the amount of water to be processed to just 10 %, thereby also reducing the energy demand and downstream costs to 10 %.

5 How to Get the Lipids Out?

Lipid extraction from microalgae represents another bottleneck hindering the economical industrial-scale production of algal biofuels. To produce biodiesel from oil seed, solvent extraction with hexane or ethanol is the preferred quick and efficient method of extraction (Richmond 2004). To extract microalgal lipids, only laboratory-scale technologies, but no methods for industrial-scale extraction, have been established, and the variables affecting lipid extraction are still not well understood (Brennan, Owende 2010; Halim et al. 2011). A paradigm controversy exists over the question if the dry or wet route is preferable for lipid extraction. In the dry route, the amount of energy required for dewatering the algal biomass is energetically prohibitive for production of algal biofuels (Halim et al. 2011). In the wet route, the energy required for the extraction of the oil is crucial (Xu et al. 2011).

Depending on the constitution of the cell wall and the desired product targets, either mechanical techniques, e.g. cell homogenizers, bead mills, autoclave, and spray drying, or non-mechanical methods, e.g. freezing, organic solvents and supercritical carbon dioxide, can be applied. Lipid extraction with supercritical carbon dioxide is a promising green technology that can potentially be used for large-scale

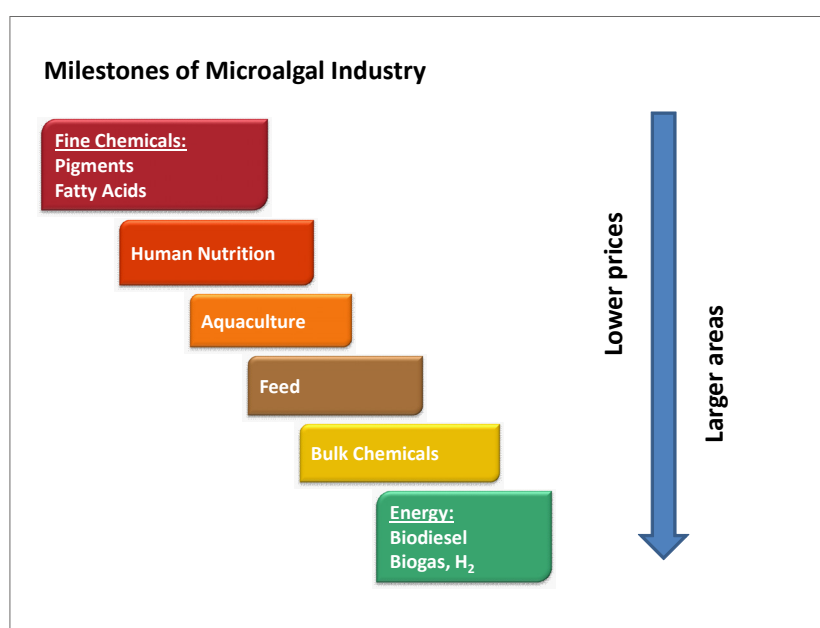
microalgal lipid extraction. It is rapid, can replace expensive and toxic extraction chemicals (e.g. hexane), enables the sequential and selective extraction of different lipid classes (e.g. triacylglycerides, phospholipids), produces solvent-free lipids and high-quality biofuels, and increases overall efficiency (Soh, Zimmermann 2011; Xu et al. 2011). The carbon dioxide that was employed can be recycled after extraction or fed into the photobioreactors. The main disadvantages are the high capital cost and the large amount of energy required for supercritical fluid compression (Halim et al. 2012).

The extraction efficiency can be enhanced by pretreatment processes, such as disruption of the algal cells, facilitating the release of lipids and other intracellular metabolites. New pretreatment methods, such as ultrasound or microwave-assisted methods and pulsed electric field (PEF) treatment resulting in electroporation (EP) or electroporeabilization of the cell membrane, promise to improve the extraction efficiency and to lower costs compared with conventional methods (Cravotto et al. 2008; Göttel et al. 2012). In contrast to the existing commercial processes requiring cells to be harvested, concentrated, and destroyed so that the desired product can be extracted, live extraction (so-called milking of algae) might be an alternative harvesting technique (Hejazi, Wijffels 2004). This involves the continuous removal of secondary metabolites from cells, thereby enabling the biomass to be reused for the continuous production of high-value compounds. However, the milking mechanism and its relationship to stress factors are still not well understood, and the microalgal products that could be produced by the milking process are limited.

6 With High-value Products to Algal Biofuels?

The energy product range which can be derived from microalgae is tremendous, ranging from biofuel and jet fuel to alcohols and conventional liquid hydrocarbons, to pyrolysis oil and coke and to gaseous compounds such as methane and hydrogen. In the short run, algae to biogas conversion is promising because several key obstacles, i.e. dewatering and lipid extraction, can be overcome this way and the methane content of algal biogas can be 7–13 % higher than that of biogas from maize silage (Mussnug et al. 2010), but this depends strongly on the species and pretreatment. In the long run, hydrogen produced by *Chlamydomonas reinhardtii* switching from oxygen to hydrogen production under severe conditions may be attractive. The research focus and main investments of the private sector are neither on biogas nor on hydrogen but on liquid fuels for transportation (Schlagermann et al. 2012). From today's point of view the production costs for algal biofuels are far from competitive, but could theoretically be reduced to a range of 1.94 to 3.35 €/L of biodiesel if optimistic assumptions and biological and technological progress are taken into consideration (Delrue et al. 2012). To bridge the time gap

Fig. 3: Milestones of microalgal industry



Source: Own compilation

until algal biofuels become economically feasible and generate a cash flow for algae enterprises scaling up to meet the larger fuel market demands of tomorrow, markets for high-value products have to be entered because they can afford to employ energy- and labor-intensive production systems. In this way, the production of algal biofuels could benefit from the development of biotechnology for high-value production systems, e.g., in the form of more efficient cultivation systems and harvesting technologies and vice versa.

The range of algae-based high-value products for the food and feed market or chemical and pharmaceutical industries is broad, comprising polyunsaturated fatty acids, anti-oxidants, pigments, vitamins, polysaccharides, pharmaceutically active polyketides, antifouling agents to green chemicals, solvents, and biopolymers. Broadening the markets for these products and developing new algal products for human nutrition, animal feed, and the non-food fine chemical industry can act as milestones for the microalgal industry growth into the targeted biofuel market as illustrated in figure 3.

The size and economic value of these and possibly new markets are ambiguous. Algae biomass is currently traded on commercial markets over a wide range of prices between 5 €/kg for algal products and 50 €/kg for high-value algae-based products. More than 10,000 dry tons of algae per year are produced worldwide for human and animal nutrition, in Japan, the USA, India, and China (Harmelen, Oonk 2006). The use of *Chlorella*, *Spirulina*, and *Arthrospira* for nutrition is limited to expensive health or food supplements sold in the form of tablets and capsules in the industrialized countries. Apart from this, the supply of algae proteins (e.g., Rubisco), of course without any taste or smell, could contribute to the fight against hunger and malnutrition in the world. *Christophe Hug and Denis von der Weid* outline in this issue the potential of the small-scale production of *Spirulina* to combat malnutrition in developing countries. They point out that support from large international organizations is a prerequisite for a wider implementation, which might be feasible if successful field trials accumulate evidence demonstrating the nutritious potential of *Spirulina*.

Microalgae feeds for aquaculture (aquafeeds) are currently produced in small amounts by hundreds of aquaculture operations and some commercial producers. These supply microalgae feeds, mainly fresh or as a refrigerated paste for bivalve, shrimp and fish fry, and fingerling production (Spolaore et al. 2006). However, the costs are high (100 €/kg of dry biomass), production systems are small, and the global production of aquafeeds currently amounts to approximately 1,000 tons (Muller-Feuga 2004). A large market for algal aquafeeds could be developed, replacing fish meal and oil, but production costs would have to be reduced to between 1 and 2 €/kg of dry biomass.

The perspectives for algal products in animal feed production are promising in theory. This is a large and growing market, and protein is often the limiting ingredient in animal feed, so supplementing the feed with algal proteins could be advantageous. The composition of microalgae, in contrast to that of soybeans, illustrates their suitability as feed supplement (see table 2). It has been demonstrated that the incorporation of algae into poultry rations as a replacement for conventional proteins can reach a level of 5–10 %. According to estimates, about 30 % of the current world algal production is already sold for animal feed applications (Becker 2007).

Table 2: Composition of microalgae in comparison to soybeans

	Oil	Protein	Carbohydrate
	% dry wt		
<i>Chlorella vulgaris</i>	14–22	51–58	12–17
<i>Dunaliella salina</i>	6	57	32
<i>Spirulina maxima</i>	6–7	60–71	13–16
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	21	48	17
<i>Scenedesmus obliquus</i>	12–14	50–56	10–17
Soybeans	20	37	30

Source: Adapted from Chisti (2007) and Becker (2007)

Robin J. Shields and Ingrid Lupatsch provide in this issue an overview of industry trends in the production of algal aquafuels and an outlook over future developments. They point out that the high costs of algal biomass compared to commodity feedstuffs currently confine their commercial use to niche animal feed applications such as aquaculture. Although the composition and digestibility of algae vary greatly between different strains and growing conditions, Shields and Lupatsch are optimistic that greater availability and lower prices would result in a more widespread use of algal feed in the future.

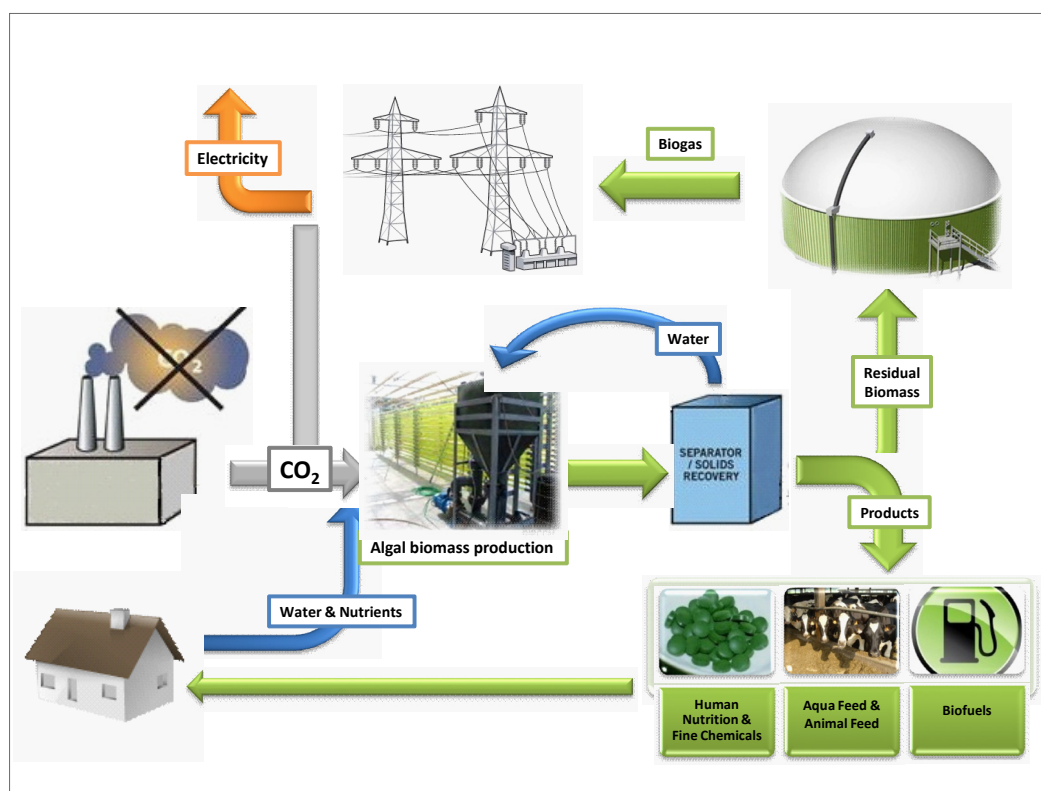
The product markets discussed separately as applications might suggest that each algal product market is on its own. This is, however, not the case, particularly if the aim is to enter high volume, low price markets such as biofuels. The costs of algae production can be covered more easily by a combined production that also includes high-value streams. Although these may represent only a minor fraction of the total biomass, they contribute to the economic situation in a major way.

For example, the protein fraction of the residual algal biomass after lipid extraction could be used as a high-value feed supplement. The algae biorefinery concept provides for the coincident production of a spectrum of high-value products for the food, feed and chemical markets and low-value bulk energy products from algal biomass. Despite the opportunities opened by taking high-value co-product markets as milestones to facilitate technology development and the commercialization of algal biofuels, it has to be remembered that the strongest driver for the development of large-scale algae technology is the hope that microalgae will one day make a remarkable contribution to meeting the world's energy needs.

7 Are Economics the Roadblocks?

The production costs of algal biofuels are much higher than those of traditional biofuels and have to be reduced by at least two orders of magnitude for microalgae to become a feasible source

Fig. 4: Recycling of CO₂ and nutrients by microalgae biomass production



Source: Own compilation

of biodiesel. Given that no large-scale process exists and a number of process steps have not even been demonstrated on an appreciable scale, the present cost estimates intrinsically include a relatively high degree of uncertainty in both the process steps and the costing methods. Moreover, there is potential for significant improvement in the future both from the opportunities for biological and engineering improvement and from room for capital cost reductions by establishing novel low-cost equipment for algae cultivation. Operating costs can be minimized further by employing a high degree of carbon and nutrient recycling as well as by assuming that waste water is delivered at low cost. The economic modeling of *Niels-Henrik Norsker and colleagues* in this issue shows that the development of reactors can in theory decrease the costs of microalgae cultivation in the longer-run (10–15 years) from the range of 2.40–3.20 €/kg dry biomass (already possible today) to 0.68 €/kg dry biomass. The economic feasibility of algal biofuels can be improved by the coproduction of high-value products. However, the market sustainability of such coproducts must be taken into consideration in the context of the envisioned commercial production volume. Considering the vast production quantities associated with the fuel market, it is not easy to find a value-added coproduct on a comparable scale.

8 Is Microalgae Production Sustainable?

Biofuel production from microalgae is regarded to be more environmentally sustainable than from traditional energy crops. This appraisal is based on the fact that algae can be cultivated on non-arable land, improving land use efficiency. On the downside, several life cycle assessment studies indicate that the production of algal biomass is an extremely energy intensive process, making it difficult to come up with positive energy revenue (Lardon et al. 2009; Jorquera et al. 2010; Sander, Murthy 2010; Stephens et al. 2010; Collet et al. 2011). This is mainly due to the high energy demand for mixing, harvesting, dewatering, lipid extraction, and refining of the final product. Reducing mixing in photobioreactors can result in a positive net energy balance (see *Niels-Henrik Norsker and colleagues* in this issue).

The demand for nitrogen for growing microalgae contributes significantly to the energy demand since synthetic nitrogen fixation processes utilize fossil fuels, particularly natural gas. Tapping into existing nutritious agricultural or municipal waste streams can lower the fertilizer demand for nitrogen and phosphorous by 84 % and 55 % (Yang et al. 2011) and thus improve the energy balance and resource efficiency (Lardon et al. 2009). Waste streams, however, can introduce competitive native algae species, unacceptable pathogens, chemical compounds, or heavy metals into the system and hamper the selective enrichment of the algae species suitable for the production of high-lipid and high-value secondary metabolites. In addition, the use of nutritious waste streams to meet the fertilizer demand of large-scale microalgae plants would require concentration and transportation of the waste streams in a feasible way. Another approach to reduce nutrient demand is to pursue diligent recycling. The final fuel product from algal lipids does not contain any nitrogen and phosphorous; these nutrients end up primarily in the residual algal biomass. If the biomass residues are, for example, treated by anaerobic digestion or hydrothermal gasification, then most of the nutrients can be returned to the growth system at different stages of the algae processing (Rösch et al. 2012). The processes by means of which these nutrients are remobilized and made available for algal growth are yet not well understood.

The diffusion of CO₂ from the atmosphere into microalgal cultures is not efficient enough to generate high biomass productivity due to the low CO₂ content of air (380 ppmv CO₂) and the high surface tension of water. The utilization of CO₂ emitted by industrial and fossil fuel power plants (5–6 % CO₂ from the combustion of natural gas and 10–15 % CO₂ from coal burning (Fishmann et al. 2010) can improve the performance of algal fuel production (Kumar et al. 2010), especially when the combustion plants are close to the microalgae cultivation site or can be connected economically via CO₂ pipelines and carbon credits can be earned (fig. 4) since 1.3–2.4 kg CO₂ is required per kg of dry algae (based on 36 to 65 % C content of dry algae) and prices for commercially delivered CO₂ are in the range of 30 to 45 € per ton of CO₂ (Becker 2008). Flue gases, how-

ever, contain several chemical compounds (e.g. SO_2 and NO_x) that – even at concentration levels of flue gas treated to current emission threshold values – can affect the growth, biochemical composition and excretion of microalgae or are even toxic for microalgae (Hende et al. 2012). Yet some microalgae strains have been found that are tolerant to even high levels of SO_x and NO_x (Sydney et al. 2010; Yoo et al. 2010). The use of flue gas emissions should be given detailed consideration since the quality of the flue gas might hamper specific applications in the high-value coproduct markets. The large areas of land, favorable climate, and ample water supplies that are needed will also restrict the CO_2 recycling potential of microalgae.

The cultivation of microalgae takes place in aquatic systems, and the large-scale production of algal biomass will consume large volumes of water. In warm climates, microalgae production in open ponds can have a huge water footprint (Subhadra, Edwards 2011). In contrast, closed photobioreactors that are highly efficient in recycling water generate only a small water footprint. Depending on the algal strain, the harvesting and dewatering processes, and the product targets, the amount of water that can be recycled can be limited, however, by the accumulated salts, chemical flocculants used for harvesting, or biological inhibitors produced by the strains themselves that could impair growth. Furthermore, it has to be taken into consideration that an enormous culture volume has to be pumped and processed daily due to the rapid growth of microalgae. Moving such large volumes of water is energy intensive and can impose a significant cost.

One of the main paradigms of microalgae production is that algae can be cultivated on non-arable land, thus avoiding land use competition with food production. The availability of non-arable or marginal land not used for agricultural production is however limited, especially in areas where the climatic conditions (radiation, temperature) and topography are suitable as well as where there is access to water, waste nutrients and a supply of carbon from flue gas emission. *Johannes Skarka* presents in this issue a GIS-based model for selecting algae production sites and evaluating resources. His calculations for Europe indicate that the restriction of algae pro-

duction to non-arable land will keep the annual energy potential in the range of 1 EJ. This amount is small compared to the technical potential of terrestrial biomass in Europe, estimated to 8.9 EJ (Thrän, Kaltschmitt 2002), but it brings added value to areas of otherwise no commercial value. The estimated annual production potential for microalgae on marginal land in China is thought to be an order of magnitude higher, namely 4.19 billion standard coal equivalents, far more than the total annual energy consumption equivalent in China in 2007 (Zhang et al. 2012).

Assessing the overall sustainability of algal biofuel production goes far beyond energy and mass balances and the calculation of land and water footprints. *Christine Rösch and Daniel Maga* present in this issue a methodological approach for a systematic and well-structured analysis of different aspects of sustainability. The application of sustainability criteria and indicators contributes to identifying sustainability challenges that will probably have to be surmounted for microalgae production technologies and systems to produce algal biofuels and high-value products in an economically viable and environmentally sound way.

9 What's Next?

Microalgae represent one of the most challenging and promising new sources of biomass, but long-term basic and applied research and development are required to develop this technology to make it commercially viable and fully sustainable. Basic research and development will also contribute to expanding our theoretical knowledge and the deployment potential of microalgae for biofuel production. Although there is great hope that the required technological development is feasible, some are of the opinion that the application of microalgae is only viable in niche markets and that algal biofuels are just hype. The reason for this divergent view is that our background knowledge and understanding of algae's biology is little established. Various specialists such as biologists and technical engineers are involved, and their close collaboration is essential for the creation of innovative solutions. The articles in this issue reflect the multifaceted nature and complexity of the development of microalgae technology.

Hopefully they can provide the fundamental orientation for non-expert readers from the technology assessment community and impulses for those who are more familiar with the issue.

Currently, many conceptual aspects are unclear, and a stepwise approach is needed in research and investment. Normative settings coming from the debate about sustainability can act as plausible crash barriers for a roadmap towards generating biofuels from microalgae and provide the societal framework for the next necessary steps of innovative research. If large-scale microalgae cultivation later turns out to be the best solution, their effects on social acceptance and the landscape in general will also have to be a topic for discussion. The issue of centralized and decentralized microalgae production and the mode of transportation of the production resources and of the expected high-quality products to the consumers will exert a strong influence on social acceptability. The ecological aspects of the construction and operation of microalgae plants and the required infrastructures could also be important, such as the utilization of water and waste streams as sources of nutrients. Once the theoretical framework and the development of initial prototypes has been finished, classical technology assessment can start to generate systematic knowledge of the intended effects and unintended side effects of algae biotechnology for biofuel production.

Note

- 1) The editors of this thematic focus and the editorial team of TATuP are grateful for the always constructive assistance of Alison Hepper and Michael Wilson, who did the linguistic revision of the English manuscripts with great care and commitment.

References

- Becker, E.W.*, 2007: Microalgae as a Source of Protein. In: *Biotechnology Advances* 25/2 (2007), pp. 207–210
- Becker, E.W.*, 2008: *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*. Cambridge (Cambridge Studies in Microbiology, Vol. 10)
- Benemann, J.R.*, 1997: CO₂ Mitigation with Microalgae Systems. In: *Energy Conversion and Management* 38 (1997), pp. S475–S479
- Borowitzka, M.A.*, 1999: Commercial Production of Microalgae: Ponds, Tanks, Tubes and Fermenters. In: *Journal of Biotechnology* 70/1–3 (1999), pp. 313–321
- Brennan, L.; Owende, P.*, 2010: Biofuels from Microalgae – A Review of Technologies for Production, Processing, and Extractions of Biofuels and Co-products. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14/2 (2010), pp. 557–577
- Chisti, Y.*, 2007: Biodiesel from Microalgae. In: *Biotechnology Advances* 25 (2007), pp. 294–306
- Collet, P.; Hélias, A.; Lardon, L. et al.*, 2011: Lifecycle Assessment of Microalgae Culture Coupled to Biogas Production. In: *Bioresource Technology* 102/1 (2011), pp. 207–214
- Cravotto, G.; Boffa, L.; Mantegna, S. et al.*, 2008: Improved Extraction of Vegetable Oils under High-intensity Ultrasound and/or Microwaves. In: *Ultrasonics Sonochemistry* 15/5 (2008), pp. 898–902
- Delrue, F.; Setier, P.-A.; Sahut, C. et al.*, 2012: An Economic, Sustainability, and Energetic Model of Biodiesel Production from Microalgae. In: *Bioresource Technology* 111 (2012), pp. 191–200
- Fishman, D.; Majumdar, R.; Morello, J. et al.*, 2010: National Algal Biofuels Technology Roadmap. A Technology Roadmap Resulting from the National Algal Biofuels Workshop December 9–10, 2008, College Park, Maryland
- Göttel, M.; Eing, Ch.; Gusbeth, Ch. et al.*, 2012: Pulsed Electric Field Treatment of Microalgae for Cell Ingredients Extraction. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute for Pulsed Power and Microwave Technology (IHM), Karlsruhe
- Grima, M.E.; Belarbi, E.H.; Fernandez, F.G.A. et al.*, 2003: Recovery of Microalgal Biomass and Metabolites: Process Options and Economics. In: *Biotechnology Advances* 20/7–8 (2003), pp. 491–515
- Halim, R.; Danquah, M.K.; Webley, P.A.*, 2012: Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A Review. In: *Biotechnology Advances* 30/3 (2012), pp. 709–732
- Halim, R.; Gladman, B.; Danquah, M.K. et al.*, 2011: Oil Extraction from Microalgae for Biodiesel Production. In: *Bioresource Technology* 102/1 (2011), pp. 178–185
- Harmelen, T. van, Oonk, H.*, 2006: *Microalgae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to Greenhouse Gas Mitigation Options*. Report, International Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement. The Netherlands
- Harun, R.; Singh, M.; Forde, G.M. et al.*, 2010: Bioprocess Engineering of Microalgae to Produce a Va-

- riety of Consumer Products. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14/3 (2010), pp. 1037–1047
- Heasman, M.; Diemar, J.; O'Connor, W. et al., 2000: Development of Extended Shelf-life Microalgae Concentrate Diets Harvested by Centrifugation for Bivalve Molluscs – A Summary. In: *Aquaculture Research* 31/8–9 (2000), pp. 637–59
- Hejazi, M.A.; Wijffels, R.H., 2004: Milking of Microalgae. In: *Trends in Biotechnology* 22/4 (2004), pp. 189–194
- Hende, S. van den; Vervaeren, H.; Boon, N., 2012: Flue Gas Compounds and Microalgae: (Bio-)chemical Interactions Leading to Biotechnological Opportunities. In: *Biotechnology Advances*, in press
- Jorquera, O.; Kiperstok, A.; Sales, E.A. et al., 2010: Comparative Energy Life-cycle Analyses of Microalgal Biomass Production in Open Ponds and Photobioreactors. In: *Bioresource Technology* 101 (2010), pp. 1406–1413
- Kumar, A.; Ergas, S.; Yuan, X. et al., 2010: Enhanced CO₂ Fixation and Biofuel Production via Microalgae: Recent Developments and Future Directions. In: *Trends in Biotechnology* (2010), pp. 371–380
- Lardon, L.; Hélias, A.; Sialve, B. et al., 2009: Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. In: *Environmental Science & Technology* 43/17 (2009), pp. 6475–6481
- MacKay, D.; Salusbury, T., 1988: Choosing Between Centrifugation and Crossflow Microfiltration. In: *Chemical Engineering Journal* 477 (1988), pp. 45–50
- Molina Grima, E.; Belarbi, E.H.; Acien Fernandez, F.G. et al., 2003: Recovery of Microalgal Biomass and Metabolites: Process Options and Economics. In: *Biotechnology Advances* 20/7–8 (2003), pp. 491–515
- Morweiser, M.; Kruse, O.; Hankamer, B. et al., 2010: Developments and Perspectives of Photobioreactors for Biofuel Production. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 87/4 (2010), pp. 1291–1301
- Muller-Feuga, A., 2004: Microalgae for Aquaculture: The Current Global Situation Future Trends. In: Richmond, A. (ed.): *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, UK, pp. 352–364
- Mussgnug, J.H.; Klassen, V.; Schlüter, A. et al., 2010: Microalgae as Substrates for Fermentative Biogas Production in a Combined Biorefinery Concept. In: *Journal of Biotechnology* 150/1 (2010), pp. 51–56
- Radakovits, R.; Jinkerson, R.E.; Darzins, A. et al., 2010: Genetic Engineering of Algae for Enhanced Biofuel Production. In: *Eukaryot Cell* 9 (2010), pp. 486–501
- Richmond, A. (ed.), 2004: *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford
- Rodolfi, L.; Zittelli, G.C.; Bassi, N. et al., 2009: Microalgae for Oil: Strain Selection, Induction of Lipid Synthesis and Outdoor Mass Cultivation in a Low-cost Photobioreactor. In: *Biotechnology and Bioengineering* 102 (2009), pp. 100–112
- Rösch, Chr.; Skarka, J.; Wegerer, N., 2012: Materials Flow Modeling of Nutrient Recycling in Biodiesel Production from Microalgae. In: *Bioresource Technology* 107 (2012), pp. 191–197
- Sander, K.; Murthy, G.S., 2010: Life Cycle Analysis of Algae Biodiesel. In: *International Journal of Life Cycle Assessment* 15/7 (2010), pp. 704–714
- Schlagermann, P.P.; Göttlicher, G.; Dillschneider, R. et al., 2012/ in press: Composition of Algae Oils and its Potential as Biofuel. In: *Journal of combustion*
- Schuhmann, H.; Lim, D.K.Y.; Schenk, P.M., 2012: Perspectives on Metabolic Engineering for Increased Lipid Contents in Microalgae. In: *Biofuels* 3 (2012), pp. 71–86
- Sheehan, J.; Dunahay, T.; Benemann, J. et al., 1998: A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae. U.S. Department of Energy's Office of Fuels Development
- Soh, L.; Zimmerman, J., 2011: Biodiesel Production: The Potential of Algal Lipids Extracted with Supercritical Carbon Dioxide. In: *Green Chemistry* 13/6 (2011), pp. 1422–1429
- Spolaore, P.P.; Joannis-Cassan, C.; Duran, E. et al., 2006: Commercial Applications of Microalgae. In: *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101/2 (2006), pp. 87–96
- Stephens, E.; Ross, I.L.; King, Z. et al., B., 2010: An Economic and Technical Evaluation of Microalgal Biofuels. In: *Nature Biotechnology* 28/2 (2010), pp. 126–128
- Subhadra, B.G.; Edwards, M., 2011: Coproduct market analysis and water footprint of simulated commercial algal biorefineries. In: *Applied Energy* 88/10 (2011), pp. 3515–3523
- Sydney, E.B.; Sturm, W.; de Carvalho, J.C. et al., 2010: Potential Carbon Dioxide Fixation by Industrially Important Microalgae. In: *Bioresource Technology* 101 (2010), pp. 5892–5896
- TFZ – Technologieforschungszentrum Bayern, 2012: Raps – die Ölpflanze unserer Breiten. Anbau, Erträge, Ausweitungspotenzial; http://www.tfz.bayern.de/sonstiges/16459/07brs036_raps_die_oelpflanze_unserer_breiten.pdf (download 10.4.12)

Thrän D.; Kaltschmitt M., 2002: Biomass for a Sustainable Energy Provision Systems – State of Technology, Potentials and Environmental Aspects. In: Sayigh, A. (ed.): Workshop Proceedings. World Renewable Energy Congress, June 29–July 5, 2002. Cologne, Germany 2002

Tredici, M.R., 2010: Photobiology of Microalgae Mass Cultures: Understanding the Tools for the Next Green Revolution. In: *Biofuels* 1/1 (2010), pp. 143–162

Xu, L.; Brilman, D.W.F.; Withag, J.A.M. et al., 2011: Assessment of a Dry and a Wet Route for the Production of Biofuels from Microalgae: Energy Balance Analysis. In: *Bioresource Technology* 102/8 (2011), pp. 5113–5122

Yang, J.; Xu, M.; Zhang, X. et al., 2011: Life-cycle Analysis on Biodiesel Production from Microalgae: Water Footprint and Nutrients Balance

Zhang, Q.; Ma, J.; Qiu, G. et al., 2012: Potential Energy Production from Algae on Marginal Land in China. In: *Bioresource Technology* 109 (2012), pp. 252–260

Contact

Dr. Christine Rösch
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Institute for Technology Assessment and
Systems Analysis (ITAS)
Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
Phone: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 27 04
E-mail: christine.roesch@kit.edu



Algae as an Approach to Combat Malnutrition in Developing Countries

by Christophe Hug and Denis von der Weid,
Antenna Technologies Foundation¹⁺²

Algae are being increasingly used in our food. Their use is, however, not an entirely new phenomenon as some species have been beneficially consumed in diverse cultures for centuries. Algae's wealth of nutrients has also led researchers to investigate new approaches for combating malnutrition in developing countries. One approach is based on the small-scale production of the microalga "Spirulina" and has proved to have considerable potential as a tool for development. Significant work has been done to develop its production and distribution in order to reach malnourished populations. However, although this approach has been successful, support for it by large international organisations is weak, and they do not include it in their development efforts. This might nevertheless change as evidence is accumulated in successful field trials.

1 Algae in Human Food

For centuries, coastal populations have taken advantage of the availability of algae to supplement their food supply, also using it as fertilizer and as animal feed. Traces of algae have been found in the ashes of prehistoric dwellings, which suggests that mankind turned to algae as a source of sustenance at an early time. Algae have been a traditional and timeless food source in the coastal regions of East Asia. In Japan, China and Korea, for instance, they are well anchored in food habits, and their daily consumption keeps algae farms busy. In North America and Europe, consumption is more limited and recent, where production is largely limited to the field of extracted by-products such as alginates and agars. These are used as food additives in a variety of food products for their gelling or thickening properties. However, research is zooming ahead into using algae to develop novel food products, taking advantage of the fact that the functionality of

their compounds goes beyond their basic nutritive value (Cornish et al. 2010). The combined presence of major nutrients – such as vitamins, minerals, antioxidants, rare essential amino acids and fatty acids – has contributed to this trend (MacArtain et al. 2007; Marfaing et al. 2010).

Microalgae have gained particular popularity as a dietary supplement in industrialized countries, where the intake of calories is high but that of micronutrients tends to be low. Human consumption is today by far the largest commercial application of microalgal biomass production (Tramoy 2011). *Spirulina*, *Chlorella* and *Dunaliella* belong to the most commonly found species. In addition to their nutritional value, microalgae bear many potential benefits for human health as is reflected in the impressive amount of research that has been conducted on the pharmacological properties of their specific metabolites. Most of these benefits have yet to be clinically proven, but the fact remains that a simple natural food such as algae may well improve a good number of health conditions (Gerschwin et al. 2007).

2 Meet *Spirulina*!

Among microalgae, *Spirulina* is the genus that has gained the most interest as a food supplement.³ It possesses a complete range of micronutrients and contains an extraordinarily high level of protein (50 % to 70 %). Additionally, it contains all the important vitamins (with the exception of vitamin C) and has high levels of essential micronutrients such as β -carotene, vitamin B12, iron and trace minerals. Moreover, thanks to the absence of a cell wall (unlike other microalgae), it provides an easily digestible product and does not require processing (Falquet et al. 2006). *Spirulina* is successful in treating some of the most severe forms of malnutrition, such as vitamin A, protein, iron and zinc deficiencies. This is also the reason why it has been traditionally consumed in several regions of the world for centuries. One such group is, for instance, the population in the Kanembu region of Lake Chad, who have notably avoided malnutrition for centuries despite their poor diets, especially in times of famine. This singular food was rediscovered in Chad in the 1950s by a European scientific mission, who

described dried green cakes sold in markets and produced from the abundance of *Spirulina* growing naturally in the lake (Habib et al. 2008).

The rationale for the use of *Spirulina* as a solution to malnutrition brings together several complementary perspectives. Firstly, *Spirulina*, as a natural product, provides a comprehensive solution to malnutrition as it contains most critical micronutrients. It has frequently been demonstrated to be a truly effective solution. Just one to two grams per day is sufficient to correct a child's malnutrition within a few weeks. In addition, recent studies have shown that *Spirulina* not only improves children's physical and cognitive development, but also helps people affected by HIV/AIDS to feel better in their daily life and gain weight. *Spirulina* is also a very cost-effective solution, considering the ratio of production costs compared to its nutritional value. It can be easily cultivated in pool systems with relatively little upfront investment. An installation costs only between 10 € and 20 € per square meter, and a pool of 200 square meters produces enough *Spirulina* for 1,200 children per year. Finally, just as its traditional use in Chad suggests, *Spirulina* also sets the foundation for an approach that can create employment and income, establish a sustainable supply chain and therefore generate a long-term impact (Heierli et al. 2007).

3 Small-scale Production as a Development Tool

It is clear that the nutritional virtues of *Spirulina* are not its only advantages. Producing it locally potentially makes it more appealing than an imported foodstuff. Besides using local resources, product development that is based on local needs will also enhance a product's acceptance among the target beneficiaries. As such, *Spirulina* farms provide a solution not only to overcome malnutrition, but also to counter unemployment. Teaching locals to produce *Spirulina* will benefit them in the eyes of their peers as they acquire expertise in production.

Several organisations, such as Antenna Technologies, have created the capacity for developing small-scale *Spirulina* production, acting as facilitators to encourage local production. This small-scale production is orientated towards easier dis-

tribution to cover both rural and urban communities where the staple diet is poor. Antenna Technologies has developed a method using ponds, which allows local people to grow their own microalgae independently. The key lies in transmitting know-how to target populations so that they can grow and market the microalgae product themselves.

Establishing a Spirulina farm means ensuring that several criteria related to climate (temperatures, light intensity), access to water, competence of local staff, and availability of agricultural fertilizers and bicarbonate are met. The production technology is rather simple and requires little upfront investment. Cultivation may be carried out in unlined ditches or in concrete ponds. Stirring may be provided by a simple device driven by wind energy or by hand. The mature Spirulina is harvested by simple cloth-filtration. After washing the Spirulina in fresh water, it can be directly mixed with the staple diet, without processing or cooking. If needed, Spirulina can also be preserved by immediate drying, with no significant loss in quality or nutritional value (Jourdan 2006).

The major challenge for small-scale Spirulina farms lies in reaching financial sustainability.

Once on site, research is carried out to improve productivity, competitiveness and quality. It is in particular related to replacing imported inputs with local products, using cheap construction materials, improving stirring and working conditions, using recycling systems for the growth medium, and improving drying and packaging (Hug et al. 2011).

Small-scale farms in developing countries are fully aware of Spirulina's potential to improve the nutrition of the population, and most are also motivated to develop into commercial businesses. As a consequence, Spirulina farmers in developing countries have mastered the production methods, from sowing to packaging during the past decade. The technical problems encountered ten years ago have almost entirely disappeared, and the quality of Spirulina in developing countries has greatly improved. In several African countries, good manufacturing practices (GMPs) and official quality control systems have been established (Charpy et al. 2008, Birot 2009).

Establishing a Spirulina farm as a local business also requires the creation of an effective distribution network and of an appropriate strategy to

teach the local population about the nutritional benefits of Spirulina. One of the most important features of local Spirulina production is to involve local women in the production process and in creating a business for them. These women not only distribute the product but also educate peers about its nutritional values, and thus provide a service to the community. Combining local production with its distribution is a key for achieving an efficient and long-lasting impact. Hence Spirulina not only emerges as a remedy for malnutrition, but also as a true tool for development (Heierli et al. 2007).

Fig. 1: Small-scale Spirulina farm in a developing country*



* Spirulina farm in Sékong, Laos, established 2011 with support from Antenna. Small-scale Spirulina production is a relatively simple and straightforward process. It essentially consists of managing water and fertilizer levels, stirring, harvesting and drying.

Source: Antenna 2011

4 Spirulina as a Business to Combat Malnutrition

Having the beneficiaries contribute as customers is part of the paradigm of a sustainable long-term strategy to combat malnutrition. This implies the necessity of making it so affordable that even the poor can contribute to the production cost of Spirulina-enriched products. As a public health solution, Spirulina must be marketed as a tangible product plus as a service in the form of information about its usefulness. In this sense, the product has to include an outreach strategy: the product should not only be easily consumed but also be distributed in such a way that it reaches the populations who need it most (Heierli et al. 2007).

The business model identifies children and lactating women as the primary target group. As malnutrition can inflict its most severe impact on young children, it is important to reach this target group through their mothers, who can be relied on to convey the message of nutrition from peer to peer. Such an approach is especially relevant in countries where promotion through the conventional media is not suitable because of its low coverage and the high illiteracy rates. Sales activities may indirectly contribute to the fight against malnutrition as the additional income from being part of the value chain can result in improved food intake by both women and their children. Women therefore not only represent sales channels but are also beneficiaries (Heierli et al. 2007).

Product development requires a deep understanding of the needs of the customers and the local circumstances in order to develop a functional solution that incorporates critical features into the design of the product. In its raw form, Spirulina may only be sold to those who are already convinced of its value. For a wider market, a more attractive product is needed. In order to reach targets such as malnourished children, product development is therefore an area that deserves much attention. The product needs to be easy to chew and distribute and to be produced locally with simple technology. There are several examples of specifically designed products meeting these requirements. The Spirulina enriched “chikkies” found in India are an excellent example of such product development, based on local needs and local resources. A chikki is a kind of energy

biscuit based on peanuts and belongs to the most popular snacks for children in India. Spirulina chikkies were hence very well accepted (Heierli et al. 2007). Another recently marketed product in India takes the form of a candy. This product represents another example of such a link to successfully reach poor and malnourished children. Its retail price (1 INR = 0.02 €) lies within the price range for a regular snack that poor children in India can afford. It is therefore competitive, affordable and also represents a business opportunity for sales women (Antenna 2011).

5 Food Aid and Development Policies

The use of small-scale Spirulina production as an approach to combat malnutrition is mainly being promoted by NGOs and local health institutions in developing countries. Their work is being urged on by numerous positive field experiences and endorsed by the growing evidence from clinical studies (see the next section). In spite of this, large international organizations and UN agencies such as the WHO, the WFP and UNICEF still do not clearly recommend it or promote its use. To date, these agencies have taken only non-committal positions on the use of Spirulina in the fight against malnutrition. The fact that Spirulina in this context is neither a medicine nor a foodstuff may have represented a hurdle. Should Spirulina be assessed from the perspective of malnutrition as a public health matter (then under the responsibility of the WHO), as a food security matter (FAO) or rather as an issue about the condition of children (UNICEF)? In the end, none of these institutions truly takes a stand.

This situation may soon change, since several countries, such as Burkina Faso or Senegal, have implemented governmental plans to develop the cultivation of Spirulina. Moreover, in 2005, several African and South American countries put forward a draft resolution demanding a clear stance from the UN General Assembly in favour of the production and use of Spirulina.⁴ Under this mandate, the FAO prepared a review on the subject in 2008 (Habib et al. 2008).⁵ Although the review covers the issue of malnutrition only superficially, it nevertheless recognizes the potential of Spirulina in this field. In its re-

port, the FAO made two recommendations in this regard (Habib et al. 2008, p. 26):

1. "International organizations working with Spirulina should consider preparing a practical guide to small-scale Spirulina production. This small-scale production should be oriented towards: 1) providing nutritional supplements for widespread use in rural and urban communities where the staple diet is poor or inadequate; 2) allowing diversification from traditional crops in cases where land or water resources are limited."
2. "There is [...] a role for both national governments – as well as intergovernmental organizations – to re-evaluate the potential of *spirulina* (emphasis by the author) to fulfill both their own food security needs as well as a tool for their overseas development [...]."

The first recommendation is widely followed today, since the NGOs working with Spirulina have continued their efforts to develop and promote it. In recent years, considerable progress has been achieved in this domain in dozens of countries. Antenna Technologies, for instance, is involved in Spirulina programmes in more than ten African and Asian countries. Regarding the second FAO recommendation, a lot of work still needs to be done. In its latest guidelines regarding the choice of foods and ingredients for moderately malnourished children, the WHO concluded (for the first time) that Spirulina could play a role in treating children with moderate malnutrition and recommended further investigation of this subject (Michaelsen et al. 2009).⁶ This has been a slow progression fed by a large number of successful field initiatives and accumulating evidence.

6 The Evidence on Spirulina in Malnutrition

The need to increase acceptance among policy-makers calls for more systematic research on the role of Spirulina in the context of malnutrition. Here is a survey of some of the most recent clinical trials conducted with Spirulina, in particular with children and vulnerable populations (such as HIV/AIDS individuals), that helps provide compelling evidence.

- In India, a randomized clinical trial with 60 schoolgirls addressed not only the purely nutritional effects of a small intake of Spirulina (1 g/day), but also the possible indirect effects on their cognitive development (Sachdeva et al. 2004). This study led to positive and statistically significant results both on the haematological condition of the pupils and on their intellectual performance. It ends with a recommendation to the Indian government that it supply Spirulina free in schools, particularly in deprived regions.
- In Burkina Faso, a comparative study on the nutritional recovery of 170 children (of which half were HIV positive) demonstrates the benefits of Spirulina in the treatment of child malnutrition, as well as its particularly positive impact on the nutritional rehabilitation of HIV-infected children (Simpore et al. 2005). Another work by the same authors compared the nutritional benefits of diets composed of Spirulina or of misola⁷ (Simpore et al. 2006). The study was on 550 severely malnourished children under the age of 5. An increase in body weight was observed in all children, especially those whose diet was made up of both Spirulina and misola. The authors concluded that Spirulina and/or misola added to traditional food constitute good diets for severely malnourished children. The diet with Spirulina and misola yielded the best results, because it combines misola's high caloric value with Spirulina's high protein and micronutrient content.
- In the Central African Republic, a 6-month randomized trial was carried out with adults infected and affected by HIV (Yamani et al. 2009). A total of 160 patients were divided into two groups. Patients in the first group received 10 grams of Spirulina per day, while patients in the second group received a placebo. This study showed a significant improvement on the main endpoints (e.g. weight, arm girth, number of infectious episodes, CD4 count). However, no clear conclusions could be drawn from a clinical standpoint because of methodological problems reported by the authors.
- In Cameroon, a randomized single-blind study of 52 malnourished HIV adults compared a group given a supplement of Spirulina to another given one of soya beans (Azabji-Kenfack

et al. 2011). This work showed significant improvements in anthropometric, biological and immunological parameters in HIV-positive malnourished patients receiving Spirulina. The authors concluded that there is sufficient evidence to regularly provide Spirulina to such patients.

These recent clinical trials regarding malnutrition show that Spirulina is associated with a positive impact on children's nutritional status as well as on other critical health outcomes. However, these trials still suffer from the same weaknesses as earlier studies, namely regarding their statistical power (due to, for example, the small study populations and short follow-up periods), and are subject to some criticism regarding their methodology. A systematic review from 2008 that analysed the previous studies also came to this conclusion, recommending that a large double-blind clinical trial be conducted to provide more conclusive results (Halidou Doudou et al. 2008). Such a trial would obviously be desirable, but one must keep in mind the difficulty of conducting such studies in developing countries and even more in finding sponsors. Despite several attempts to raise funds for this purpose, nothing has materialised. Nevertheless, there are numerous positive results, combined with successful field experience over the years, which should start to provoke reactions from decision makers.

7 Conclusion

In developing countries, malnutrition poses a heavy burden with devastating socio-economic consequences. Although there are many strategies for fighting malnutrition, a solution must be local in order for it to be sustainable and avoid an economy of dependence. In this connection, an approach utilising algae and involving the growing and processing of a simple microorganism as a source of alternative food supplements might represent one of the most promising approaches in the long term. Producing Spirulina and distributing it by developing special products may not be cheaper than the classic feeding approaches to malnutrition, however it presents advantages in terms of local ownership and microeconomics. Much work is involved in building up viable local production units. Similarly, the broad set of required activities

– from the marketing of Spirulina products to the involvement of women in feeding programmes – adds dimensions which are given less emphasis in common feeding schemes. The aims of combating malnutrition, on the one hand, and relying on social entrepreneurship to ensure sustainability, on the other, represent unique challenges. But in a world confronted by severe economic crises, which make the funds for development more uncertain, such efforts seem more necessary than ever.

Notes

- 1) The Antenna Technologies Foundation is an international organization headquartered in Geneva (Switzerland), whose goals are to identify, develop and favour the diffusion of efficient technologies that are suitable for populations with limited resources in developing countries. In order to fight malnutrition, Antenna Technologies has developed tools and trainings especially adapted to the local production of Spirulina in a sustainable way. Today, Antenna Technologies is involved in Spirulina programmes in more than ten countries in Africa and Asia. <http://www.antenna.ch>, <http://www.antenna-france.org>, <http://www.antennaindia.org>
- 2) We would like to thank Christopher Morgan, Michael Briner and Fanny Lansaque for their valuable suggestions on the manuscript.
- 3) Most of the information presented in this paper was taken from following sources: Hug, Weid 2011 and Heierli, Weid 2007. These sources and additional documentation about malnutrition and Spirulina can be found at: <http://www.antenna.ch/en/research/malnutrition/documents>.
- 4) The UN draft resolution on Spirulina submitted during the 60th session of the UN General Assembly (2005) about "The use of Spirulina to combat hunger and malnutrition and help achieve sustainable development", available at: <http://www.un.org/ga/60/second/draftproposals.htm>.
- 5) The FAO Review on Spirulina (2008) can be downloaded from the following address: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0424e/i0424e00.pdf>.
- 6) Conclusions and recommendations on microalgae and Spirulina in the WHO guidelines on foods and ingredients for moderately malnourished children from 6 months to 5 years of age: "Microalgae may be good sources of micronutrients and high-quality protein, but availability might be low due to the cellulose content. Spirulina, a cyanobacterium, seems to have protein and micronutrients with a better bioavailability and has a high content of n-6

PUFAs. Some studies suggest that *Spirulina* could have a role in treating children with moderate malnutrition, but this should be investigated further.” (Michaelsen et al. 2009, p. S378–S379):

- 7) Misola is a common nutritional complement composed of millet (60 %), soy (20 %), peanuts (10 %), sugar (9 %) and salt (1 %), which is widely used for malnourished children in West Africa.

References

- Antenna Technologies*, 2011: Green Tongue Candies – A Breakthrough in Combating Malnutrition? <http://www.antenna.ch/en/programs/Spirulina-programs/products> (download 27.2.12)
- Azabji-Kenfack, M.; Edie Dikosso, S.; Loni, E.G. et al.*, 2011: Potential of *Spirulina Platensis* as a Nutritional Supplement in Malnourished HIV-Infected Adults in Sub-Saharan Africa: A Randomised, Single-Blind Study. In: *Nutrition and Metabolic Insights* 4 (2011), pp. 29–37
- Biot, R.*, 2009: Promouvoir l’entrepreneuriat social et solidaire en adaptant une stratégie marketing à un projet de développement – Création d’un réseau de vente et de promotion de la spiruline en milieu rural, au Burkina-Faso. Toulouse
- Cornish, M.; Garbary, D.*, 2010: Antioxidants from Macroalgae: Potential Applications in Human Health and Nutrition. In: *Algae* 25/4 (2010), pp. 155–171
- Charpy, L.; Langlade, M.J.; Alliod, R.*, 2008: La spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique? Institut de Recherche pour le Développement. Marseille
- Falquet, J.; Hurni, J.P.*, 2006: Spiruline, Aspects Nutritionnels. Antenna Technologies, Genève
- Gershwin, M.E.; Belay, A.*, 2007: *Spirulina* in Human Nutrition and Health. Boca Raton
- Habib, M.A.B.; Parvin, M.; Huntington, T.C. et al.*, 2008: A Review on Culture, Production and Use of *Spirulina* as Food for Humans and Feeds for Domestic Animals and Fish. In: FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations Fisheries and Aquaculture Circular No. 1034, Rome
- Halidou Doudou, M.; Degbey, H.; Daouda, H. et al.*, 2008: The Effect of Spiruline During Nutritional Rehabilitation: Systematic Review. In: *Revue d’Épidémiologie et de Santé Publique* 56 (2008), pp. 425–431
- Heierli, U.; Weid, D. von der*, 2007: Sustainable Approaches to Combat Malnutrition: Small-Scale Production and Marketing of *Spirulina*. Antenna Technologies, Geneva
- Hug, C. Weid, D. von der*, 2011: *Spirulina in the Fight Against Malnutrition: Assessment and Prospects* Antenna Technologies, Geneva
- Jourdan, J.P.*, 2006: *Grow Your Own Spirulina*. Antenna Technologies, Geneva; <http://www.antenna.ch/en/research/malnutrition/guides> (download 33.33.12)
- MacArtain, P.; Gill, C.I.; Brooks, M. et al.*, 2007: Nutritional Value of Edible Seaweeds. In: *Nutrition Reviews* 65/12 (2007), pp. 535–543
- Marfaing, H.; Menguy, A.; Sassi, J.F. et al.*, 2010: Les algues, des applications traditionnelles aux marchés émergents. In: *Industries Alimentaires et Agricoles*, 5–6 (2010), pp. 29–30
- Michaelsen, K.F.; Hoppe, C.; Roos, N. et al.*, 2009: Choice of Foods and Ingredients for Moderately Malnourished Children 6 Months to 5 Years of Age. In: *Food and Nutrition Bulletin* 30 (2009), pp. S343–S404
- Sachdeva, R.; Kaur, R.; Sangha, J.K.*, 2004: Effect of Supplementation of *Spirulina* on the Haematological Profile and Intellectual Status of School Girls (7–9 Years). In: *Journal of Human Ecology* 15 (2004), pp. 105–108
- Simpore, J.; Zongo, F.; Kabore, F. et al.*, 2005: Nutrition Rehabilitation of HIV-Infected and HIV-Negative Undernourished Children Utilizing *Spirulina*. In: *Annals of Nutrition and Metabolism* 49 (2005), pp. 373–380
- Simpore, J.; Kabore, F.; Zongo, F. et al.*, 2006: Nutrition Rehabilitation of Undernourished Children Utilizing Spiruline and Misola. In: *Nutrition Journal* 5(2006), p. 3
- Simpore, J.; Pignatelli, S.; Musumeci, S.*, 2007: The Effects of Spiruline on the Immune Functions of HIV-infected Undernourished Children. In: *Journal of Infection in Developing Countries* 1 (2007), pp. 112–117
- Tramoy, P.*, 2011: *Microalgae Market and Application Outlook*. Paris
- Yamani, E.; Kaba-Mebri, J.; Mouala, C. et al.*, 2009: Use of *Spirulina* Supplement for Nutritional Management of HIV-infected Patients: Study in Bangui, Central African Republic. In: *Médecine Tropicale* 69 (2009), pp. 66–70

Contact

Christophe Hug
Antenna Technologies Foundation
Rue des Pâquis 11, 1201 Geneva, Switzerland
E-mail: chug@antenna.ch
Internet: <http://www.antenna.ch>

« »

Algae for Aquaculture and Animal Feeds

by Robin J. Shields and Ingrid Lupatsch,
Swansea University, UK

This article reviews the current state-of-the-art for algae use in aquaculture, plus recent developments in algal biomass as a micro- or bulk ingredient in formulated animal feeds (terrestrial livestock and aquaculture species). Microalgae provide an important direct or indirect feed source for early developmental stages of many farmed finfish, shellfish and invertebrate species. Hatcheries typically cultivate microalgae in-house, with commercial concentrates now also being used widely. Different strains of micro- and macroalgae vary in their efficacy within formulated animal feeds, although there is sufficient evidence of good nutritional properties to promote algal biomass as a source of micronutrients or as a bulk feedstuff. High costs of algal biomass compared to commodity feedstuffs currently confine their commercial use to niche animal feed applications; greater availability/lower price, via biofuels and biorefinery would enable more widespread use in future.

1 Introduction

Cultivated microalgae have long been integral to the hatchery production of many farmed finfish, shellfish and other commercially important aquaculture species. By contrast, macroalgae are less widely used in aquaculture, although they do provide an important source of nutrition for certain farmed invertebrates, such as sea urchins and abalone.

There is an extensive published literature on the suitability of different algal strains for use in aquaculture hatcheries, their cultivation techniques, methods of delivery and modes of operation (Muller-Feuga et al. 2003a; Muller-Feuga et al. 2003b; Muller-Feuga et al. 2004; Zmora, Richmond 2004; Tredici et al. 2009; Conceição et al. 2010; Guedes, Malcata 2012). Given that detailed reviews already exist, the purpose of the current article is to introduce the biotechnology reader to

algae production and use in hatcheries, including recent industry trends and future outlook.

Alongside these well established applications for micro- and macroalgae in aquaculture hatcheries, there is currently a drive to exploit algae in formulated animal feeds, both for aquaculture species and terrestrial livestock. To date, technological developments and commercial applications have mainly focused on algae as a micro-feed ingredient, imparting specific beneficial properties rather than gross nutrients to the recipient animal. However, finite supplies of premium raw materials (particularly fish meal and fish oil) and the promise of much higher available quantities of algal biomass in future (i.e., biofuels agenda) are prompting evaluation of algal biomass as a major ingredient in formulated animal feeds, especially for aquaculture.

Recent scientific findings reviewed herein do indicate good potential for microalgal biomass as a bulk feedstuff for formulated aquaculture feeds, however the future commercial viability of this will depend on available quantity, quality (composition) and cost in relation to currently used commodity materials. There are currently major gaps in supply and price preventing such use of algal biomass and we anticipate these can only be bridged within a major algal biorefinery-for-biofuels framework.

2 Microalgae Use in Aquaculture Hatcheries

Aquaculture hatcheries producing juvenile finfish and shellfish for food represent the most numerous microalgal production facilities worldwide. This abundant capacity reflects both the importance of aquaculture for global food production (e.g., accounting for more than 45 % of global food fish production in 2008, Anon. 2010a) and the key role of microalgae as a preferred or obligatory feed source for many aquaculture species, particularly marine finfish and invertebrates (Tredici et al. 2009).

In more traditional, extensive forms of aquaculture, adventitious populations of microalgae are bloomed in ponds or large tanks, which act as mesocosms in which the aquaculture species occupies the highest trophic level. By contrast, intensive aquaculture hatcheries cultivate individ-

ual strains of microalgae in separate reactors and administer these regularly to the farmed species.

The role of microalgae in aquaculture hatcheries may be summarised as follows:

- All developmental stages of bivalve molluscs are directly reliant on microalgae as a feed source. Bivalve hatcheries therefore cultivate a range of microalgal strains for broodstock conditioning, larval rearing and feeding of newly settled spat.
- Farmed gastropod molluscs (e.g., abalone) and sea urchins require a diet of benthic diatoms when they first settle out from the plankton, prior to transferring to their juvenile diet of macroalgae.
- The planktonic larval stages of commercially important crustaceans (e.g., penaeid shrimps) are initially fed on microalgae, followed by zooplanktonic live prey.
- The small larvae of most marine finfish species and some freshwater fish species also

initially receive live prey, usually in the presence of a background of microalgae. Depending on whether these microalgae are allowed to bloom within the fish larval rearing tanks, or are added from external cultures, this is referred to as the “green water” or “pseudo-green water” rearing technique.

- The zooplanktonic live prey referred to above are microscopic filter-feeders that are themselves commonly fed on microalgae, although inert formulated feeds have been developed as a more convenient diet form for use by hatcheries.

2.1 Microalgal Strains Used in Aquaculture Hatcheries

As referred to in previous reviews, only a small number of microalgal strains are routinely cultured in aquaculture hatcheries, based on practical considerations of strain availability, ease of culture, cell physical characteristics, nutritional

Table 1: Groups, genera and species of major microalgal strains used in aquaculture and their areas of application

<i>Group</i>	<i>Genus</i>	<i>Species</i>	<i>Area of application</i>
Cyanobacteria	Arthrospira	platensis	FFI
Chlorophyta	Tetraselmis	suecica, chui	B, CL
	Chlorella	sp., vulgaris, minutissima, virginica, grossii	R, FFI
	Dunaliella	sp., tertiolecta, salina	FFI
	Haematococcus	pluvialis	FFI
	Nannochloropsis	sp., oculata	R, GW
Eustigmatophyceae (Phylum Heterokontophyta)			
Labyrinthulea (Phylum Heterokonta)	Schizochytrium	sp.	RAD
	Ulkenia	sp.	RAD
Bacillariophyta (diatoms)	Chaetoceros	calcitrans, gracilis	B, CL
	Skeletonema	costatum	B, CL
	Thalassiosira	pseudonana	B, CL
	Nitzschia	sp.	GU
	Navicula	sp.	GU
	Amphora	sp.	GU
Haptophyta	Pavlova	lutheri	B
	Isochrysis	galbana, add. galbana “Tahiti” (T-iso)	B, GW
Dinophyta (dinoflagellates)	Cryptocodinium	cohnii	RAD

Key: FFI formulated feed ingredient; B bivalve molluscs (larvae/postlarvae/broodstock), C crustacean larvae (shrimps, lobsters); R rotifer live prey; RAD rotifer and Artemia live prey (dry product form); GU gastropod molluscs and sea urchins; GW “green water” for finfish larvae

Source: Own compilation

composition, digestibility and absence of toxins or irritants (Muller-Fuega et al. 2003a; Muller-Fuega et al. 2003b; Muller-Fuega et al. 2004; Tredici et al. 2009; Anon. 2010b; Guedes, Malcata 2012).

Table 1 provides a non-exhaustive list of the most commonly used strains and their typical areas of application in aquaculture.

A comprehensive literature exists on the nutritional composition of these and other microalgal strains and their efficacy as aquaculture hatchery feeds (Brown et al. 1997; Muller-Feuga et al. 2003a; Muller-Feuga et al. 2003b; Muller-Feuga et al. Becker 2004; Guedes, Malcata 2012).

While scientific studies have demonstrated the ability to manipulate the nutritional composition of individual microalgal strains (e.g., n-3 HUFA content of *Nannochloropsis* sp., Pal et al. 2011), in practice hatchery operators focus on maintaining uninterrupted supplies of microalgae by avoiding system crashes or culture contamination. Delivery of a balanced diet to the aquaculture species is generally achieved by supplying a mixture of different microalgal strains, guided by typical published nutritional profiles for these strains (e.g., Brown et al. 1997).

2.2 Methods of Microalgae Cultivation for Aquaculture

In approximate order of engineering complexity and achievable culture density, the main types of microalgal cultivation system used in aquaculture, all of which are phototrophic, are:

- open ponds or tanks, with or without aeration or stirring;
- bubble or airlift columns, usually oriented vertically, or less frequently horizontally;
- closed photobioreactors (PBRs), most commonly tubular in configuration or less commonly flat panel PBRs.

These methods of microalgal cultivation have been regularly reviewed from an aquaculture standpoint over the past 15 years (Borowitzka 1997; Duerr et al. 1998; Muller-Fuega et al. 2003a; Zmora, Richmond 2004; Tredici et al. 2009). During this period, no major technological step-changes are discernible, although there is a notable trend towards greater adoption of closed PBRs and for semi-con-

tinuous or continuous modes of operation, alongside more established batch cultivation techniques. The adoption by aquaculture hatcheries of heterotrophically grown microbial biomass and biomass extracts as partial replacements for live microalgae also represents a significant technological advance during this period (see section 2.3.5).

The types of microalgal production system adopted by aquaculture hatcheries often reflect regional aquaculture preferences, rather than differences in the particular strains or quantities of microalgae required by different aquaculture species. To illustrate, microalgae used to provide green water for marine finfish larviculture (see section 2.3.4) are often produced extensively using outdoor ponds or tanks in South East Asia, whereas European aquaculture hatcheries typically cultivate individual microalgal strains intensively in bubble or airlift columns, or closed PBRs (Shields 2001).

2.3 Role of Microalgae in Aquaculture Hatcheries

2.3.1 Microalgae as a Feed Source for Filter-feeding Aquaculture Species

It is a common reproductive strategy among marine invertebrates to broadcast high numbers of microscopic larvae into the water column, to ensure widespread distribution of offspring. These planktonic larvae are different in appearance and habit from later developmental stages and undergo a dramatic metamorphosis to the juvenile form. Key examples from aquaculture include bivalve molluscs, decapod crustaceans (shrimps, crabs and lobsters), sea urchins, and polychaete worms.

In many cases, the larvae are filter feeders, relying on microalgae throughout their planktonic phase (e.g., bivalve molluscs, some sea urchins and polychaete worms) or alternatively switching from filter feeding to predating on zooplankton during larval development (e.g., penaeid shrimps). These life history strategies require the aquaculturist to supply microalgae during some, if not all of the hatchery phase. Tredici et al. (2009) provide a recent overview of the typical microalgal strains and feeding strategies used for these groups of aquatic invertebrates.

For bivalve mollusc production, the obligation to provide microalgae continues into the nursery phase, since bivalves are obligate filter feeders throughout their life history. Bivalve hatcheries therefore tend to possess amongst the highest microalgal production capacity of any form of food aquaculture, with particular attention being paid to hygiene status to avoid crashes or transfer of pathogenic organisms to the shellfish (Aji 2011). Combinations of Bacillariophyte and Prymnesiophyte microalgal strains are the most commonly used feed source for bivalves, both for hatchery/nursery rearing and conditioning of broodstock (Helm et al. 2004).

2.3.2 Microalgae as a Feed Source for Zooplanktonic Live Prey

Where larvae of aquaculture species are predatory rather than filter-feeding (e.g., finfish larvae and decapod crustacean larvae) the most common husbandry strategy is to feed with zooplanktonic live prey rather than formulated inert diets. This reflects the technological challenge and high costs of providing nutritionally balanced, digestible feeds in the correct physical form for small planktonic larvae, whose digestive capacity is only partially developed (Conceição et al. 2010).

Thanks to innovations begun in the 1960s, aquaculture hatcheries almost ubiquitously use rotifers (*Brachionus* sp.) followed by brine shrimp (*Artemia* sp.) as the key zooplanktonic live prey for larval finfish and decapods (Bengtson 2003). These zooplankton are not the natural prey of the aquaculture species and have suboptimal nutritional composition, however their ease of culture (rapid reproduction rates, high stocking densities) outweighs their nutritional shortcomings in most cases (Lubzens and Zmora 2003; Dhont, Stappen 2003; Conceição et al. 2010). Extensive research and product development has gone into improving rotifer and brine shrimp nutritional quality by manipulating their diet (in particular, to enhance n-3 HUFA content), e.g. by microalgal strain selection or by incorporating dried microalgal biomass into formulated inert diets.

Where the aquaculture species of interest are either too small to accept rotifers as a first prey (e.g., some tropical snappers and groupers), or are prone

to nutrition-related developmental abnormalities (e.g., Atlantic halibut), copepods offer a suitable alternative zooplankton (Conceição et al. 2010). However, the lower culture densities achievable for copepods compared to rotifers/*Artemia* impose practical limitations on supplying them at larger scales of intensive aquaculture production.

Hatchery production of rotifers was initially based on feeding with live microalgae and/or baker's yeast. Commonly used microalgal strains for this purpose are *Nannochloropsis* sp., *Tetraselmis* sp., *Pavlova lutheri* and *Isochrysis galbana* (Conceição et al. 2010). Commercial off-the-shelf formulations have been developed and are now widely used as alternatives to live microalgae and yeast. Depending on their specific formulation, these products are intended to optimise growth and reproduction of the rotifers and/or to enhance their final nutritional composition before feeding to larvae. This latter process is widely referred to as "enrichment". Even where hatcheries have adopted such artificial feeds for mass rotifer cultivation, it is common to retain rotifer master cultures on live microalgae, as this simplifies hygiene maintenance and lessens the likelihood of the cultures crashing.

The use of brine shrimp, *Artemia* sp., in aquaculture is based on supplies of resistant cysts that are commercially collected from hypersaline lakes (Dhont, Stappen 2003). These cysts represent a convenient storable product for aquaculture hatcheries, from which planktonic nauplii can be hatched on demand. Hatcheries do not typically provide live microalgae to these early stages of *Artemia*, since formulated products have been developed to grow and enrich the nauplii (Dhont, Stappen 2003).

Where copepods are used as an initial prey organism, live microalgae remain the preferred diet for planktonic groups (orders Calanoida and Cyclopoida), whereas benthic copepods (order Harpacticoida) are more amenable to cultivating on inert feeds (Støttrup 2003).

Among the products used as feed for aquaculture live prey are several heterotrophically grown marine microorganisms (Tredici et al. 2009). The first such product to reach the aquaculture market was the DHA-rich fungal thraustochytrid, *Schizochytrium*, which was initially developed as a hu-

man nutritional supplement but is also now widely used for aquaculture live prey production/enrichment in powder form. The dinoflagellate, *Cryptothecodinium cohnii*, has been similarly exploited owing to its high DHA content.

2.3.3 Benthic Microalgae as a Feed Source for Gastropod Molluscs and Echinoderms

Unlike bivalve molluscs, the larvae of abalone (gastropoda) and some species of sea urchin (echinoidea), do not require microalgae during their planktonic phase, relying instead on internal yolk reserves for energy. This simplifies hatchery rearing procedures (no microalgae required), however, abalone and urchins do initially graze on benthic microalgae (those living on surfaces) when they settle out from the plankton (Heasman, Savva 2007; Azad et al. 2010).

Natural assemblages of benthic diatoms are typically encouraged to grow as a feed source, by pre-exposing artificial substrates or macroalgal germlings to unfiltered seawater, upon which the microalgae grow (Heasman and Savva 2007). This natural colonisation process becomes limiting at higher abalone stocking densities, where the rate of algal growth can be outpaced by grazing (Dyck et al. 2011). The addition of cultured diatoms, such as *Navicula* sp., *Nitzschia* sp. and *Amphora* sp. (Viçose et al. 2012) offers greater control for intensive abalone nurseries, although challenges exist in optimising their methods of cultivation and deployment.

Comparatively few publications exist on appropriate cultivation systems for diatoms. Araya et al. (2010) reported the use of 20L polycarbonate carboys containing PVC filaments for culturing mixed benthic diatom strains, which were administered successfully to postlarval *Haliotis rufescens*. The same research group have also described a PBR design for diatoms, based on an aerated acrylic cylinder containing a bottle brush-like ar-

ray of PVC “bristles” (Silva-Aciares, Riquelme 2008).

2.3.4 Addition of Microalgae to Fish Larval Rearing Tanks

The practice of rearing marine finfish larvae in the presence of microalgae is commonplace and is typically, although not exclusively, associated with higher survival and growth rates than when larvae are reared in clear water (Muller-Feuga et al. 2003b; Tredici et al. 2009; Conceição et al. 2010). In the so-called “green water” technique, microalgae and zooplankton are bloomed within ponds or large tanks, into which the fish larvae are stocked. This rearing method can be based on natural microalgal assemblages, which are encouraged to bloom by fertilizer addition (Shields 2001). Alternatively, cultured microalgal strains can be inoculated into rearing tanks for this purpose provided the system water has been pre-treated to exclude competing microorganisms.

The “pseudo-green water” rearing technique relies instead on regular addition of cultured microalgae to the fish larval rearing tanks, to replace that removed by live prey grazing and dilution (water exchange; see fig. 1). This approach is required to sustain the higher larval stocking densities that are typical in most commercial marine fish hatcheries

Fig. 1: Addition of live microalgae to a fish larval rearing tank – “pseudo-green water” technique



Source: Centre for Sustainable Aquatic Research, Swansea University

in Europe and North America. Commonly used microalgal strains for this purpose are *Nannochloropsis* sp., *Isochrysis* sp. and *Tetraselmis* sp.

Given that few groups of fish are equipped to feed directly on microalgae (Muller-Feuga et al. 2003b), extensive research effort has been applied to understand the mechanisms by which microalgae enable superior rearing performance of larval fish and to optimise their delivery in aquaculture hatcheries (Conceição et al. 2010). This research encompasses the effects of microalgae on:

- nutritional status of live prey and fish larvae;
- fish larval behaviour, particularly feeding behaviour;
- larval digestive function;
- microbial community composition in the rearing water and the larval digestive tract.

A range of effects have been reported across different microalgal strains, fish species, experimental conditions and observational/analytical techniques (reviews by Muller-Feuga et al. 2003b; Conceição et al. 2010). These include evidence for:

- improved chemical water quality in the presence of microalgae;
- greater larval absorption of soluble organics from the rearing water;
- direct ingestion of microalgal cells (passive and active) by larvae;
- improved visual contrast between prey and background;
- enhanced prey capture rates and greater gut fullness;
- stimulation of larval digestive enzyme production;
- more diverse microflora in rearing water and in the larval digestive tract.

Recent research by Natrah et al. (2011) suggests that microbial conditioning by microalgae may extend to impeding cell-to-cell signalling (quorum sensing) by bacterial pathogens. In a laboratory screening study focused on microalgal strains commonly used in aquaculture, several of the tested strains interrupted signalling by pathogenic *Vibrio harveyi*, leading the authors to postulate that such microalgae offer potential as aquaculture biocontrol agents. A logical extension of this research would be to challenge fish

larvae with pathogens in the presence/absence of those microalgae that showed bioactivity during screening.

2.3.5 Use of Microalgal Concentrates in Aquaculture Hatcheries

Commercially available concentrates offer a convenient source of microalgae for aquaculture hatcheries. This area of microalgal product development has recently been reviewed by Tredici et al. (2009), including the technologies involved in concentrating and stabilising microalgae and descriptions of a range of commercially available products, with prices.

The practice of concentrating live microalgae originated for local use within individual hatcheries, typically using disk-stack centrifuges or membrane filters (Molina Grima et al. 2003). This practice is still used in some large hatcheries, although commercial concentrates have become widely adopted.

From an aquaculture hatchery perspective, the key desired attributes for microalgal concentrates are:

- high cell concentration without damage to cells;
- suitable nutritional composition;
- acceptable shelf life (maintain nutritional quality, avoid spoilage) using standard cold storage methods, avoiding the use of preservatives that would be harmful to live prey or larvae;
- hygienic and free from pathogens;
- avoidance of clumping and easy to suspend uniformly in water;
- regularly available and affordable.

Two main categories of product have emerged: firstly, concentrates of those microalgal strains that are particularly favoured for aquaculture and, secondly, industrial biotechnology strains, such as heterotrophically produced *Chlorella* sp., that are available at higher volume/lower price but have a more limited scope of application, such as in the production of live prey.

Many of the key microalgal strains referred to in table 1 are now available as concentrates (Tredici et al. 2009). These are frequently marketed as total replacements for live microalgae although, in practice, they usually serve as a

backup or supplement to live microalgae produced in-house. This reflects both high purchase costs of the concentrates and generally inferior rearing performance when compared to live microalgae, as previously reported across diverse aquaculture species and areas of hatchery deployment (Muller-Feuga et al. 2003b; Tredici et al. 2009; Conceição et al. 2010).

That is not to underplay the value of such concentrates in providing backup against crashes or out-of-season shortages and in enabling smaller enterprises to operate without an in-house microalgal production capacity. However, as referred to in previous reviews, lower unit cost and performance more on a par with live microalgae will be needed to facilitate market expansion within the commercial aquaculture sector.

The performance discrepancy between concentrated and live microalgae is less marked in the area of live prey production, where industrially produced *Chlorella* is now routinely used for rotifer production, competing in the market with other forms of dry feed (Tredici et al. 2009).

3 Use of Algae in Formulated Feeds for Aquaculture Species and Terrestrial Livestock

Quite a number of animal nutrition studies as to the “super food” status of algae have been publicized and reviewed and the challenge remains to support the claims being made by scientifically based evidence. Results from experimental studies can be difficult to interpret, as several compounds in algae can have confounding effects. Even when used at small amounts in livestock and aquaculture feeds, algae have been credited with improving immune system (Turner et al. 2002), lipid metabolism (Nakagawa 1997; Güroy et al. 2011), antiviral and antibacterial action, improved gut function (Michiels et al. 2011), stress resistance (Nath et al. 2012; Sheikhzadeh et al. 2012) besides providing a source of protein, amino acids, fatty acids, vitamins and minerals, and other biologically active phytochemicals (Pulz, Gross 2004; Becker 2004; Gouveia et al. 2008).

Nutritional studies evaluating algae as a major feed ingredient for farmed animals are currently fewer in number, due to the large amounts

of biomass needed. Thus, in most studies to date, the algal biomass/extracts from algae are not considered as an essential feed source, but rather as enhancing “standard” feed formulations.

3.1 As a Supplement to Enhance the Nutritional Value of Formulated Feeds

3.1.1 Vitamins and Minerals

In the view of consumers, the concept of sustainable, “chemical free” and organic farming has become very appealing, including using the natural forms of vitamins and minerals instead of the synthetically produced ones. Both micro- and macroalgae have potential as mineral additives to replace the inorganic mineral salts that are most commonly used in the animal feed industry. It has been suggested that the natural forms are more bio-available to the animal than the synthetic forms and can be even altered or manipulated via the process of bio-absorption (Doucha et al. 2009).

Mineral rich seaweed has been incorporated in commercial salmon feeds at 15 % in lieu of manufactured vitamin and mineral pre-mixes (Kraan, Mair 2010). Final tests suggested that salmon fed the “seaweed” feeds appeared to be healthier, more active; flavour and texture were improved which may have been due to the bromophenolic compounds found in seaweeds. Elsewhere, *Enteromorpha prolifera* and *Cladophora sp.*, when added to the feeds of laying hens, positively influenced egg weight and egg shell thickness (Michalak et al. 2010).

The vitamin content of algal biomass can vary significantly among species. Ascorbic acid shows the greatest variability according to Brown and Miller (1992), although this may have been due to differences in processing, drying and storage of algae, as ascorbic acid is very sensitive to heat. This highlights the drawback of supplying essential micronutrients via natural sources, i.e. there is too much variability arising from the combined effects of different algal species, growing season, culture conditions, and processing methods to reliably supply the required micronutrients in a pre-determined fashion. Accordingly, algal biomass mainly offers a supplementary source rather than a complete replacement for manufactured minerals or vitamins in animal feeds.

3.1.2 Pigments

The carotenoids are a class of yellow, orange or red naturally occurring pigments, which are distributed everywhere in the living world. Only the microorganisms, fungi, algae, and higher plants are able to synthesise carotenoids *de novo*, therefore animals rely on the pigment or closely related precursor being supplied in their diets, which in nature would have passed on through the food chain.

Farmed salmonid fish therefore require supplementation of dietary astaxanthin to achieve the pink colour of the fillet. Synthetic carotenoids are mainly used for this purpose in commercial aquaculture, although algae-derived carotenoids can also impart pigmentation effectively (Solter-Vila et al. 2009; Choubert, Heinrich 1993). Astaxanthin obtained from *Haematococcus pluvialis* has been approved as a colour additive – NatuRose® – in salmon feeds and is typically used for organically certified salmon production.

Aside from salmonids, most species of farmed fish display pigmentation of the skin rather than the flesh, which contributes to their attractive appearance and thus satisfies customer demand.

H. pluvialis has been shown to be successful in enhancing the reddish skin colouration of red porgy, *Pagrus pagrus* (Chatzifotis et al. 2011) and also of the penaeid shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Parisenti et al. 2011). Both natural and synthetic sources of carotenoids have been successfully used to augment the yellow skin colouration in gilthead sea bream (Gomes et al. 2002; Gouveia et al. 2002). *Chlorella* sp. and *Spirulina* sp. are commonly incorporated into feeds for ornamental fish, where colouration and healthy appearance is the main market criterion (Zatkova et al. 2011; Sergejevová, Masojídek 2011; Gouveia, Rema 2005).

Seaweeds are the preferred feed of sea urchins in nature and in an aquaculture setting, carotenoid-rich sources such as *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp. are necessary to enhance the orange colour of the gonads that consumers prefer (Shpigel et al. 2005).

For pigmentation of broilers and egg yolk, formulated feeds traditionally contain dehydrated alfalfa meal and/or corn, both of which are rich sources of lutein and zeaxanthin. Seaweed biomass has been reported to increase the pig-

mentation of egg yolk when used at a dietary inclusion level of 15 % (Strand et al. 1998). Gouveia et al. 1996 reported that *Chlorella vulgaris* biomass produced yolk pigmentation comparable to other commercially used pigments. *Chlorella* is not only credited with improving the health status of laying hens but also with improving egg quality and pigmentation (Halle et al. 2009). According to Waldenstedt et al. (2003), *H. pluvialis* also has good potential as a natural pigment enhancer in broiler chickens.

3.1.3 Fatty Acids

Farmed fish and shellfish offer rich sources of long chain, highly unsaturated fatty acids (HUFA), due to the inclusion of fish meal and fish oil in formulated aquafeeds. HUFA are crucial to human health and play an important role in the prevention and treatment of coronary heart disease, hypertension, diabetes, arthritis, and other inflammatory and autoimmune disorders. Due to the global shortage of fish oil and fish meal, researchers are looking increasingly into alternative sources of lipid, including from algal biomass.

Unlike terrestrial crops, algae can directly produce HUFA such as arachidonic acid (AA, 20:4n-6) (*Porphyridium*), eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) (*Nannochloropsis*, *Phaeodactylum*, *Nitzschia*, *Isochrysis*, *Diacronema*) and docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) (*Cryptothecodinium*, *Schizochytrium*). Whilst most of these algae are not suitable for direct human consumption, they might indirectly boost their nutritional value for humans if added to animal feeds. However, relatively few studies have been carried out to date to evaluate microalgal lipids in feeds for farmed fish (Atalah et al. 2007; Ganuza et al. 2008).

Despite the typically low lipid content of seaweeds, Dantagnan et al. (2009) reported that *Macrocystis pyrifera* meal enhanced the level of PUFAs in trout flesh, when included in the diet at a level of 6 %. Micro- and macroalgae have similarly been tested as alternatives to fish oil and flax seed for boosting the HUFA content of hens' eggs (Carrillo et al. 2008; Kassis et al. 2010).

Table 2: Typical composition of formulated feeds for livestock and several species of commercial fish (on as fed basis) and feed/gain ratio

	% Crude Protein	% Crude Lipid	% Crude Carbohydrate	Metabolisable Energy MJ/kg	FCR*
Poultry	21.0	5.0	60	13.0	2.2
Pigs	16.0	5.0	60	12.5	3.0
Cattle	12.0	4.0	65	10.1	5.8
Salmon	37.0	32.0	15	21.0	1.0
Sea bream	45.0	20.0	20	19.1	1.6
Tilapia	35.0	6.0	40	13.5	1.5
Shrimp	35.0	6.0	40	13.5	2.0

* Feed conversion ratio = feed consumed (dry) / live weight gain

Source: Own compilation

3.2 As a Potential Feed Ingredient – Source of Protein and Energy

In both aquaculture and agriculture, producers commonly rely on formulated feeds to ensure optimal growth, health and quality of the farmed animal. Given the economic importance of feeds and feeding, nutritionists therefore need to develop nutritionally balanced diets using commonly available raw ingredients. Once there is reliable data on the nutrient and energy requirements of the target species for a given production performance, specific feeds can be formulated and feeding regimen established.

Typical compositions of feed and feed/gain ratio are summarised in table 2 for several farmed terrestrial and aquatic animal species. This table just provides an overview, as different feed formulations are used depending on the production stage of the target species. Since protein is generally one of the most expensive feed ingredients, targeted rations are used and the amounts of protein in the diet are reduced as the animals grow. As can be seen, feeds for aquatic animals are more energy and nutrient dense than those for terrestrial animals. Due to this, fish need to be fed less to support each unit of growth, as is indicated by the lower feed conversion ratio (FCR).

Traditionally, fish meal and fish oil have been a substantial component of feeds at least in aquaculture, however this source is finite. With fish meal and fish oil prices increasing, there has been a growing interest in partial or complete replacement of fish meal by alternative protein

sources of either animal or plant origin. Raw materials other than fish meal are selected for their nutritive value, balance of amino acids, digestibility of proteins, lipids and quality of fatty acids, absence of anti-nutritional factors, availability and cost and lipid rich algae biomass

is being considered as one of the alternative ingredients of the future (Lupatsch 2009).

To help in assessing algae as a potential source of protein and energy in the form of carbohydrates and lipids, table 3 compares the typical nutritional profiles of commercially available animal feed ingredients with some selected micro- and macroalgae.

In addition to quantifying the gross composition of feed ingredients, knowledge of their digestibility is needed in order to assess the nutritional value. Digestibility trials are usually carried out in vivo by adding an indigestible marker to the feed at a known amount, collecting faecal matter by a suitable method and analysing the ratio between nutrient and marker in the faecal matter. Very few of the required digestibility trials have been completed with micro- or macroalgal biomass to date, partly due to the limited availability of material. A digestibility trial with carnivorous mink, a model used for salmon and other farmed monogastric species, was recently reported by Skrede et al. (2011). Three microalgae, *Nannochloropsis oceanica*, *Phaeodactylum tricornutum* and *Isochrysis galbana*, were included at graded levels up to 24 % (dry weight) in the feed. The protein digestibilities determined by linear regression for *N. oceanica*, *P. tricornutum* and *I. galbana* were found to be 35.5, 79.9 and 18.8 %, respectively. The algae used had been freeze dried prior to the trial and the authors hypothesised that the cell wall of the diatom *P. tricornutum* may have been more easily broken down by digestive processes than the others.

Table 3: Typical composition of commercially available feed ingredients and algae species (per dry matter)

	% Crude Protein	% Crude Lipid	% Crude Carbohydrate*	% Ash	Gross Energy MJ/kg
Fish meal	63.0	11.0	-	15.8	20.1
Poultry meal	58.0	11.3	-	18.9	19.1
Corn-gluten	62.0	5.0	18.5	4.8	21.3
Soybean	44.0	2.2	39.0	6.1	18.2
Wheat meal	12.2	2.9	69.0	1.6	16.8
Spirulina	58.0	11.6	10.8	13.4	20.1
Chlorella	52.0	7.5	24.3	8.2	19.3
Tetraselmis	27.2	14.0	45.4	11.5	18.0
Gracilaria sp ¹	34.0	1.5	37.1	26.9	13.4
Gracilaria sp ²	10.0	0.9	50.1	34.0	11.2
Ulva lactuca ¹	37.4	2.8	42.2	17.4	15.7
Ulva lactuca ²	12.5	1.0	57.0	24.5	11.2
Schizochytrium ³	12.5	40.2	38.9	8.4	25.6

* Carbohydrates calculated as the difference % DM – (% protein + % lipid + % ash)

¹ Cultured in effluent of fish tanks

² Collected from natural habitat

³ Commercial product, Martek Biosciences

Source: Own compilation/analyses performed by authors

The potential effects of algal cell wall structure on digestibility to humans and non-ruminant animals has been raised by several authors, as reviewed by Becker (2004). Janczyk et al. (2007) tested the digestibility of *Chlorella* biomass in rats using three treatments such as spray-dried, spray-dried and electroporated and spray-dried and ultrasonicated. Ultrasonication was found to increase the protein digestibility of *Chlorella* from 53 % (spray-dried) to 63 %.

Digestibility coefficient of solar dried *Spirulina* biomass has been tested for Arctic char and Atlantic salmon at 30 % dietary inclusion level (Burr et al. 2011). Protein digestibility ranged between 82 % and 84.7 % for the two fish species respectively. These relatively high digestibility coefficients compare favourably with terrestrial plant ingredients, confirming the high potential of *Spirulina* as a protein source for farmed fish.

The digestibility of “DHA-Biomeal”, a by-product from DHA-rich *Schizochytrium* after de-lipidation, has been assessed for gilthead sea bream (Lupatsch, unpublished data). The composition of the dry DHA-Biomeal was determined as 6 % protein, 9 % lipid and approximately 70 %

carbohydrates including fibre. At 6 %, protein content was too low to be considered as a significant source of amino acids and overall energy digestibility was found to be only 64 %, placing DHA-Biomeal in the same category as a carbohydrate-rich ingredient such as whole wheat or corn meal. A possible means of increasing the nutritional value of algal ingredients such as DHA-Biomeal would be to break down the cell wall fragments by mechanical treatment, or even by removal of most of the fibre, al-

though such processing steps may be prohibitively expensive.

In addition to digestibility measurements, in vivo growth trials need to be carried out in which the novel feed ingredient is supplied in sufficient amounts (see fig. 2). Even with seemingly nutritionally adequate diets, poor weight gain may be encountered in practice, because of low palatability of the test ingredient and therefore reduced feed intake. Coutinho et al. (2006) found that supplementing feeds for goldfish fry with freeze dried biomass of *Isochrysis galbana*, as a substitute for fish meal protein, had a negative effect on growth and survival (Coutinho et al. 2006). Aside from the question of palatability, one of the reasons may have been that the feeds were not iso-nitrogenous: dietary protein levels decreased with increasing algae inclusion level and it is known that protein is a limiting factor, especially in the small fast growing larval stages.

In contrast, Nandeesh et al. (2001) reported improved growth rates for Indian carp fry with increasing levels of *Spirulina platensis* in feeds. Palmegiano et al. (2005) reported that sturgeon fed *Spirulina*-based feeds even outperformed

Fig. 2: Experimental fish feeds containing different proportions of dried *Chlorella* in substitution for fish meal



Source: Centre for Sustainable Aquatic Research, Swansea University

those receiving fish meal-based diets. Contradictory results were reported by Olvera-Novoa et al. (1998), where *Spirulina*-supplemented feeds depressed growth performance of tilapia fry. A more recent study by Walker and Berlinsky (2011) tested the nutritional value of a *Nannochloropsis* sp. and *Isochrysis* sp. mix for juvenile Atlantic cod. The authors described decreased feed intake and subsequently reduced growth with increasing algae inclusion. They concluded that reduced palatability of the algal meal caused the deterioration in cod growth.

Valente et al. (2006) recommended that macroalgae such as *Gracilaria* and *Ulva* can be incorporated up to 10 % in European sea bass feeds without affecting the performance of fish. Other studies using seaweed have suggested that kelp meal works as an excellent additive (attractant, agglutinant and binder) in pelleted feeds for penaeid shrimps and thus improved feed utilisation efficiency in this slow feeding species (Cruz-Suarez et al. 2009; Silva-Neto et al. 2012).

Based on the known structural and compositional characteristics of algal biomass, it should be expected that ruminants are among the most suitable recipients, since they ought to be able to break down even unprocessed algal cell walls due to their unique digestive system. Performance parameters of lambs when fed *U. lactuca* all indicated that seaweed could be categorised as a low-energy high-nitrogen feedstuff in ruminants (Arieli et al. 1993). Conversely, an earlier study by Hintz et al. (1966) concluded that ruminants are unable

to efficiently digest the carbohydrate fraction of *Chlorella* sp. and *Scenedesmus* sp., although this poor performance may have been due to the specific characteristics of these algal strains.

As noted above, the costs of fish meal and fish oil are steadily increasing. Thus, if a source of protein-rich or lipid-rich algal meal came onto the market at an affordable price, the animal feed industry would certainly consider using it based on existing evidence of the nutritional value of algal biomass. However, as

shown in table 4, all categories of algal products are currently much higher in cost than the commodity feedstuffs used in animal feeds. One also has to consider the unit price of protein or lipid. To illustrate, a protein source such as soybean meal only contains 45 % protein but also a significant amount of indigestible bulk. Soy protein concentrates with up to 70 % protein are available but this process renders them more expensive. Of the algal products listed in table 4, *Gracilaria* is lowest in price; however, the price per unit of protein is still excessively high when compared to existing commodity feedstuffs that contain much higher protein content.

4 Outlook

Microalgae cultivation has been integral to modern forms of aquaculture for more than 40 years, developing and expanding alongside the “microalgae-for-food” and “microalgae-for-fuels” sectors. During this period, aquaculturists have devised robust methods for culturing a diverse range of phototrophic microalgal strains with high nutritional value, that are more susceptible to crashes and contamination than those extremophiles that are mass cultured for other purposes in open ponds or raceways (e.g., *Arthrospira* sp., *Dunaliella* sp., *Haematococcus* sp.).

This aquaculture skills base and associated technologies (e.g., affordable closed PBRs) for culturing “sensitive” microalgal strains adds value to the current microalgal biotechnology agenda of

Table 4: Global prices of ingredients used in animal feeds compared to currently available algal products

<i>Ingredient</i>	<i>Main use</i>	<i>Price 2011 (€/ton dry)</i>
Fish meal ¹	Feed	1,091
Soybean meal ¹	Feed	254
Rapeseed oil ¹	Food	941
Wheat ¹	Feed	212
Fish oil ²	Feed	985–1,360
Tetraselmis ³	Bivalve shellfish	190,000–270,000
Spirulina sp ⁴	Health food	7,500–14,000
Chlorella sp ⁴	Health food	34,000–45,000
Gracilaria sp ⁴	Agar, feed	378–756
Laminaria – Kelp sundried ⁴	Food	1,590–1,890

¹ <http://www.indexmundi.com>

² <http://www.globefish.org>

³ <http://www.reed-mariculture.com>

⁴ <http://www.alibaba.com>

Source: Own compilation

biofuels and high value biomass extracts through integrated biorefinery. It is expected that benefits will return to the aquaculture sector through current biotechnology investments, in the form of more efficient microalgal production systems and greater availability of high quality microalgal biomass and extracts for use as hatchery feeds, etc. This is already illustrated by the adoption of heterotrophically produced microbial biomass (*Schizochytrium* sp., *Cryptocodinium cohnii*) as hatchery feeds; more abundant and cheaper feed products can be expected in future, provided the current aspirations of microalgal biotechnologists are realised.

Whether algal biomass will be adopted in future as a bulk feedstuff to supply protein and energy in animal feeds, or will remain only as a supplement, will depend on biomass availability, composition and cost. As referred to in Section 3.2, there is currently a large discrepancy in the global supply and purchase cost of algal biomass versus existing commodity animal feedstuffs, even for those categories of algal product that are produced at the largest scale. We conclude that until supplies increase and costs decrease, algal biomass and biomass extracts will continue to occupy niche markets within the animal feed sector, such as sources of pigments. The current global drive to produce biofuels from algae offers a key opportunity to shift existing biomass supply and

cost structures in favour of animal feeds, within an integrated biorefinery.

Assuming sufficient quantities of algal biomass do become available at a suitable price, algae producers and animal feed manufacturers will still need to take into account the potentially large variations in proximate composition (proteins, lipids, fatty acids, minerals, etc.) and digestibility encountered among different algal strains and growing conditions. Effort is needed to ensure a more consistent composition of algal biomass, so that manufacturers can readily incorporate this new feedstuff alongside existing ingredients in formulated feeds. To improve their digestibility, some types of algal biomass may require additional processing steps

(over and above those applied to conventional feedstuffs), that add further to their cost.

Although there are examples of macroalgal species containing relatively high levels of protein or lipid, it seems likely that microalgae will provide the most suitable bulk feedstuffs for use in finfish diets, whereas macroalgae may be more suitable for use with terrestrial livestock and with lower trophic level aquaculture species.

References

- Aji, L.P., 2011: The Use of Algae Concentrates, Dried Algae and Algae Substitutes to Feed Bivalves. In: Makara of Science Series 15/1 (2011), pp. 1–8
- Anon., 2010a: The State of World Aquaculture and Fisheries. FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries and Aquaculture Department
- Anon., 2010b: Report on Biology and Biotechnology of Algae with Indication of Criteria for Strain Selection. In: Report of the AquaFUELS FP7 project, deliverable 1.4.; http://www.aquafuels.eu/attachments/079_D%201.4%20Biology%20Biotechnology.pdf (download 2.7.12)
- Araya, R.; Bahamondes, C.; Barahona, K. et al., 2010: Application of Multi-specific Microalgae Biofilm for Optimization of the Larvae Settlement and Growth of Abalone (*Haliotis rufescens*) in a Commercial Hatchery. In: Revista de Biología Marina y Oceanografía 45/1 (2010), pp. 59–69 (in Spanish)

- Arieli, A.; Sklan, D.; Kissil, G., 1993: A Note on the Nutritive Value of *Ulva lactuca* for Ruminants. In: *Animal Production* 57/2 (1993), pp. 329–331
- Atalah, E.; Hernández Cruz, C.M.; Izquierdo, M.S. et al., 2007: Two Microalgae *Cryptocodinium cohnii* and *Phaeodactylum tricornutum* as Alternative Source of Essential Fatty Acids in Starter Feeds for Sea Bream (*Sparus aurata*). In: *Aquaculture* 270/1–4 (2007), pp. 178–185
- Azad, A.K.; McKinley, S.; Pearce, C.M., 2010: Factors Influencing the Growth and Survival of Larval and Juvenile Echinoids. In: *Reviews in Aquaculture* 2/3 (2010), pp. 121–137
- Becker, W., 2004: Microalgae for Aquaculture: The Nutritional Value of Microalgae for Aquaculture. In: Richmond, A. (eds.): *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, pp. 380–391
- Bengtson, D.A., 2003: Status of Marine Aquaculture in Relation to Live Prey: Past, Present and Future. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 1–16
- Borowitzka, M.A., 1997: Microalgae for Aquaculture: Opportunities and Constraints. In: *Journal of Applied Phycology* 9/5 (1997), pp. 393–401
- Brown, M.R.; Jeffery, S.W.; Volkman, J.K. et al., 1997: Nutritional Properties of Microalgae for Mariculture. In: *Aquaculture* 151/1–4 (1997), pp. 315–331
- Brown, M.R.; Miller, K.A., 1992: The Ascorbic Acid Content of Eleven Species of Microalgae Used in Mariculture. In: *Journal of Applied Phycology* 4/3 (1992), pp. 205–215
- Burr, G.S.; Barrows, F.T.; Gaylord, G. et al., 2011: Apparent Digestibility of Macronutrients and Phosphorus in Plant Derived Ingredients for Atlantic Salmon, *Salmo salar* and Arctic Charr, *Salvelinus alpinus*. In: *Aquaculture Nutrition* 17/5 (2011), pp. 570–577
- Carrillo, S.; López, E.; Casas, M.M. et al., 2008: Potential Use of Seaweeds in the Laying Hen Ration to Improve the Quality of n-3 Fatty Acid Enriched Eggs. In: *Journal of Applied Phycology* 20/5 (2008), pp. 721–728
- Chatzifotis, S.; Vaz Juan, I.; Kyriazi, P.; Divanach, P.; Pavlidis, M., 2011: Dietary Carotenoids and Skin Melanin Content Influence the Coloration of Farmed Red Porgy *Pagrus pagrus*. In: *Aquaculture Nutrition* 17/2 (2011), pp. e90–e100
- Choubert, G.; Heinrich, O., 1993: Carotenoid Pigments of the Green Alga *Haematococcus pluvialis*: Assay on Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Pigmentation in Comparison with Synthetic Astaxanthin and Canthaxanthin. In: *Aquaculture* 112/2–3 (1993), pp. 217–226
- Conceição, L.E.C. de; Yúfera, M.; Makridis, P. et al., 2010: Live Feeds for Early Stages of Fish Rearing. In: *Aquaculture Research* 41/5 (2010), pp. 613–640
- Coutinho, P.; Rema, P.; Otero, A. et al., 2006: Use of Biomass of the Marine Microalga *Isochrysis galbana* in the Nutrition of Goldfish (*Carassius auratus*) Larvae as Source of Protein and Vitamins. In: *Aquaculture Research* 37/8 (2006), pp. 793–798
- Cruz-Suarez, L.E.; Tapia-Salazar, M.; Nietao-Lopez, M.G. et al., 2009: A Review of the Effects of Macroalgae in Shrimp Feeds and in Co-Culture. Comparison of *Ulva* and *Kelps* in shrimp feeds. In: *Aquaculture Nutrition* 15 (2009), pp. 421–430
- Dantagnan, P.; Hernandez, A.; Borquez, A. et al., 2009: Inclusion of Macroalgae Meal (*Macrocystis pyrifera*) as Feed Ingredient for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effect on Flesh Fatty Acid Composition. In: *Aquaculture Research* 41/1 (2009), pp. 87–94
- Dhont, J.; Stappen, G. van, 2003: Biology, Tank Production and Nutritional Value of *Artemia*. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 65–121
- Doucha, J.; Lívanský, K.; Kotrbáček, V. et al., 2009: Production of *Chlorella* Biomass Enriched by Selenium and Its Use in Animal Nutrition: A Review. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 83/6 (2009), pp. 1001–1008
- Duerr, E.O.; Molnar, A.; Sato, V., 1998: Cultured Microalgae as Aquaculture Feeds. In: *Journal of Marine Biotechnology* 6/2 (1998), pp. 65–70
- Dyck, M.; Roberts, R.; Jeff, A., 2011: Assessing Alternative Grazing-tolerant Algae for Nursery Culture of Abalone, *Haliotis iris*. In: *Aquaculture* 320/1–2 (2011), pp. 62–68
- Ganuza, E.; Benítez-Santana, T.; Atalah, E. et al., 2008: *Cryptocodinium cohnii* and *Schizochytrium* sp. as Potential Substitutes to Fisheries-derived Oils from Sea Bream (*Sparus aurata*) Microdiets. In: *Aquaculture* 277/1–2 (2008), pp. 109–116
- Gomes, E.; Dias, J.; Silva, P. et al., 2002: Utilization of Natural and Synthetic Sources of Carotenoids in the Skin Pigmentation of Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata*). In: *European Food Research and Technology* 214/4 (2002), pp. 287–293
- Gouveia, L.; Choubert, G.; Gomes, E. et al., 2002: Pigmentation of Gilthead Sea Bream, *Sparus aurata*, Using *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta, Volvocales) Microalgae. In: *Aquaculture Research* 33/12 (2002), pp. 987–993
- Gouveia, L.; Rema, P., 2005: Effect of Microalgal Biomass Concentration and Temperature on Ornamental Goldfish (*Carassius auratus*) Skin Pigmentation. In: *Aquaculture Nutrition* 11/1 (2005), pp. 19–23

- Gouveia, L.; Veloso, V.; Reis, A. et al., 1996: *Chlorella vulgaris* Used to Colour Egg Yolk. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 70/2 (1996), pp. 167–172
- Gouveia, L.; Batista, A.P.; Sousa, I. et al., 2008: Microalgae in Novel Food Products. In: Papadopoulos, K.N. (ed.): *Food Chemistry Research Developments*. Hauppauge, NY, pp. 1–37
- Guedes, A.C.; Malcata, F.X., 2012: Nutritional Value and Uses of Microalgae in Aquaculture. In: Muchlisin, Z.A. (ed.): *Aquaculture*; doi: 10.5772/1516, pp. 59–78
- Güroy, D.; Güroy, B.; Merrifield, D.L. et al., 2011: Effect of Dietary Ulva and Spirulina on Weight Loss and Body Composition of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), During a Starvation Period. In: *Journal of Animal Physiology and Nutrition* 95/3 (2011), pp. 320–327
- Halle, I.; Janczyk, P.; Freyer, G. et al., 2009: Effect of Microalgae *Chlorella vulgaris* on Laying Hen Performance. In: *Archiva Zootechnica* 12/2 (2009), pp. 5–13
- Heasman, M.; Savva, N., 2007: *Manual for Intensive Hatchery Production of Abalone*. NSW Department of Primary Industries
- Helm, M.M.; Bourne, N.; Lovatelli, A., 2004: Hatchery Culture of Bivalves: A Practical Manual. In: FAO – FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Technical Paper 471 (2004)
- Hintz, H.F.; Heitmann, H.; Weir, W.C. et al., 1966: Nutritive Value of Algae Grown on Sewage. In: *Journal of Animal Science* 25/3 (1966), pp. 675–681
- Janczyk, P.; Franke, H.; Souffrant, W.B., 2007: Nutritional Value of *Chlorella vulgaris*: Effects of Ultrasonication and Electroporation on Digestibility in Rats. In: *Animal Feed Science and Technology* 132/1–2 (2007), pp. 163–169
- Kassis, N.M.; Beamer, S.K.; Matak, K.E. et al., 2010: Nutritional Composition of Novel Nutraceutical Egg products Developed with Omega-3-rich Oils. In: *LWT – Food Science and Technology* 43/8 (2010), pp. 1204–1212
- Kraan, S.; Mair, C., 2010: Seaweeds as Ingredients in Aquatic Feeds. In: *International Aquafeed* 13/6 (2010), pp. 10–14
- Lubzens, E.; Zmora, O., 2003: Production and Nutritional Value of rotifers. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 17–64
- Lupatsch, I., 2009. Quantifying Nutritional Requirements in Aquaculture – The Factorial Approach. In: Burnell, G.; Allan, G. (eds.): *New Technologies in Aquaculture: Improving Production Efficiency, Quality and Environmental Management*. Cambridge, pp. 417–439
- Michalak, I.; Chojnacka, K.; Dobrzański, Z.; et al., 2011: Effect of Macroalgae Enriched with Microelements on Egg Quality Parameters and Mineral Content of Eggs, Eggshell, Blood, Feathers and Drop-pings. In: *Journal of Animal Physiology and Nutrition* 95/3 (2011), pp. 374–387
- Michiels, J.; Skrivanova, E.; Missotten, J. et al., 2011: Intact Brown Seaweed (*Ascophyllum nodosum*) in Diets of Weaned Piglets: Effects on Performance, Gut Bacteria and Morphology and Plasma Oxidative Status. In: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*; doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01227
- Molina Grima, E.; Belarbi, E.H.; Acién Fernández, F.G. et al., 2003: Recovery of Microalgal Biomass and Metabolites: Process Options and Economics. In: *Biotechnology Advances* 20/7–8 (2003), pp. 491–515
- Muller-Feuga, A., 2004: Microalgae for Aquaculture: The Current Global Situation Future Trends. In: Richmond, A. (ed.): *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, pp. 352–364
- Muller-Feuga, A.; Moal, J.; Kaas, R., 2003a: The Microalgae of Aquaculture. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 206–252
- Muller-Feuga, A.; Robert, C.; Cahu, J. et al., 2003b: Uses of Microalgae in Aquaculture. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 253–299
- Nakagawa, H., 1997: Effect of Dietary Algae on Improvement of Lipid Metabolism in Fish. In: *Biomedicine and Pharmacotherapy* 51/8 (1997), pp. 345–348
- Nandeesh, M.C.; Gangadhara, B.; Maniserry, J.K. et al., 2001: Growth Performance of Two Indian Major Carps, Catla (*Catla catla*) and Rohu (*Labeo rohita*) Fed Diets Containing Different Levels of *Spirulina platensis*. In: *Bioresource Technology* 80/2 (2001), pp. 117–120
- Nath, P.R.; Khozin-Goldberg, I.; Cohen, Z. et al., 2012: Dietary Supplementation with the Microalgae *Parietochloris incisa* Increases Survival and Stress Resistance in Guppy *Poecilia reticulata* Fry. In: *Aquaculture Nutrition* 18/2 (2012), pp. 167–180
- Natrah, F.M.I.; Kenmegne, M.M.; Wiyoto, W. et al., 2011: Effects of Micro-algae Commonly Used in Aquaculture on Acyl-homoserine Lactone Quorum Sensing. In: *Aquaculture* 317/1–4 (2011), pp. 53–57
- Olvera-Novoa, M.A.; Dominguez-Cen, L.J.; Olivera-Castillo, L., 1998: Effect of the Use of the Microalgae *Spirulina maxima* as Fish Meal Replacement in Diets for Tilapia, *Oreochromis mossambicus* Fry. In: *Aquaculture Research* 29/10 (1998), pp. 709–715
- Palmegiano, G.B.; Agradi, E.; Forneris, G. et al., 2005: *Spirulina* as a Nutrient Source in Diets for Gro-

wing Sturgeon (*Acipenser baeri*). In: *Aquaculture Research* 36/2 (2005), pp. 188–195

Parisenti, J.; Beirão, L.H.; Maraschin, M. et al., 2011: Pigmentation and Carotenoid Content of Shrimp Fed with *Haematococcus pluvialis* and Soy Lecithin. In: *Aquaculture Nutrition* 17/2 (2011), pp. e530–e535

Pulz, O.; Gross, W., 2004: Valuable Products from Biotechnology of Microalgae. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 65/6 (2004), pp. 635–648

Sergejevoá, M.; Masojidek, J., 2011: Chlorella Biomass as Feed Supplement for Freshwater Fish: Sterlet, *Acipenser ruthenus*. In: *Aquaculture Research*; doi:10.1111/j.1365-2109.2011.03011.x

Sheikhzadeh, N.; Tayefi-Nasrabadi, H.; Khani Oushani, A. et al., 2012: Effects of *Haematococcus pluvialis* Supplementation on Antioxidant System and Metabolism in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). In: *Fish Physiology and Biochemistry* 38/1 (2012), pp. 413–419; doi 10.1007/s10695-011-9519-7

Shields, R.J., 2001: Larviculture of Marine Finfish in Europe. In: *Aquaculture* 200/1–2 (2001), pp. 55–88

Shpigel, M.; McBride, S.C.; Marciano, S. et al., 2005: Improving Gonad Colour and Somatic Index in the European Sea Urchin *Paracentrotus lividus*. In: *Aquaculture* 245/1–4 (2005), pp. 101–109

Silva-Aciaries, F.R.; Riquelme, C.E., 2008: Comparisons of the Growth of Six Diatom Species Between Two Configurations of Photobioreactors. In: *Aquacultural Engineering* 38/1 (2008), pp. 26–35

Silva-Neto, J.F.; Nunes, A.J.P.; Sabry-Neto, H. et al., 2012: Spirulina Meal has Acted as a Strong Feeding Attractant for *Litopenaeus vannamei* at a Very Low Dietary Inclusion Level. In: *Aquaculture Research* 43/3 (2012), pp. 430–437

Skrede, A.; Mydland, L.T.; Ahlstrøm, Ø. et al., 2011: Evaluation of Microalgae as Sources of Digestible Nutrients for Monogastric Animals. In: *Journal of Animal and Feed Sciences* 20/1 (2011), pp. 131–142

Soler-Vila, A.; Coughlan, S.; Guiry, M.D. et al., 2009: The Red Alga *Porphyra dioica* as a Fish-feed Ingredient for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on Growth, Feed Efficiency and Carcass Composition. In: *Journal of Applied Phycology* 21/5 (2009), pp. 617–624

Støttrup, J.G., 2003: Production and Nutritional Value of Copepods. In: Støttrup, J.G.; McEvoy, L.A. (eds.): *Live Feeds in Marine Aquaculture*. Oxford, pp. 145–205

Strand, A.; Herstad, O.; Liaaen-Jensen, S., 1998: Fucoxanthin Metabolites in Egg Yolks of Laying Hens. In: *Comparative Biochemistry and Physiology* 119/4 (1998), pp. 963–974

Tredici, M.R.; Biondi, N.; Ponis, E. et al., 2009: Advances in Microalgal Culture for Aquaculture Feed and Other Uses. In: Burnell, G.; Allan, G. (eds.): *New Technologies in Aquaculture: Improving Production Efficiency, Quality and Environmental Management*. Cambridge, pp. 611–676

Turner, J.L.; Dritz, S.S.; Higgins, J.J. et al., 2002: Effects of *Ascophyllum nodosum* Extract on Growth Performance and Immune Function of Young Pigs Challenged with *Salmonella typhimurium*. In: *Journal of Animal Science* 80/7 (2002), pp. 1947–1953

Valente, L.M.P.; Gouveia, A.; Rema, P. et al., 2006: Evaluation of Three Seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as Dietary Ingredients in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) Juveniles. In: *Aquaculture* 252/1 (2006), pp. 85–91

Viçose, G.C. de; Viera, M.P.P.; Huchette, S. et al., 2012: Improving Nursery Performances of *Haliotis tuberculata coccinea*: Nutritional Value of Four Species of Benthic Diatoms and Green Macroalgae Germ-lings. In: *Aquaculture* 334–337 (2012), pp. 124–131

Waldenstedt, L.; Inborr, J.; Hansson, I. et al., 2003: Effects of Astaxanthin-rich Algal Meal (*Haematococcus pluvialis*) on Growth Performance, Caecal *Campylobacter* and *Clostridial* Counts and Tissue Astaxanthin Concentration of Broiler Chickens. In: *Animal Feed Science and Technology* 108/1–4 (2003), pp. 119–132

Walker, A.B.; Berlinsky, D.L., 2011: Effects of Partial Replacement of Fish Meal Protein by Microalgae on Growth, Feed Intake, and Body Composition of Atlantic Cod. In: *North American Journal of Aquaculture* 73/1 (2011), pp. 76–83

Zatkova, I.; Sergejevoá, M.; Urban, J. et al., 2011: Carotenoid-enriched Microalgal Biomass as Feed Supplement for Freshwater Ornamentals: Albinic Form of Wels Catfish (*Silurus glanis*). In: *Aquaculture Nutrition* 17/3 (2011), pp. 278–286

Zmora, O.; Richmond, A., 2004: Microalgae for Aquaculture: Microalgae Production for Aquaculture. In: Richmond, A. (eds.): *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, pp. 365–379

Contact

Dr. Robin J. Shields and Dr. Ingrid Lupatsch
Centre for Sustainable Aquatic Research
Swansea University
Singleton Park, Swansea, SA2 8PP, Great Britain
E-mail: r.j.shields@swansea.ac.uk
E-mail: i.lupatsch@swansea.ac.uk



Design and Performance Parameters of Photobioreactors

by Clemens Posten, KIT

The design and development of photobioreactors is very important because the bioreactor is the technical centerpiece of the production of microalgae biomass. Apart from maximum production, other factors such as geometric and hydrodynamic parameters, measured performance criteria and mode and stability of operation, and cost effectiveness of the bioreactor need to be optimized. Clear criteria are missing for an assessment such as is needed to establish a uniform basis of data for sustainability and life-cycle assessments. Although several reactors will be presented in the following paper, the primary objective is to set the framework for such an assessment of photobioreactors. This begins in design features, but also goes beyond this to a definition of performance parameters, whose measurement is required and which ultimately determine whether the use of a reactor is successful.

1 Introduction

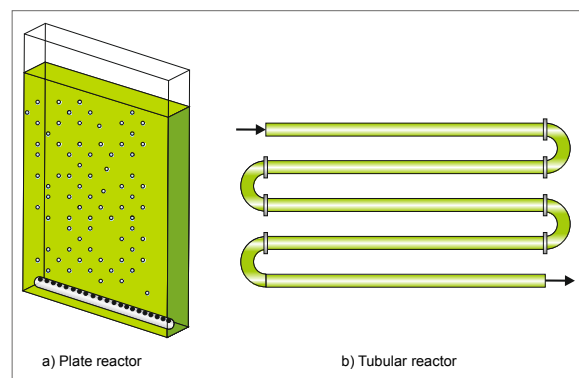
The current boom in microalgae biotechnology has led to a further strong increase in the expectation that the production of biofuels (methane, biodiesel, bioethanol) from microalgae will be sustainable both energetically and financially (Greenwell et al. 2009). The technical centerpiece of the production of microalgae biomass is naturally the photobioreactor. Several features for assessing a photobioreactor are given in the following. The algae boom in the past few years has led to an almost incomprehensible number of new types of reactors, and the operation of some of them has been terminated almost as quickly. Even today there is no precise scientific consensus as to how a photobioreactor is to be constructed. Precise studies of defined aspects are, in contrast to simple trial and error, still infrequent (e.g., Rosello Sastre 2007). Consensus has, however, been reached on several issues, although these points are not always taken into account (Pulz 2001; Janssen et al. 2003; Richmond 2004; Zijffers et al. 2008; Kunjapur et al. 2010; Morweiser et al. 2010). In this paper, several types of reactors will be presented,

the primary objective being to set a framework for assessing photobioreactors.

2 Direct Design Features

In contrast to usual reactors, there must be a transparent surface in order to ensure the light influx reaches the contents. This results in two basic forms. Photobioreactors are divided into plate reactors and tubular reactors (fig. 1). Plate reactors are perfused with gas from the bottom to ensure the CO_2 influx. The pneumatic energy brought in by the bubbles is converted into mechanical mixing energy. Circulation of the medium in tubular reactors is maintained by hydraulic pumps that provide the necessary mechanical energy. Gassing takes place at the beginning and end of a section of tube. Starting from these basic types, important design features and parameters for process engineering will be discussed below.

Fig. 1: Schematic image of the two basic types of reactors



Source: Posten 2009

The possible transparent materials include glass, polyvinyl chloride (PVC), polyethylene (PE), polycarbonate (PC), acrylic (Plexiglas, PMMA), and silicate. PC exhibits good properties because of its high strength, the fact that it can be cleaned, and its weatherability, yet PE is preferred for practical reasons such as availability. Glass is preferred for high-quality applications but it is heavier and more complicated to process. Coatings are being discussed, for example a nonstick coating for indoors or a coating for IR reflection outside. A certain amount of material must be employed to main-

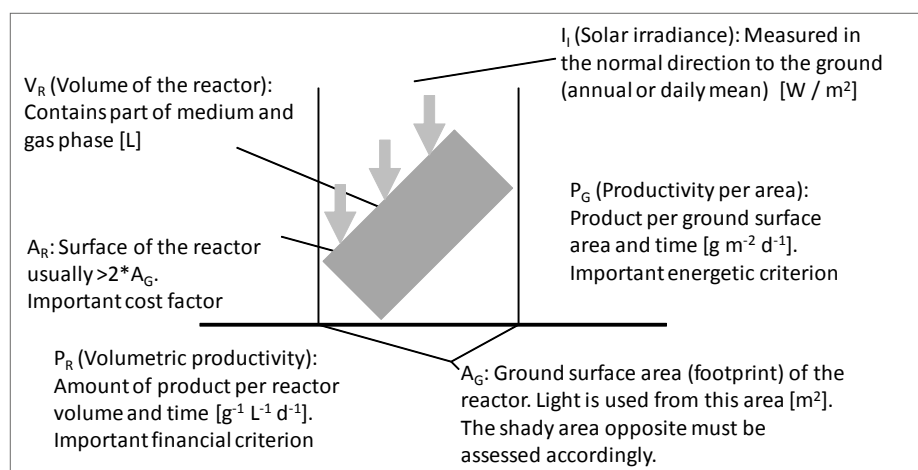
tain mechanical stability and to accommodate the hydrostatic pressure. Yet for cost reasons (the material itself, its manufacture and transportation) this should be as minimal as possible. Furthermore, the use of the material enters into the consideration of the amount of energy used since, in terms of energy, only a limited recycling efficiency (transportation, reshaping) can be expected. From a harvest of biomass amounting to, for example, $20 \text{ kg/m}^2/\text{a}$, approximately 10 kg C is bound. This must naturally be clearly higher than the CO_2 emitted during the manufacture of the reactor itself. There are hardly any actual values available from outdoor projects. Many reactors have to be supported by mechanical stands and must, furthermore, be under a roof or in a greenhouse to avoid weather-related contamination or damage as well as wind pressure. This results in costs and loss of light. Even a water basin can serve as a support for a floating plastic reactor (fig. 5).

3 Geometric Parameters

The primary difference between customary bioreactors for heterotrophic processes and photobioreactors is naturally the light influx through the transparent external walls (fig. 2). The relationship of the external surface area that is available to the volume that is supposed to be provided with light A_R/V_R is therefore an important factor. For a plate with a thickness d , for example, the relationship is $2/d$. Common values are in the range from 50 m^{-1} to 100 m^{-1} . Modern concepts go in the direction of larger values. The photosynthetic activity of algae is dependent on the strength of the light influx. At very small intensities of light ($< 20 \mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$), photosynthesis hardly surpasses cellular respiration. At small to medium intensities (< 200

$\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$), growth increases linearly with the intensity of the light. At high intensities, however, there is saturation or even photoinhibition. The actual amount of sunlight may exceed the critical value by a factor of 10–20 depending on the strain of algae, the time of day, the season, and the location. Any necessary dilution of the light can be achieved by increasing the design factor A_R/A_F (surface area/ground surface area) of the transparent surface, whether by adjusting the vertical height or by employing fiber optic elements. Absorption and scattering weaken the light (exponentially) when it passes through the algae suspension, so that only a residual amount reaches the opposite wall. The distance that the light travels is referred to as the free optical path d_L . On the one hand, no light should be lost, while on the other no dark areas should occur in which algae do not grow and even lose cell weight just as a result of cellular respiration. The lower this value (thin layer), the higher the biomass concentration can be without creating a dark area that is too large. Naturally, a compromise has to be found for the given parameters since the amount of material increases with greater dilution of the light and with shorter optical paths. While the given parameters refer to the reactor's surface area, they also directly determine the volume of medium V_R in the reactor and thus the amount of medium piled up on the ground area A_F . The parameter V_R/A_F gives the amount of medium that is piled on the "footprint area". A typical value is 100

Fig. 2: Schematic outline of important parameters of a photobioreactor



Source: Own compilation

L/m². Higher values indicate a greater weight and a lower intensity of the process.

In principle, the volumetric productivity measured in the laboratory cannot simply be multiplied by the amount of medium since the amount of biomass produced per ground surface area is determined solely by the incident light. This mistake is made over and over again when the anticipated performance of reactors is predicted, leading to completely exaggerated expectations. The same false impression is produced by the statement that the volume of medium is necessarily the reaction volume. This tenet from classical reaction technology naturally cannot be applied in this case since only the cell volume can count as the reaction volume. It is furthermore counterproductive that a high volume of medium leads to a lower concentration of biomass and to a loss of energy, as is demonstrated in the following section.

4 Hydrodynamic Parameters

The pressure at the base of the reactor results from the hydrostatic pressure of the column of medium. It exerts a direct influence on the required strength of the transparent material and the energy needed to generate the bubbles. Both of these aspects do not cause any particular problem in classical reactors for heterotrophic products. In photobioreactors, however, this can become a problem because at higher pressures the qualities demanded of the material increase, as does, above all, the specific energy per volume or per area needed for gassing. As in any reactor, the contents must be mixed properly to prevent the formation of gradients. In the case of tubular reactors, the mixing time in the axial direction is the time the medium needs to be cycled one time through the tubes, which is the passage time between two gassing points (Hall et al. 2003) and thus is given by tube length and pumping velocity.

With increasing oxygen concentration and decreasing carbon dioxide concentration along the tube, the axial mixing time should not exceed, for example, 2 min. In the case of plate reactors, mixing along the main axis, which in this case is the vertical axis, is given mainly by the vortices which are induced by the bubbles and the bubble rising time. Values for the dispersion coefficient

in the range of 100 s are acceptable. The mixing time in the direction normal to the transparent surface (radial for tubes, thickness for plate) should not significantly exceed 1 s in order to utilize the fluctuating light effect, i.e., not to leave the cells in the particularly bright front areas or the dark back areas too long (Grobbelaar et al. 1996). A non-trivial amount of mechanical energy is however necessary to this end. The perfusion of a reactor in the axial direction is necessary in order to move the fluid from one gassing point to the next, sometimes exceeding 0.3 m/s in tubular reactors. This, furthermore, also improves radial mixing (Molina et al. 2000; Perner-Nochta et al. 2007). In plate reactors, the bubbles induce circular flows that lead to axial perfusion rates of approximately 0.1 m/s, which can be significantly higher in certain specific designs. This results in acceptable axial dispersion coefficients (Camacho Rubio et al. 2004). Turbulent flow facilitates mixing in the normal direction (which is particularly necessary for high concentrations of cells), while laminar flow saves energy and is gentler on the cells. A fundamental consideration of hydrodynamics in photobioreactors can be found in Pruvost et al. (2011). Both open ponds and, even more so, enclosed bioreactors thus need auxiliary power essentially for mixing, gassing, and transport. In tubular reactors, more than 500 W/m³ is customary (Babcock et al. 2002) with values between 200 and 400 W/m³ being reported, while in plate reactors the lowest level is 50 W/m³ (Sierra et al. 2008). This last value increases, however, because of the increase in hydrostatic pressure with height in plate reactors. Because of its enclosed design, the pump energy in tubular reactors does not increase significantly with height.

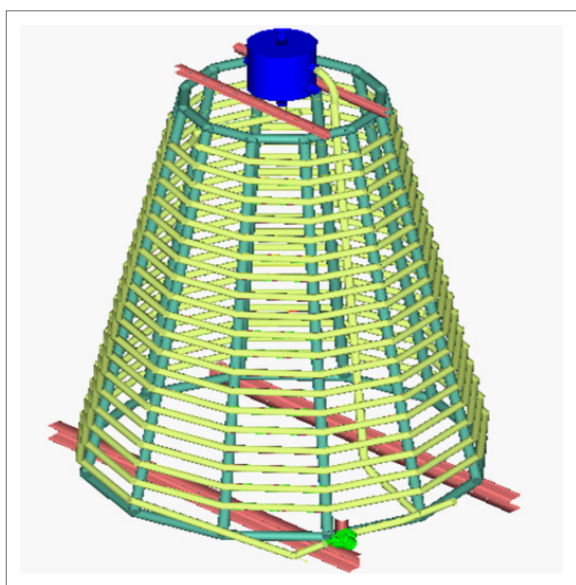
It is important to understand that high values for productivity are often purchased by using high energy input to improve the light integration and gas input. For example, open ponds employ little auxiliary energy (e.g., 1 W/m³) but their productivity is also correspondingly low. Current directions of research attempt to reach a low-energy mix by bundling the mechanical energy at certain frequencies that facilitate growth in the region of 10 Hz. In the Airlift plate reactor of the firm subitec (Degen et al. 2001; Ripplinger 2009), directed vortices are created in the upstream area by using built-in baffles (fig. 3).

Fig. 3: The Airlift plate reactor of the firm subitec



Source: Ripplinger 2009

Fig. 4: The novel principle of a tubular reactor (“Christmas Tree”) of the firm Gicon



Source: Cotta 2011

The energy required for this is supposed to be reduced to 10 MJ/kg of produced algae biomass. The novel design of a tubular reactor (“Christmas Tree”) of the firm Gicon (Cotta 2011) guarantees good exposure to light during the course of the day (fig. 4). Low energy input and a high dedicated radial mixing rate are produced by a novel pulsed procedure during gas inflow. This also prevents fouling on the tubular walls. Short light paths are achieved by using an internal tube which also maintains the correct temperature. Be-

sides these concepts, the use of energy flows from the environment has been proposed, for example the use of wave energy at a NASA reactor (NASA 2011). It is hoped that a bubble-free gassing procedure can lead to another clear decline in pneumatic energy input (Fan et al. 2008; Posten 2009).

Photobioreactors are gassed with a mixture of air and CO_2 , the CO_2 serving as the carbon source for the algae. The stoichiometric requirement is approximately 1.8 to 2 g CO_2 per gram of dry mass of algae created, depending on the lipid content. There must, however, be a sufficiently high partial pressure during the liquid phase so that the CO_2 absorption by the algae is not limited (Yang et al. 2003) and light energy is not lost. The air portion serves to prevent gradients and blending. Customary values are 0.1 vvm CO_2 or even higher if flue gases (or other gases from fermentation or the chemical industry) are utilized. Reactors that are pumped directly can also be supplied with pure CO_2 . The parameters that can be used to assess this are the volumetric mass transfer coefficient ($k_L a$ value), the volumetric CO_2 input rate (CTR) together with the corresponding CO_2 production rate (OPR), and the degree of CO_2 utilization. Open ponds have, for example, a relatively low need for auxiliary energy, yet their productivity is also low. There are hardly any systematically measured correlations between energy input and productivity.

5 Measured Performance Criteria

A high value for volumetric productivity measured as “space-time yield” is a sign of a reactor’s intense operation. Yet it is not permissible to simply project laboratory values because an ideal supply of light is impossible on a large scale in outdoor operation. When sunlight is used, the energy input from light will not increase simply by piling up more medium on a certain ground surface area (see below on photoconversion energy, PCE). In the lab, only 1 g/L/d can be attained and only for mid-range concentrations of biomass. For photobioreactors operated only with sunlight, the decisive value is the solar irradiance per area, independent of the precise geometry. Here is a sample calculation. In central Europe, the entire energy falling on a square meter is, for example,

1200 kWh/m²/a or 4320 MJ/m²/a. The energy in algae biomass is approximately 20 MJ/kg. If the maximal PCE is 5 %, then we can reckon with a maximal biomass harvest of 30 g/m²/d or 100 t/ha/a. If the oil level is high, the energy in the algae climbs toward 27 MJ/kg. Given the same PCE, the productivity of dry biomass per area thus sinks for thermodynamic reasons (Chisti 2008). Under no circumstances, thus, can the highest measured values for productivity and for oil level simply be multiplied to calculate the anticipated productivity for oil. For sunnier regions, the insolation from higher solar irradiation can be maximally a little more than twice as much. Reliable data on the actual productivity per area is only available for relatively few outdoor facilities, and then only for limited periods of a few weeks and areas of far less than 1 ha (e.g., Chini Zitelli et al. 2006). The data for the 1 ha facility in Klötze, Germany, given as 100 t/ha/a (Roquette 2010) are frequently used as a reference value. Yet we must take into account that the culture is partially operated heterotrophically and therefore cannot serve as a standard for biofuel production. Furthermore, in terms of its investment costs and the energy required, the facility is designed for high-value products.

The greatest caution is necessary when a life-cycle assessment (LCA) is prepared using data from the Internet or other literature without having further background information. To assess the effectiveness of a reactor, the productivity has to be related to the radiant amount of light. The PCE (which should not be confused with photosynthetic efficiency or photon efficiency PE from biological studies) gives the relationship of the energy stored in the biomass to the radiant energy that reached the reactor's ground surface area. Optimistic values are 5 %, and values up to 10 % are considered theoretically possible (Schenk et al. 2008; Chisti 2007; Zhu 2008). The higher the algae's oil content, the lower (reduction of up to 30 %) is the PCE (Wilhelm 2012). This value takes into account losses of light in the reactor itself, such as reflections on the surface or light that falls to the ground after passing between the individual modules of the reactor. This value is the ultimate standard for the efficiency of algal growth, but in some circumstances it is paid for by costs at diverse points (mixing, light dilution; see above).

This energy has to be deducted from the chemical product (biofuel) that is produced when the energy balance is determined. As described below, the energy flux that is produced can only amount to about 5 W/m² in the form of the heat of combustion. Given, for example, a performance input of 50 W/m³ and medium amounting to 100 L/m², that amount would already be exhausted. Only a reactor that employs the absolute minimum for mixing energy – pneumatically for creating bubbles in a plate reactor and mechanical energy for pumping in a tubular reactor – can be used for the production of biofuels. One approach to such a minimization is to adjust the actual need for CO₂ and the mixing intensity to the momentary consumption, which is permanently changing in response, for example, to the current position of the sun. It is extremely rare for genuine measurements of energy consumption for longer periods of cultivation to be available. At any rate, the amount of auxiliary energy is currently a reason obstructing the effective production of biofuels out of microalgae, but this is a topic that is the object of intense research. The concentration of biomass should in principle be as high as possible to make an intensive process possible. This also facilitates cell separation in the next step. Increasing the cell concentration for example from 1 g/L to 2 g/L reduces the fluid volume per amount of biomass to be fed through the centrifuge/filter by 50% and thus contributes decisively to reducing the costs downstream. Typical values are < 1 g/L in open ponds and up to 5 g/L in today's enclosed reactors. A value of 10 g/L is desirable and feasible. Decisive for reaching this goal is not only the reactor geometry but also the strategies for feeding the medium.

6 Mode and Stability of Operation

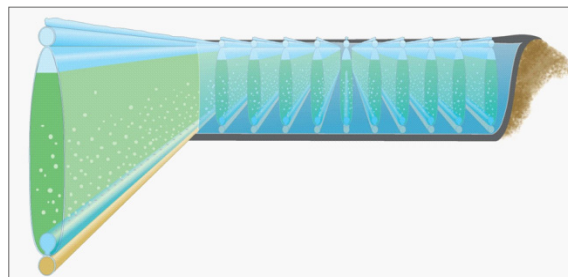
The growth rate of microalgae is strongly dependent on the temperature. The mean temperatures in winter are too low and in summer too high because of the strong solar irradiance. Corrective actions could be a temperature-controlled greenhouse, installation in an artificial body of water to moderate the day-night temperature cycles, the use of IR-reflecting materials in the transparent body, and active cooling by spraying with water. The demonstration reactor "Water Bed" from Solix Biofuels

(Solix 2011; Willson 2009) consists in principle of flat panels that are operated as bubble columns (fig. 5). The reactor unifies the ideas of low design height to minimize the energy input and a minimal use of material. The surrounding body of water serves as a support for the active elements and to balance variations in temperature. The submerged panels of the reactor “proviAPT” from the firm *Proviron* (Proviron 2011) functions similar to the Solix reactor, only that the individual elements are even lower and the surrounding body of water is itself contained by a plastic case (fig. 6). The company claims that the already low level of gassing energy is supposed to be lowered to less than $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. The investment costs amount to less than 20 €/m^2 for material weighing 2.5 kg/m^2 .

It is, however, also possible to use the natural or available water currents, such as cool water from power stations or from bays. As a matter of principle, every action to actively moderate the temperature is tied to an extremely strong burden on the energy balance. This is a reason that locational advantages such as a constant air temperature tend to be taken into consideration, e.g., in southern countries but at a higher elevation above sea level. Locations in central Europe can in this regard have certain advantages because of the longer length of daylight in the summer (being shut down in the winter, which is possible if the investment costs are low; Posten, Schaub 2009). Most of today’s production of algae is done in batch operation. The cells can increase to a certain cell concentration and then a large part of the suspension is harvested. The harvesting can take place late in the afternoon to minimize the nighttime respiratory-related loss of biomass. By the next midday the biomass concentration has increased enough again to absorb the strong daytime sunlight. Since the cells follow a circadian rhythm, the harvest cycle interacts with the cell division cycle, but these effects have not yet been understood scientifically. The goal of current research in this regard is to establish stable and continuous process operation.

Many algae cultures tend to stick to the walls. Proteins also deposit on the inside of the reactor. The problem can be controlled when the reactor is in operation but the reactor insides must be cleaned and hygienized (true sterilization is not possible)

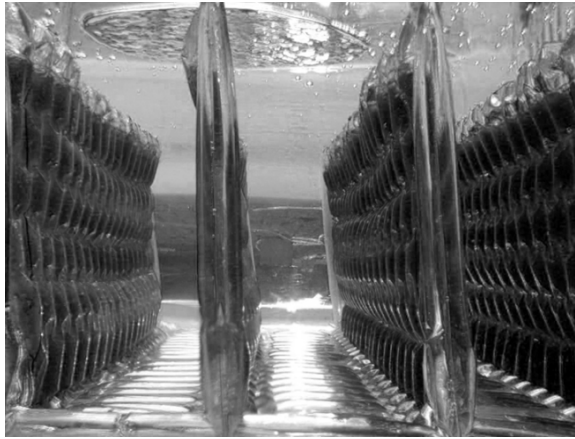
Fig. 5: The schematic outline of the demonstration reactor “Water Bed” from Solix Biofuels



Source: Solix 2011

following a cultivation. Various liquids (sodium hydroxide, hydrogen peroxide) are used for this purpose. Such issues for establishing stabile cultures have played practically no role in scientific studies. At least one mechanical cleaning is essential, however, for the anticipated large-scale operation. “Pipeline pigs” are used for example in tubes. The insides of many of the available plate reactors cannot be cleaned. In some cases, the reactors are taken to be disposable. Although pilot plants in laboratories are still sterilized and can be operated (but not always) in an axenic manner (meaning in the absence of other organism), it cannot be assumed from the principles of today’s reactors that the operation of large-scale production plants is free of contamination. Although inoculation from “seeding reactors” is possible, there will always be foreign pathogens in the system, such as bacteria, fungi, or competing microalgae. Countermeasures start with the biological system, such as by the selection of extreme operating conditions such as high pH or high salinity, in which contaminants do not thrive. The mode of operation can facilitate a low-pathogen manner of production, such as rapid growth and harvest cycles to prevent overgrowth or the realization of a plug-flow principle. Photobioreactors are in principle constructed modularly since the light input does not permit three-dimensional scale-up. The term “numbering up” is then used. Individual damaged or dirty modules must be easy to replace during maintenance of a facility. The specific costs of the reactor must be directly related to the costs of the amount of biomass produced. If for example 10 kg of algae are produced per year per m^2 ground surface area, then proceeds of $5 \text{ €/m}^2/\text{a}$ can be attained given a price

Fig. 6: Submerged panels of the reactor “provi-APT” from the firm Proviron



Source: Proviron 2011

of 50 cents/kg (today's upper price for residual biomass for use as energy). Given an amortization of, for example, 10 % per annum, the maximum price of the reactor would be 50 €/m². In this case, practically only simply designed plastic reactors come into question.

7 Conclusion

The design and development of photobioreactors for maximum production of algae is very important and detailed knowledge of light distribution, mass transfer, shear stress, scalability, and biology of algae cells is therefore required. Apart from maximum production, other factors such as design, cost effectiveness of the bioreactor, low maintenance costs, space convenience, and energy requirements need to be optimized. To date, none of the photobioreactors fulfill all the requirements. Overall it can be said that many of the attempts to produce low-cost biofuels in an energy-neutral manner by using microalgae have so far failed because of poor reactor engineering. Both the qualities demanded of the material as well as the auxiliary energy that is needed have been too high. Yet there are approaches to overcoming the bottlenecks afflicting existing photobioreactors and to developing innovative reactors that are beginning to directly take into consideration the needs of the production of energy carriers and the conditions at various locations. They are, however, often operated by indi-

vidual institutes and small companies and not by large-scale collaborations such as we are used to in other areas of science. Besides, there is a lack of scientific consensus as to how a suitable and scalable photobioreactor is to be designed although the major factors affecting microalgae are well known.

References

- Babcock, R.W.; Malda, J.; Radway, J.C.*, 2002: Hydrodynamics and Mass Transfer in a Tubular Airlift Photobioreactor. In: *Journal of Applied Phycology* 14/3 (2002), pp. 169–184
- Camacho Rubio, F. et al.*, 2004: Mixing in Bubble Columns: A New Approach for Characterizing Dispersion Coefficients. In: *Chemical Engineering Science* 59/20 (2011), pp. 4369–4376
- Chini Zittelli, G. et al.*, 2006: Productivity and Photosynthetic Efficiency of Outdoor Cultures of *Tetraselmis suecica* in Annular Columns. In: *Aquaculture* 261/3 (2006), pp. 932–943
- Chisti, Y.*, 2007: Biodiesel from Microalgae. In: *Biotechnology Advances* 25/3 (2007), pp. 294–306
- Chisti, Y.*, 2008: Biodiesel from Microalgae Beats Bioethanol. In: *Trends in Biotechnology* 26/3 (2008), pp. 126–131
- Cotta, F.*, 2011: Ein innovatives Prinzip für tubuläre Photobioreaktoren. 5. Köthener Biotechnologie-Kolloquium, Köthen Germany
- Degen, J. et al.*, 2001: A Novel Airlift Photobioreactor with Baffles for Improved Light Utilization Through the Flashing Light Effect. In: *Journal of Biotechnology* 92/2 (2001), pp. 89–94
- Fan, L.-H. et al.*, 2008: Evaluation of a Membrane-sparged Helical Tubular Photobioreactor for Carbon Dioxide Biofixation by *Chlorella vulgaris*. In: *Journal of Membrane Science* 325/1 (2008), pp. 336–345
- Greenwell, H.C.; Laurens, L.M.L.; Shields, R.J. et al.*, 2009: Placing Microalgae on the Biofuels Priority List: A Review of the Technological Challenges. In: *Journal of the Royal Society Interface* 7/46 (2010), pp. 703–726
- Grobbelaar, J. U.; Nedbal, L.; Tichy, V.*, 1996: Influence of High Frequency Light/Dark Fluctuations on Photosynthetic Characteristics of Microalgae Photoacclimated to Different Light Intensities and Implications for Mass Algal Cultivation. In: *Journal of Applied Phycology* 8/4-5, pp. 335–343
- Hall, D.O. et al.*, 2003: Outdoor Helical Tubular Photobioreactors for Microalgal Production: Modeling of Fluid-dynamics and Mass Transfer and Assessment of

Biomass Productivity. In: *Biotechnology and Bioengineering* 82/1 (2003), pp. 62–73

Janssen M. *et al.*, 2003: Enclosed Outdoor Photobioreactors: Light Regime, Photosynthetic Efficiency, Scale-up, and Future Prospects. In: *Biotechnology and Bioengineering* 81/2 (2003): pp. 193–210

Kunjapur, A.M.; Eldridge, R.B., 2010: Photobioreactor Design for Commercial Biofuel Production from Microalgae. In: *Industrial & Engineering Chemistry Research* 49/8 (2010), pp. 3516–3526

Molina, E. *et al.*, 2000: Tubular Photobioreactor Design for Algal Cultures. In: *Journal of Biotechnology* 92/2 (2001), pp. 113–131

Morweiser, M. *et al.*, 2010: Developments and Perspectives of Photobioreactors for Biofuel Production. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 87/4 (2010), pp. 1291–1301

NASA – National Aeronautics and Space Administration, 2011: OMEGA Project; <http://www.nasa.gov/centers/ames/research/OMEGA/index.html> (download 5.4.12)

Perner-Nochta, I.; Posten, C., 2007: Simulations of Light Intensity Variation in Photobioreactors. In: *Journal of Biotechnology* 131/3 (2007), pp. 276–285

Posten, C., 2009: Design Principles of Photo-bioreactors for Cultivation of Microalgae. In: *Engineering in Life Sciences* 9/3 (2009), pp. 165–177

Posten, C.; Schaub, G., 2009: Microalgae and Terrestrial Biomass as Source for Fuels – A Process View. In: *Journal of Biotechnology* 142 /1 (2009), pp. 64–69

Proviron Industries NV, 2011: Latest ProviAPT Evolution Inaugurated. Hemiksem, Belgium; <http://www.proviron.com/showcase/latest-proviapt-evolution-inaugurated> (download 5.4.12)

Pruvost, J.; Van Vooren, G.; Le Gouic, B. *et al.*, 2011: Systematic Investigation of Biomass and Lipid Productivity by Microalgae in Photobioreactors for Biodiesel Application. In: *Bioresource Technology* 102 /1 (2011), pp. 150–158

Pulz, O., 2001: Photobioreactors: Production Systems for Phototrophic Microorganisms. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 57/3 (2001), pp. 287–293

Richmond, A., 2004: Principles for Attaining Maximal Microalgal Productivity in Photobioreactors: An Overview. In: *Hydrobiologia* 512/1 (2004), pp. 33–37

Ripplinger, P.P., 2009: Industrielle Produktion von Mikroalgenbiomasse mit einem Flat-Panel-Airlift-Photobioreaktor. Köthen, Germany, 5. Köthener Biotechnologie-Kolloquium

Roquette Klötze GmbH & Co. KG, 2010: Roquette Klötze GmbH & Co. KG. Klötze, Germany; <http://www.algomed.de/index.php?op=algenfarm> (download 5.4.12)

Rosello Sastre, R.; Posten, C., 2007: Scale-down of Microalgae Cultivations in Tubular Photo-bioreactors – A Conceptual Approach. In: *Journal of Biotechnology* 132/2 (2007), pp. 127–133

Schenk, P.P.; Thomas-Hall, S.; Stephens, E. *et al.*, 2008: Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. In: *BioEnergy Research* 1 /1 (2008), pp. 20–43

Sierra, E. *et al.*, 2008: Characterization of a Flat Plate Photobioreactor for the Production of Microalgae. In: *Chemical Engineering Journal* 138/1–3 (2008), pp. 136–147

Solix Biofuels, 2011: Solix Biofuels; <http://www.solixbiofuels.com> (download 20.7.10)

Wilhelm, C.; Selmar, D., 2011: Energy Dissipation is an Essential Mechanism to Sustain the Viability of Plants. In: *Journal of Plant Physiology* 168 (2011), pp. 79–87

Willson, B., 2009: Low-Cost Photobioreactors for Production of Algae-Biofuels. 2009, GTOBiofuels: Science and Innovation for Sustainable Development Conference. San Francisco, CA

Yang, Y.; Gao, K., 2003: Effects of CO₂ Concentrations on the Freshwater Microalgae, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus* (Chlorophyta). In: *Journal of Applied Phycology* 15/5 (2003), pp. 379–389

Zhu, X.-G.; Long S.P.P.; Ort, D.R., 2008: What is the Maximum Efficiency with which Photosynthesis Can Convert Solar Energy into Biomass? In: *Current Opinion in Biotechnology* 19/2 (2008), pp. 153–159

Zijffers, J.-W. *et al.*, 2008: Design Process of an Area-Efficient Photobioreactor. In: *Marine Biotechnology* 10/4 (2008), pp. 404–415

Contact

Prof. Dr.-Ing. Clemens Posten
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Institute of Process Engineering in Life Sciences
Fritz-Haber-Weg 2, 76131 Karlsruhe, Germany
E-mail: clemens.posten@kit.edu

« »

The Biological Perspective

Ideas from New Green Chemistry Concepts for Improving the Performance of Microalgae

by Christian Wilhelm, University of Leipzig

The generation of biofuel by producing, harvesting and processing microalgal biomass has not yet reached a positive energy balance as shown by most of the published life cycle studies. The major reasons are the low energy efficiency of the photon-to-biomass conversion and the high energy demand for mixing during cultivation, harvesting, extraction and refining. The energy efficiency of microalgal biomass production is not limited by photosynthesis, but by the metabolic processes for allocating carbon into the macromolecular pools of the algae cell. The proposed concept of "new green chemistry" tries to reduce the number of conversions to a minimum in order to increase energy efficiency.

1 Introduction

Microalgal mass cultures have attracted new attention during the last decade as a source of new feedstock, of biofuels (biodiesel, methane or bioethanol) and of (highly) valuable products (e.g. carotenoids, polyunsaturated fatty acids or other food additives) having the potential to help build a future green economy (Olaizola 2003). The technical and economic feasibility of the microalgae-based pathway to produce high-value products depends mainly on the costs of biomass production and refinement and the price of the product (Stephens et al. 2010). Microalgal technology will be economically feasible if technological progress reduces the costs of the entire process from photon to the final product to below the amount that is derived from fossil carbon. However, economic feasibility is not climate friendly per se. In the case of biofuels, not only the price but also a life cycle analysis (LCA) must show that the ratio of usable megajoules of energy per unit of greenhouse gas emission is lower than for fossil sources. The first generation of biofuels (bioethanol from sugarcane or biodiesel from rape seeds) shows a reduction

in greenhouse gas emissions by only about 30 % compared to fossil oil (Kaltschmitt, Hartmann 2009). On the one hand, algae can offer important advantages over first generation biofuels, such as much higher productivity per area, no demand for arable land, higher water use efficiency, and improved nutrient recycling by employing integrated waste water concepts. On the other hand, closed photobioreactors used for growing algae consume large amounts of electric energy for mixing, harvesting and downstream processes. Since the electric energy itself is not produced free of CO₂, the whole process from photon capture to biofuel creation emits more CO₂ than is fixed by the algae. At the present state of the art, algae-derived biofuels emit more greenhouse gases than do fuels produced from fossil sources (Weinberg et al. 2012). Although the feasibility of microalgal technology depends on the optimization of all technological steps, it is the task of this study to analyse the first step, namely the physiological limits of the photon-to-biomass conversion and to identify the bottlenecks in this process and the opportunities for increasing the physiological energy efficiency of microalgae. The future challenge is to optimize the whole process in a way that the greenhouse gas emissions are reduced far below the level of fossil oil and to increase the productivity per unit area by at least one order of magnitude. At present, the major route in this direction is the one called "green chemistry".

2 Classical Green Chemistry

According to Anastas and Warner (1998), green chemistry is "the utilisation of a set of principles that reduces or eliminates the use or generation of hazardous substances in the design, manufacture and application of chemical products" (Anastas, Warner 1998). One of the principles is to use raw material or feedstock from renewable sources. Since photosynthesis is the only process which delivers new organic carbon from renewable sources with present-day technologies, the process can be divided into three major steps: (a) biomass formation, (b) harvest and transport, and (c) the conversion of biomass into the product. In the first process, the activity of the photosynthetic machinery in the green plants generates organic

carbon from inorganic CO_2 , water and nutrients. These primary photosynthetic products, mainly sugars, are then converted by metabolic processes into complex biological macromolecules such as lipids, proteins and high molecular carbohydrates (e.g. starch, cellulose and hemicelluloses). In higher plants, lignin is an additional macromolecule that is not only important in trees but also in all annual plants, because the stability of the shoot and the water transport capacity inside the plant depend on lignin-stabilized cells. The lipids and the proteins are biologically active components because they deliver the membranes and enzymes for the metabolic routes and the reaction matrix for cell growth. The metabolic conversion of sugars into lipids and proteins requires additional nutrients, e.g. nitrogen, for the production of amino acids, the monomers of proteins. In higher plants, new biomass is mainly produced as shoots, roots and leaves, but energy storage is mainly in seeds as lipid or as starch, so reallocation of carbon is required. The formation of biomass includes many biochemical reactions and inevitably depends on the nutrient supply (e.g. nitrogen and phosphate) which are not part of the final product. During the biomass-to-product conversion these elements have to be eliminated and recycled. In the case of microalgae, the situation is more advantageous because the total amount of carbon can be harvested and the biomass can be completely converted into the product, whereas in higher plants significant amounts of the biomass remain as remnants (e.g. non-degradable lignin).

The main investments in creating algal biomass are due to the necessity of mixing, which is important for preventing CO_2 limitation and O_2 oversaturation (a high oxygen concentration inhibits the carboxylation process) and for providing the cells with the appropriate amount of light energy. This is very crucial for the overall photosynthetic efficiency. Further energy is needed for nitrogen fertilization. The nitrogen demand of fast growing algae is 1 N per 7 C. Based on the facts that the energy demand for the assimilation of 7 mole C is 805 kcal and the energy demand for the assimilation of 1 mole N is 289 kcal, it is obvious that about 35 % of the energy has to be invested in nitrogen metabolism.

Microalgae can be harvested either by centrifugation, filtration or flocculation. The major challenge posed by this process results from the fact that the biomass concentration is very low compared to the amount of water to be treated. In the best case, an algae suspension contains 20–40 g biomass per litre, equal to 96–98 % water. This “low” cell density is needed because the cells absorb the light very efficiently and a more highly concentrated suspension will lead to extreme self-shading in the bioreactor. Harvesting is therefore associated with high mass transfer against high back pressure in the case of filtration. Centrifugation is extremely energy consuming, and flocculation makes further re-treatment of nutrient solution necessary before the solution can be re-used for algal growth. Even if one admits that intelligent technologies can improve the efficiency, harvesting has to solve a basic physical problem: the concentration of energy. Light from the sun reaches the surface in a much “diluted” form (e.g. 1000 W/m² year photosynthetically active radiation). A car with a surface area of about 8 m² consumes about 1500 l diesel per year. Even if the efficiency from photon to tank would be 5 %, the area needed to provide the car with the requested energy is about 30 ha. This simple calculation illustrates the tremendous demand on area, which leads to the basic problem of mass transfer over long distances.

The third process is the conversion of biomass to biofuels. Starch is degraded by enzymatic activity to glucose and then fermented to ethanol. The result is a mixture of water and ethanol. Most of the energy used to produce bioethanol is needed in the final distillation step to obtain highly concentrated (nearly water-free) ethanol. In the case of biodiesel, the oil from algae or oil seeds is extracted with the help of a lipophilic solvent (e.g. butanol). Since plant oils contain one glycerine molecule per three fatty acids, the lipid must be transesterified with methanol or ethanol. Here again, the transesterification process consumes the largest amount of energy in this final step. In the case of algal oils, the percentage of sulpholipids or glycolipids can be increased, delivering only two fatty acids per glycerine.

3 Challenges and Limits to Improving the Efficiency of Biomass Formation

Many authors have emphasized that microalgae are more efficient than higher plants for producing biomass. In contrast to higher plants, algae can be grown independently of arable land, its water use efficiency (demand for water per kg biomass produced) is at least twenty times as good and the yields per area and year are higher by several factors. Some authors claim that the productivity of algae per unit area is 10–100 times higher than that of higher plants (see Schenk et al. 2008; Brennan, Owende 2010 and references therein). An improvement on the present-day state of the art can be expected because only a few species have been used so far although algal biodiversity is very high and has not yet been exploited biotechnologically. A second reason that has been put forward is that the photosynthetic efficiency can be improved not only by a better reactor design but also by metabolic engineering (Schuhmann et al. 2012). Table 1 summarizes the potential of microalgae and agricultural plants.

Table 1: Yield per area and year of plant production systems for biofuels

	<i>Area demand</i> [m ² year/ kg biodiesel]	<i>Biofuel productivity</i> [kg biodiesel/ ha year]
Maize	66	152
Soybean	18	562
Rape seed	12	862
Palm oil	2	4.7
Microalgae	0.1	86.5

Source: Based on data of Mata et al. 2010

In the last decade, we have developed the experimental know-how to achieve an energy balance in the biological conversion from photon to biomass. Since all the cells in a microalgal culture are photosynthetically active, it is possible to follow the fate of the absorbed energy through the major metabolic pathways in detail. This is not possible for higher plants because they consist of tissues with different physiological functions with very complex sink and source carbon allocation, which does not permit us to determine complete energy balances.

4 From Photon to Biomass and Its Conversion Efficiency

Energy balancing is based on a bio-optical model which measures the energy input and energy storage at four different levels and compares the energy savings monitored by the bio-optical model with the biomass that has actually been formed. The balance is based on optimal growth conditions under steady state conditions, and the comparison of modelled and measured biomass formation is based on daily production given a 14-h illumination period and 10 h of darkness. The input parameter is the number of absorbed quanta per cell or chlorophyll molecule per day (Q_{phar}). Q_{phar} is different from the incident photosynthetic active radiation (Q_{par}) because the number of photons that reach a cell depends on the cell density, the light gradient inside the reactor, the mixing velocity, the light spectrum, and the absorption spectrum of the cell. For a good energy balance, the experimental conditions must be chosen in such a way that the amount of Q_{phar} does not depend on unverified assumptions. Therefore, we have used a flat cuvette with a very low cell density leading to a minimal light gradient inside the cuvette. This makes it possible to measure Q_{phar} in quantitative terms if the path length in the cuvette, the light spectrum, the absorption spectrum, the chlorophyll content, and the number of cells are known. Then Q_{phar} can be calculated using equation 1:

$$Q_{\text{phar}} = \int_{400\text{m}}^{700\text{m}} Q(\lambda) - Q(\lambda) e^{-a^*_{\text{phy}}(\lambda) \times [\text{Chla}] \times d} d\lambda$$

[Chl a] is the chlorophyll concentration in the cuvette
d = the path length in the cuvette

a^*_{phy} = the chlorophyll-specific absorption coefficient

“ a^*_{phy} ” is defined by equation 2:

$$a^*_{\text{phy}}(\lambda) = \frac{2.3 \times A(\lambda)}{d \times [\text{Chla}]}$$

The coefficient “ a^*_{phy} ” defines the absorptivity of the cells. It can be experimentally obtained by dividing a scatter-corrected absorption spectrum by the chlorophyll concentration. The formal dimension of a^*_{phy} is m²/mg chlorophyll and gives the area available for each chlorophyll molecule.

The more densely packed the chlorophyll inside the cell, the lower the chance that the chlorophyll can hide from a photon. Therefore, the amount of chlorophyll needed to absorb a given amount of photons at a given light flux strongly depends on a_{phy}^* , which declines as a function of cell size as well as of the chlorophyll content per cell (Blache et al. 2011). Since the latter is strongly dependent the light acclimation status, the absorptivity of the cell suspension changes in the natural light climate. Toepel et al. (2005) have shown that a_{phy}^* can vary under natural conditions by a factor of two.

The next energetic conversion step is the photochemical reaction. Its efficiency can be measured as photosynthetic quantum yield expressed as the number of transported electrons per number of absorbed photons. The quantum yield of photosystem II is optimally about 80 %, which is slightly lower than the 90 % achieved in photosystem I. With increasing light intensity, the overall quantum yield decreases, because the photochemical reaction kinetics are about three orders of magnitude faster than the biochemical processes. As a consequence, at a higher light intensity the acceptor side of the photosystems is in a reduced state and the quantum yield for fluorescence and heat emission rises. Since chlorophyll molecules in the excited state can transfer the energy to molecular oxygen forming reactive oxygen species (ROS) such as singlet oxygen or superoxide radical anions, which are extremely toxic, evolution has developed photoprotection mechanisms against photoinhibition. In short, the major mechanism is to convert the absorbed photons into heat by a so-called non-photochemical quenching (NPQ) mechanism. NPQ can be quantified by the so-called pulse-amplitude-modulated fluorescence analysis (Büchel, Wilhelm 1993). This method, developed by Schreiber et al. (1986), allows the photosynthetic quantum efficiency to be measured in situ. Multiplying the quantum yield times the absorbed quanta gives the number of electrons per chlorophyll molecule per time, which can be measured independently by oxygen evolution. Therefore, photosynthetic electron flow can be measured by two independent methods, making it possible to assess the electron use efficiency.

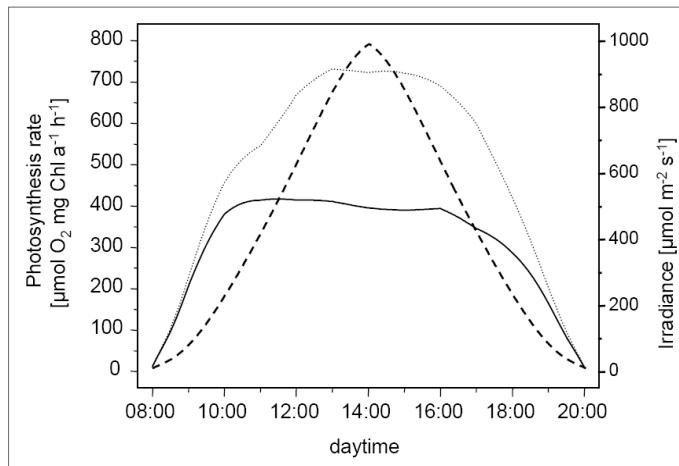
The fluorescence-based electron transport rates reflect the bulk of electrons extracted from

water, whereas the oxygen production represents the gross balance from oxygen-producing and oxygen-consuming processes. The latter does not contain only the ongoing mitochondrial respiration but also all light-driven oxygen-consuming processes which are summarized as “alternative electron transport”. These include photorespiration and the so-called Mehler reaction. In this case, electrons delivered from photosystem I are transferred to molecular oxygen thereby producing O_2^- instead of reducing NADP^+ to $\text{NADPH} + \text{H}^+$. Thus, oxygen is consumed and the oxygen superoxide anion is detoxified via hydrogen peroxide to water. This water-water cycle (Asada 1999) is not completely futile because it generates ATP. Under real photobioreactor conditions, photorespiration can be suppressed by providing a sufficient CO_2 supply, whereas the water-water cycle remains operative. Comparison of fluorescence-based electron transport rates and oxygen production makes it possible to quantify the alternative electron transport. Figure 1 shows that, in a dynamic light climate mimicking a sunny day, fluorescence and oxygen evolution match perfectly in the early morning and in the late afternoon, when the light intensity is relatively low. In full sunlight, in contrast, about one third of the energy is lost by alternative electron cycling.

Finally, the carbon assimilation efficiency has to be quantified. It determines the fraction of electrons which are finally stored in the biomass. Here again, comparison of the different independent methods can improve our understanding of the underlying physiological mechanisms. The assimilation efficiency is influenced by three major processes:

- carbon losses by respiration and biochemical pathways that include decarboxylation reactions (see fig. 2);
- electron transfer to other elements than carbon or by reducing carbohydrates to more reduced components, e.g. lipids;
- carbon losses due to carbon excretion.

The carbon loss can be measured by respirometry. Here, the O_2/CO_2 ratio can be continuously measured in the light and in the dark. For instance, this ratio rises if the cell stores the assimilated carbon in lipids instead of in starch. The carbon allocation can also be measured by a new procedure based on

Fig. 1: The electron transport rates during a dynamic daily light climate

Note: Dynamic daily light climate (light intensity dashed line) measured by oxygen evolution (solid black line) and by fluorometry (dotted grey line). The difference between fluorescence- and oxygen-based electron transport rates reflects the activity of alternative electron cycling, indicating the loss of reductants which cannot be used for carbon assimilation, but which might contribute to ATP biosynthesis (Mehler reaction).

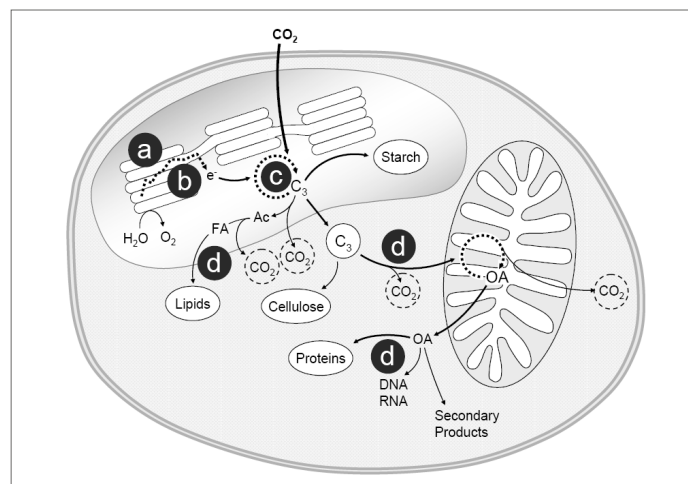
Source: Own compilation

quantitative chemometry of FTIR spectra (Wagner et al. 2010). This approach enables us to quantify the rate of biosynthesis of proteins, carbohydrates and lipids in parallel with a time resolution of minutes. These measurements can be quantitatively related to the amount of new biomass based on the growth rate.

In figure 2, the metabolic pathway is shown from the primary photosynthates in the Calvin cycle to the major macromolecular pools in typical green algae, e.g. *Chlorella*. In some algae, the cell wall does not contain cellulose, so the carbon needed for the formation of cell walls is reduced or is replaced by other macromolecules, e.g. proteins

in the case of *Chlamydomonas*. From these pathways it is obvious that the synthesis of lipids and proteins includes decarboxylation steps, which not only lead to the loss of carbon but also to an increase in the metabolic costs for new cell formation. These metabolic costs have to be taken into account in a full energy balance comprising photon to biomass.

We have performed such complete energy balances for different species of green algae and diatoms under different experimental conditions (Wagner et al. 2005; Jakob et al. 2007).

Fig. 2: Carbon/electron flow from the photosynthetic apparatus to cellular macromolecules

Note: Electrons are generated by a water-splitting apparatus in the thylakoid membrane (a). Electron flow from water to NADPH generates ATP (b) needed for CO₂ fixation in the Calvin cycle (c) producing C₃ sugar. These sugars can be stored in the chloroplast as starch or converted to fatty acids (FA) which are exported to the cytosol and stored in lipid vesicles. Exported C₃ sugars can be metabolized in the cytosol to feed the citric acid cycle in the mitochondrion, which delivers the carbon skeletons for the synthesis of amino acids (proteins), nucleic acids and secondary products (d). The transformation of C₃ sugars to FA as well as to amino acids is always linked with decarboxylation reactions increasing the electron demand per carbon fixed in the biomass.

Source: Own compilation

The highest photon-to-carbon conversion efficiency is found under light acclimated conditions at a light level where the cells absorb a number of photons per chlorophyll that is close to the inclination point of the light saturation curve. At this light intensity, the growth rate is only half of the maximum. However, even under these conditions the photon to biomass conversion efficiency, expressed as P/C, is about 30 % above the theoretical optimum, but only if the macromolecular composition of the cells is not favourable for biofuel production (see Fig. 3). Increasing the yield of oil or protein production is inevitably linked to much lower photon-to-biomass conversion efficiencies, which decrease further when the light field cannot be fully controlled, leading to light acclimation reactions in the cell. The data show that the potential for improving the photon-to-biomass conversion

is not restricted by the photosynthetic efficiency but limited by the metabolic capacity of the cells to convert sugar into the biochemically complex matrix of a growing cell. There is one exception, namely the decrease in algal absorptivity as a result of the minimization of the light harvesting antennae can reduce the losses from NPQ. However, this will not lead to higher productivity but to a much lower energy input for mixing or to savings in reactor cost by making less light dilution necessary.

The concept of new green chemistry was developed on the basis of these results.

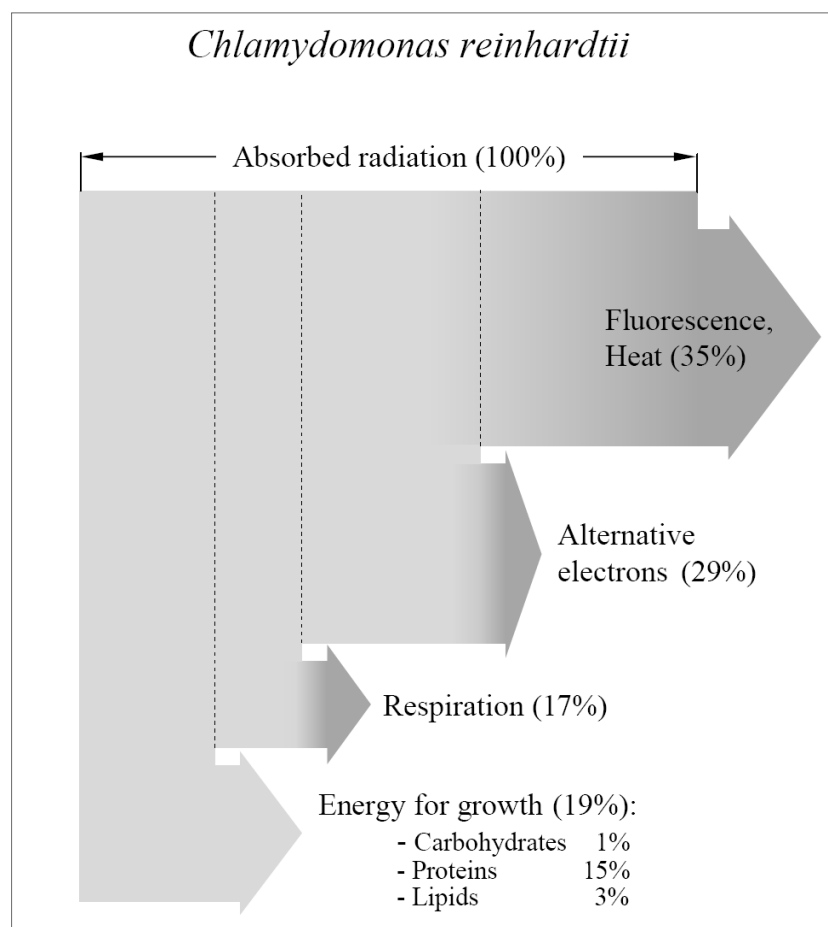
5 New Green Chemistry

New green chemistry tries to reduce the number of conversion steps from CO₂ to the final product. This strategy is shown in figure 4 using the production of isoprene as an example.

The production pathway for traditional green chemistry is shown on the left hand side, whereas the concept of new green chemistry is depicted on the right.

The basic idea is to use the algal cell as a cell factory that uses its biosynthetic machinery to produce metabolites. Therefore, the primary photosynthetic products (sugar or organic acids) are not directed to produce biomass, but to be excreted. The excretion product can be either a bulk chemical, which has to be processed further outside the cell, or it can be a product that is formed in the cell in a metabolically designed pathway. In this design, the technical and energetic input for harvesting is strongly reduced. Since the formation of

Fig. 3: Energy balance from photon to biomass for the model organism



Source: Based on the data of Langner et al. 2009

new biomass is suppressed, the cells do not need large amounts of nutrients, which are necessary for the build up of cellular macromolecules. If the maximization of biomass productivity is no longer the main target for bioreactor optimization, the cells can be managed in a completely different environment. The cells can be attached to a surface, forming an active biofilm which is thick enough to absorb 90 % of the light, which must be kept wet, and which must permit carbon dioxide to enter for photosynthetic assimilation. If the excretion product is water soluble, only a low volume of water flow is necessary to control the optimal environment for the cells and to withdraw the metabolite from the cells to prevent inhibitory reactions. In this set-up, a complete refinery concept can be integrated if the cellular metabolic pathway can be used to produce the final product within the cell. The best option as a potential product is a substance which is easy to gasify, so that the “concentration process” can be done by minimal mass transfer.

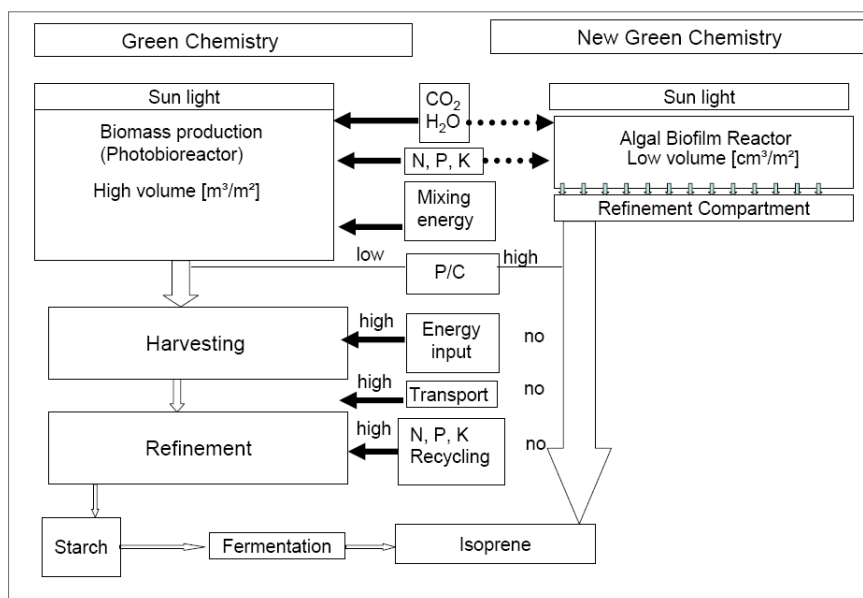
In the example of isopentenyl diphosphate (IPP), which is needed for many compounds in the cell (e.g. carotenoids), seven enzymatic steps are needed to convert the primary products from photosynthesis into IPP. This pathway can consume up to 30 % of the assimilated carbon to pro-

duce xanthophylls. The addition of one enzyme, the isoprene synthase, is sufficient to funnel part of this metabolite flow into isoprene. At physiological temperatures, isoprene is a gas that is emitted from the cells without any barrier. If the cells are exposed to a constant flow of air, which is needed to feed the cells with CO_2 and to dilute the rising oxygen concentration due to photosynthetic activity, isoprene will leave the photobioreactor by the normal gas stream. If this gas stream enters cold water, i.e. water below the condensation temperature for isoprene (about 5–10°C), it becomes liquid and can be easily separated from water by phase partitioning. The activity of isoprene synthase has to be regulated in such a way that the total carbon loss from respiration at night and from the emission of isoprene when it is light is more or less equivalent to the carbon gained by photosynthetic carboxylation.

6 Conclusions

Complete energy balances from photon to harvestable biomass can help to identify the limiting processes of carbon fixation at the cellular level of microalgae. The results show that the activity of enzymes has to be regulated to obtain high productivity and to reduce total carbon loss from respiration at night. The overall efficiency of biomass formation can be improved by innovative photobioreactor design that is kinetically adapted to rate-limiting steps in cell physiology. However, taking into account the real photon demand per assimilated carbon and the energy input for biorefinement, it becomes obvious that instead of improving growth, the cell metabolism has to be regulated to establish a new homeostasis be-

Fig. 4: Comparison of the concept of traditional “green chemistry” with the new concept of “new green chemistry”



Source: Own compilation

tween carboxylation and biosynthesis. Cells must, therefore, be selected which possess high physiological activity in the attached state in a biofilm and which can actively drive photosynthesis with a minimal demand for protein and phosphate for cell maintenance. This research is at its very beginning, and it is not very likely that commercial applications will be ready for investment in the short term. However, recent progress in the approach of new green chemistry shows that this approach is feasible and that the potential for investing more intellectual and scientific input into this strategy seems to be very promising.

References

- Anastas, P.; Warner, J.C., 1998: Green Chemistry: Theory and Practice. New York
- Asada, K., 1999: The Water-water Cycle in Chloroplasts: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons. In: Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50 (1999), pp. 601–639
- Blache, U.; Jakob, T.; Su, W. et al., 2011: The Impact of Cell-specific Absorption Properties on the Correlation of Electron Transport Rates Measured by Chlorophyll Fluorescence and Photosynthetic Oxygen Production in Planktonic Algae. In: Plant Physiology and Biochemistry 49/8 (2011), pp. 801–808
- Brennan, L.; Owende, P., 2010: Biofuels from Microalgae – A Review of Technologies for Production, Processing, and Extractions of Biofuels and Co-products. In: Renewable Sustainable Energy Reviews 14/2 (2010), pp. 557–577
- Büchel, C.; Wilhelm, C., 1993: In-vivo Analysis of Slow Fluorescence Induction Kinetics in Algae: Progress, Problems and Perspectives. In: Journal Photochemistry and Photobiology 58/1 (1993), pp. 137–148
- Jakob, T.; Wagner, H.; Stehfest, K. et al., 2007: A complete energy balance from photons to new biomass reveals a light- and nutrient-dependent variability in the metabolic costs of carbon assimilation. In: Journal of Experimental Botany 58 (2007), pp. 2101–2113
- Kaltschmitt M.; Hartmann, H. (eds.), 2009: Energie aus Biomasse. Berlin
- Langner, U.; Jakob, T.; Stehfest, K. et al., 2009: An energy balance from absorbed photons to new biomass for *Chlamydomonas reinhardtii* and *Chlamydomonas acidophila* under neutral and extremely acidic growth conditions. In: Plant Cell and Environment 32 (2009), pp. 250–258
- Mata, T.M.; Martins, A.A.; Caetano N.S., 2010: Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications. A Review. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010), pp. 217–232
- Olaizola, M., 2003: Commercial Development of Microalgal Biotechnology: From the Test Tube to the Market Place. In: Biomolecular Engineering 20 (2003), pp. 459–466
- Schenk, P.M.; Thomas-Hall, S.R.; Stephens, E. et al., 2008: Second Generation Biofuels: High Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. In: BioEnergy Research 1 (2008), pp. 20–43
- Stephens, E.; Ross, I.L.; King, Z. et al., 2010: An Economic and Technical Evaluation of Microalgal Biofuels. In: Nature Biotechnology, 28 (2010), pp. 126–128
- Schuhmann, H.; Lim, D.K.Y.; Schenk, P.M., 2012: Perspectives on Metabolic Engineering for Increased Lipid Contents in Microalgae. In: Biofuels 3 (2012), pp. 71–86
- Schreiber, U.; Schliwa U.; Bilger W., 1986: Continuous Recording of Photochemical and Non-photochemical Chlorophyll Fluorescence Quenching with a New Type of Modulation Fluorometer. In: Photosynthesis Research 10 (1986), pp. 51–62
- Toepel, J.; Langner, U.; Wilhelm, C., 2005: The Combination of Flow Cytometry and Single Cell Absorption Spectroscopy to Study the Phytoplankton Structure and to Calculate the Chl a Specific Absorption Coefficients at the Taxon Level. In: Journal of Phycology 41 (2005), pp. 1099–1109
- Wagner, H.; Jakob, T.; Wilhelm, C., 2005: Balancing the Energy Flow from Captured Light to Biomass under Fluctuating Light Conditions. In: New Phytologist 169 (2005), pp. 95–108
- Wagner, H.; Stehfest, K.; Jakob, T. et al., 2010: The Use of FTIR Spectroscopy to Assess Quantitative Changes in the Biochemical Composition of Microalgae. In: Journal of Biophotonics 3 (2010), pp. 557–566
- Weinberg, J.; Kaltschmitt, M.; Wilhelm C., 2012: Biofuels from Microalgae – An Environmental Analysis. In: Biomass Conversion and Biorefinery (submitted)

Contact

Prof. Dr. Christian Wilhelm
Institute of Biology
University of Leipzig
Johannisallee 23, 04103 Leipzig, Germany
E-mail: cwillhelm@rz.uni-leipzig.de
Internet: <http://www.uni-leipzig.de/~pflaphys/>



On Energy Balance and Production Costs in Tubular and Flat Panel Photobioreactors

Niels-Henrik Norsker¹, Maria J. Barbosa²,
Marian H. Vermuë³, and René H. Wijffels³

Reducing mixing in both flat panel and tubular photobioreactors can result in a positive net energy balance with state-of-the-art technology and Dutch weather conditions. In the tubular photobioreactor, the net energy balance becomes positive at velocities $< 0.3 \text{ ms}^{-1}$, at which point the biomass production cost is 3.2 €/kg dry weight. In flat panel reactors, this point is at an air supply rate $< 0.25 \text{ vol vol}^{-1} \text{ min}^{-1}$, at which the biomass production cost is 2.39 €/kg dry weight. To achieve these values in flat panel reactors, cheap low pressure blowers must be used, which limits the panel height to a maximum of 0.5 m, and in tubular reactors the tubes must be hydraulically smooth. For tubular reactors, it is important to prevent the formation of wall growth in order to keep the tubes hydraulically smooth. This paper shows how current production costs and energy requirement could be decreased.

1 Introduction

Electrical power is used for mechanical mixing in both open and closed photobioreactors and is necessary

- to keep the algae suspended,
- to provide sufficient mass transfer which denotes the exchange of oxygen and carbon dioxide,
- to obtain a certain level of light integration.

Light integration means shifting the algae between dark and light zones in the light path whereby the resulting productivity increases towards that of a homogeneously illuminated culture, illuminated by the time-averaged light intensity. Full light integration implies high frequency of flashing. For the microalga *Chlamydomonas reinhardtii*, for example, full light integration implies light flashes of only millisecond duration (Vejrazka et al. 2011), which in practical photobioreactors requires a high and energetically costly level of turbulence.

Optimizing a photobioreactor in terms of cost or energy is hence a complicated process requiring functional relationships between, on the one hand, oxygen, carbon dioxide and irradiation and, on the other, productivity. Furthermore, it should be kept in mind that these processes are overlaid by daily and seasonal cycles of light and temperature. Until these functional relationships have been developed, optimization remains a trial-and-error process. Some guidance can be obtained by identifying the energy-sensitive parameters in the two cultivation systems. The energy requirements for circulation in the tubular and flat panel reactors are normally given as the specific power supply in watt per m^3 (W m^{-3}) of reactor volume and is reasonably comparable since the volumetric productivity of the two systems is rather similar.

1.1 Power Requirements for Mixing in Photobioreactors

Many recent papers have assumed that a specific power supply in the range of 2,000–3,400 W m^{-3} is characteristic of tubular photobioreactors (Siererra et al. 2008; Lehr, Posten 2009; Posten 2009; Xu et al. 2009; Jorquera et al. 2010; Morweiser et al. 2010; Brentner et al. 2011; Gilbert et al. 2011; Hulatt, Thomas 2011; Pegallapati, Nirmalakhandan 2011; Singh, Olsen 2011), but even 6,000 W m^{-3} has been assumed to be typical (Brentner et al. 2011). These figures seem to originate from a single experimental study with a small, airlift-driven helical tubular photobioreactor (Hall et al. 2003), in which a power supply of 2,000–3,400 W m^{-3} was given along with a power efficiency of 1–2 %. This power calculation is probably not correct and the value is certainly not characteristic of tubular photobioreactors in general. For example, in a tubular photobioreactor with 6 cm tubes, a velocity of 1.0 m s^{-1} corresponds to a specific power supply of 170 W m^{-3} (Acién Fernández et al. 2001), and in a recent paper on a tubular pilot reactor, the actual specific circulation power was about 300 W m^{-3} at a fluid velocity of 0.9 m s^{-1} in 9 cm (d) tubing (Acién et al. 2012/in press). Burgess and Fernandez-Velasco (2008), using standard hydraulic estimates for smooth tubes at low Reynolds numbers, obtained much lower specific power requirements for circulation. Their calculation, however, did not

account for the friction caused by flow elements in the system such as bends, T-pieces and restrictions or for that due to biofilm-induced roughness.

As the power requirement for circulation is very dependent on culture velocity, minimizing velocity will reduce power consumption. But what is the minimum velocity? The velocity is needed partly to create sufficient turbulence for light integration and partly to avoid detrimental concentrations of dissolved oxygen in the tubes (to minimize growth inhibition caused by photorespiration). This inhibitory effect of oxygen can be reduced by establishing a maximum level of dissolved oxygen permitted in the medium. At subsaturating light intensities, *Neochloris oleoabundans*, for example, had nearly the same growth rate at dissolved oxygen saturation and at three times the saturation level, but at four times the saturation level the growth rates were reduced, although it was possible to reverse the reduction by operating at a high CO₂ partial pressure (Sousa et al. 2012). A velocity of 0.5 m s⁻¹ was sufficient to keep the oxygen level under 300 % saturation during a passage through a 100 m tube under high irradiation conditions (Acien Fernández et al. 2001). A velocity of 0.5 m s⁻¹ with *Neochloris* would thus be a safe, no-oxygen-effect velocity in that system, but the cost-optimized velocity is probably much lower.

With regard to flat panel reactors or bubble columns, the necessary specific aeration power supply can be calculated as the product of the superficial gas velocity, the gravity acceleration and the liquid density (Sierra et al. 2008). While the preferred value of 53 W m⁻³ emerging from that study has been cited frequently as typical for flat panel reactors, this value does not take the pressure drop over sparger holes or the energy efficiency in the production of compressed air into account and is therefore not a useful indication.

The superficial gas velocity is the most rational basis for discussing mixing in flat panels but the aeration rate is more relevant in relation to compressor economy (superficial gas velocity is equal to the aeration rate divided by the aerated cross-sectional area of the reactor). Very large differences in the aeration rate are employed in different reactor studies. For small flat plate reactors, an aeration rate of 1 liter of air per liter reactor volume per minute is commonly used (Sierra et al.

2008). Whereas this value may be unnecessarily large for mass transfer purposes alone, high aeration rates normally enhance growth. For example, in Zhang et al. (2002), for a 55 cm tall flat panel reactor gassed with 10 % CO₂, an aeration rate of 0.05 vol vol⁻¹ min⁻¹ was defined as optimum, although growth increased with aeration rates up to 1 vol vol⁻¹ min⁻¹. References can also be found to the beneficial effect of applying much larger aeration rates, for example 1-6 vol vol⁻¹ min⁻¹ with high productivity *Spirulina* culture (Qiang, Richmond 1996). For economic modelling purposes, we have been using an aeration rate of 1 vol vol⁻¹ min⁻¹ as a base level and consider that reductions down to 0.05 vol vol⁻¹ min⁻¹ may be optimal in some cases for energy consumption reasons. The energy efficiency of photobioreactors cannot be viewed sensibly without also considering the cost of the mixing. It is important to note that the cost of mixing is composed of power consumption and depreciation of equipment and that the selection of technology (instrumentation) and mixing requirements (process design) can change the magnitude and proportions of the two components considerably.

1.2 Mixing Costs in Photobioreactors

The mixing costs for flat panel reactors consist of the value of the depreciation and cost of the energy consumption of the blowers or compressors delivering the compressed air for sparging, the pressure of which has a dramatic effect on these factors. Roots-type and screw-type blowers produce compressed air at a high energy efficiency over a wide pressure range but are high precision mechanical instruments and very costly. The very commonly used side channel blowers are cheap but energy efficient only at low pressures. Radial blowers (the equivalent of a centrifugal liquid pump) are cheap and energy efficient, generally up to higher pressure levels, but this is strongly influenced by *scale*: large scale radial blowers can be both cheap and energy efficient at higher pressures but also pose an engineering challenge even at a large algal cultivation installation.

The mixing costs for tubular reactors are entirely dominated by the circulation pump costs, which are the sum of the depreciation of the circulation pump and the costs of the pump's energy

consumption. It is possible to get widely varying results depending on the process layout and instrumentation, the type of circulation pump being very important to the circulation economy. Large-turbine wheel centrifugal pumps can be very energy efficient but are costly, while small-turbine wheel centrifugal pumps are cheap but less energy efficient and dissipate the energy deficit as shear stress. Airlift pumps have frequently been preferred to avoid possible shear stress damage, but it is necessary to operate them at a large immersion depth to generate the necessary head to circulate the culture. This excludes the use of cheap and energy-efficient, low-pressure blowers. In order to realize the promises of producing cost-efficient microalgal feedstock for biofuel production, it is essential not to spend more energy on agitation than absolutely necessary.

In 2011, we published a desk study on the cost of producing microalgal biomass with a base case at a north European site (Netherlands), comparing three different cultivation methodologies (open ponds, one-layer tubular photobioreactors, and closely spaced flat panel photobioreactors) at a 100 ha scale (Norsker et al. 2011). The current cost of producing 1 kg of biomass dry weight (DW) was calculated to be 4.95, 4.15 and 5.96 € respectively. These base case results were obtained for a velocity in the tubular reactor of 0.5 m s^{-1} and an aeration rate of $1 \text{ vol vol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ for the flat panel reactor. In the tubular reactor, mixing cost constituted 1.27 €/kg DW or 30 % of the total biomass production costs. The cost of the air sparging in flat panel photobioreactor systems was even larger, namely 3.04 € per kg DW or 52 % of the biomass production costs. So there is good reason for looking further into the details of these processes and examining if more economical process layouts can be obtained. We therefore believe that a study of energy optimization of closed photobioreactors in the context of classical hydraulics would be useful.

2 Economic Model

A techno-economic model was established for producing microalgae under Dutch conditions using open ponds, tubular photobioreactors or flat panel reactors as described in Norsker et al.

(2011), and we refer to that paper and the accompanying information for all the details about the calculations. Here, we can briefly state that the microalgal productivity is calculated on the basis of assumptions about reactor-specific typical photosynthetic efficiency (justified in the accompanying information) of ponds, tubular and flat plate photobioreactors. Applying the average monthly irradiation values to different sites then will result in typical biomass productivities for algae with a given caloric value. The individual contributions to the cost of the algal production can then be expressed as the cost per kg algal biomass produced. Here, we perform the calculation with modified input data on mixing costs.

For tubular reactors, a significant amount of energy is required to circulate the culture in the tubes. This energy consumption is necessary to perform the equivalent of mixing in the flat panel reactors and to recycle the culture between the degasser and the solar collector. The energy consumption is usually indicated as the specific power supply, that is the power (in watt) per m^3 solar collector. The specific power supply for circulation depends strongly on the culture velocity and the pump efficiency, which are important process design factors.

Calculating the power needed for circulating the culture in a circuit (a path from degasser tank through manifold and tube and back again) is done by calculating the power associated with tube wall friction and other power absorbing elements in the circuit separately. The power was calculated using the Darcy-Weisbach equation and estimating the friction factor with the Moody approximation to the Blasius equation, setting the sand-equivalent biofilm roughness to either 0 or 1.5 mm and using an overall (pump + motor) energy efficiency of 0.5.

In the economic model for the tubular plant, we operated with variably sized reactor units, each provided with one circulation pump with a flow of $1,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. In the present case, 100–300 tubes in each direction per pump were necessary. Larger pumps can be found, but units larger than 300 tubes are not practical. The cost of each pump was 29,000 €. The effect of varying the velocity with tubular reactors and varying the air supply rate with the flat panel reactors does not imply

any functional relationship between velocity/air supply and the productivity of the systems but is merely an analysis of the cost effect of these parameters.

For the flat panel reactors, the panel height was lower (0.5 m) than in the previous layout and the distance between reactors was shorter, while the volume of the reactors was kept approximately constant. The height of the panels was set to 0.5 m as that would be the largest possible height with a total pressure drop over the panels of 100 mbar. The purpose of this choice will become obvious later.

In flat panel photobioreactors, compressed air is used for mixing and mass transfer directly in the reactor and constitutes a significant part of the energy consumption. The power supply for sparging depends strongly on the discharge pressure of the compressor, and efficiency as function of the discharge pressure varies strongly between the different types of compressors, so the pressure of the gas used for sparging is an important design factor. It is the sum of the pressure drop over the sparger system and the static height of the reactor. To evaluate the compressor efficiency, it is reasonable to compare it with the energy requirements for isothermal compression, as the compressed air is cooled before injection and the energy represented by compression heat is inevitably lost. For the three actual compressor types for which we managed to acquire data, the total power consumption per volume compressed air delivered was depicted against the discharge pressure, but expressed at standard conditions (1 bar, 20°C) and compared with the power for isothermal compression.

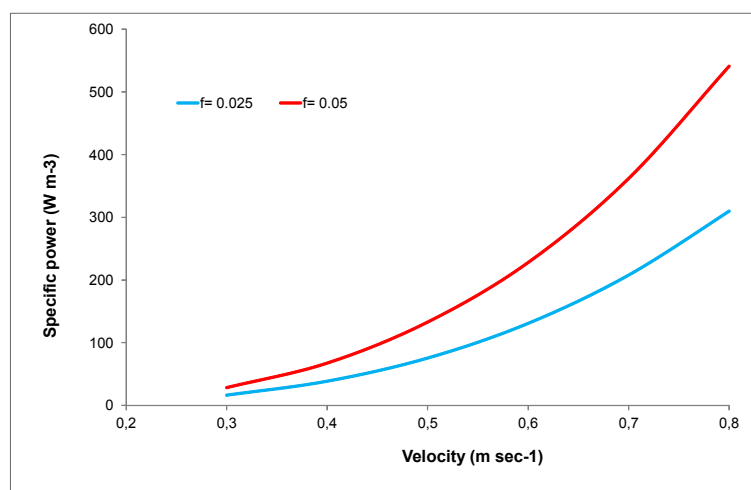
The data were fitted with various regression formula. The efficiency at a given pressure was directly calculated by dividing the power supply for isothermal compression with the actual requirements of the different compressors.

3 Results

3.1 Tubular Photobioreactors

To minimize the mixing costs for tubular photobioreactors, we examined the effect of flow resistance in the tubes as a function of tube wall friction. Figure 1 shows the specific power needed to circulate the algal culture in the tubular photobioreactor plant manifold constructions. Tubes 6 cm in diameter and 100 m long were used. The specific power was calculated using two different friction factors (0.025 for smooth tubes and 0.05 for tubes with an assumed sand-equivalent roughness of 1.5 mm). The sand-equivalent roughness of 1.5 mm is chosen rather arbitrarily, and there is no information available on the hydraulic resistance from biofilm in microalgal bioreactors. Barton et al. (2008), however, estimated that the biofilm sand-equivalent roughness would build up to 2.17 mm before cleaning in a number of sewers. Yet it is hard to say to what extent this can be seen as a parallel to the situation in a tubular photobioreactor. In comparison, the sand-equivalent roughness of 1.5 mm is probably a worst case scenario for tubular photobioreactors. The pump power efficiency was chosen as 0.5; with large-turbine wheel pumps, this is probably at the low side.

Fig. 1: Specific circulation power depicted against tube flow velocity in a tubular reactor



Source: Own compilation

At a velocity of 0.5 m s^{-1} , the resulting specific power is 76 W m^{-3} in smooth tubes and 133 W m^{-3} in rough ones.

The net energy balance (the amount of energy produced minus the amount of energy used) per kg DW produced is indicated in table 1 for a velocity of 0.5 m s^{-1} . At 0.5 m s^{-1} , the circulation pump uses about the same energy as the algae produce.

Table 1: Net energy balance in tubular photobioreactor systems at a velocity of 0.5 m s^{-1}

Energy used	MJ kg DW ⁻¹ algal biomass
Pumps	0.75
Centrifuge	3.01
Circulation pump	27.20
Air blower (degasser)	4.40
LDPE 1Y (low density polyethylene film)	9.96
Energy produced	26.20
Net balance	-19.12

Source: Own compilation

The effect of velocity on the net energy balance is shown in figure 2. If the productivity of the culture is maintained at a velocity of about 0.35 m s^{-1} , the energy balance will be positive. Reducing the velocity carries the risk that there will be an increased concentration of dissolved oxygen at the outlet of the loop and that reduced turbulence may reduce the productivity or the desired product formation at a high level of irradiation as a result of the mechanisms mentioned in the introduction, but virtually no empirical information exists to evaluate this effect. It should be kept in mind that the concentration of dissolved oxygen in the tubes is highly dynamic. At constant irradiation, it increases linearly over the length of the tubes, and the irradiation is furthermore highly dynamic. In all circumstances, therefore, velocity control would be an important tool for reducing power consumption in tubular reactors.

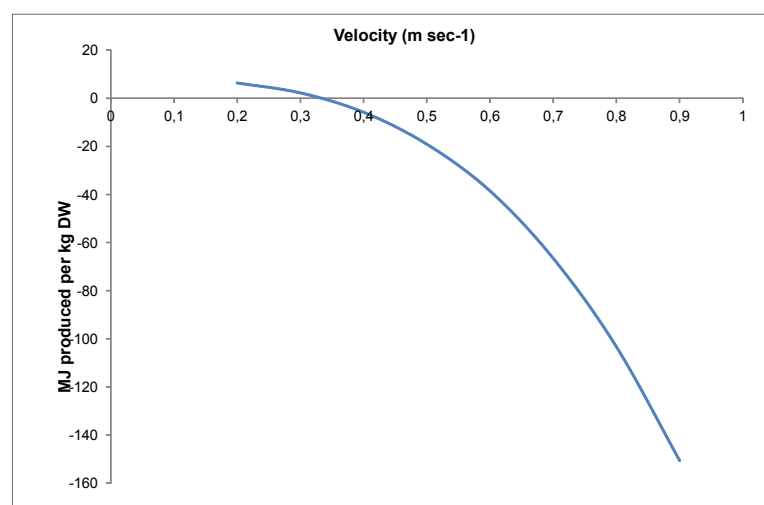
The power supply data were entered in the economic model; the electricity rate used was 5 €ct per kWh. The number and cost of each pump was selected by varying the number of tubes connected to each pump so that the flow provided by each pump was roughly the same – $1,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. At 0.5 m s^{-1} , the cost of producing biomass at $f = 0.025$ is 3.97 €/kg^{-1} and at $f = 0.05$ is 4.26 €/kg^{-1} . At higher velocities, the effect of the friction becomes more pronounced.

3.2 Flat Panel Reactors

To minimize mixing costs for flat panel reactors, supplier data for power consumption at varying back pressures and flows for three relevant blower types were compared with isothermal compression. The isothermal compression may be considered a theoretical zero-energy loss reference for the blowers as it would imply the compression heat is removed by cooling and not considered conserved in the system.

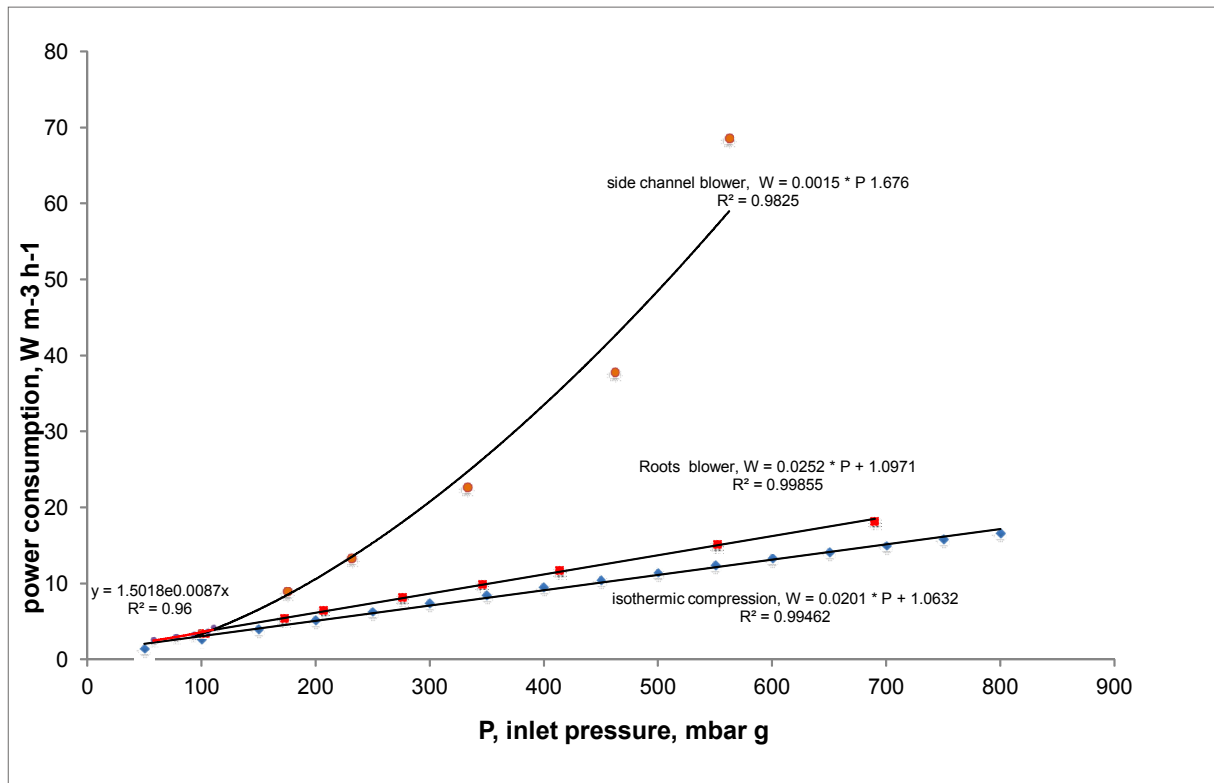
The energy used by a Roots blower (Omega Industries, model 1012), a side channel blower (Elmo-Rietzle, model 2GH1620) and a radial blower (Elektorr, model CFXH 280 B) were also compared. The capacities of these blowers are roughly in the same range (about $10,000 \text{ m}^3/\text{h}$

Fig. 2: Effect of culture velocity on net energy balance in a tubular photobioreactor



Source: Own compilation

Fig. 3: Power supply of different blowers: a Roots blower, a side channel blower, and a radial blower*



* These three blowers have a similar capacity. The performance is expressed in terms of kW per m³ per h and depicted against discharge pressure. The same representation of the power input for an isothermal compression is included, represented by the black line, allowing a direct evaluation of the performance of the blowers.

Source: Own compilation

at 100 mbar). They were chosen as suitable to supply the rather large aeration rates of the flat panel reactors. Each blower thus meets the requirements of flat panel reactors occupying a horizontal area of 3,000 m². Conventional piston compressors are considerably less energy efficient and were a priori not considered.

The power supply per m³ h⁻¹ flow for the three blowers and for isothermal compression is given in figure 3 along with regression lines fitted to the data. The Roots blower data were well approximated by a linear regression, and when comparing with the isothermal compression data, the efficiency over the range from 100 to 800 mbar varied from 79.4 to 84.6 %. The side channel blower efficiency drops from 80.2 % at 100 mbar to 20 % at 600 mbar. Although no data were available below 100 mbar, it is evident from figure 3 that if the pressure is below 100 mbar the side channel blower is as efficient as the

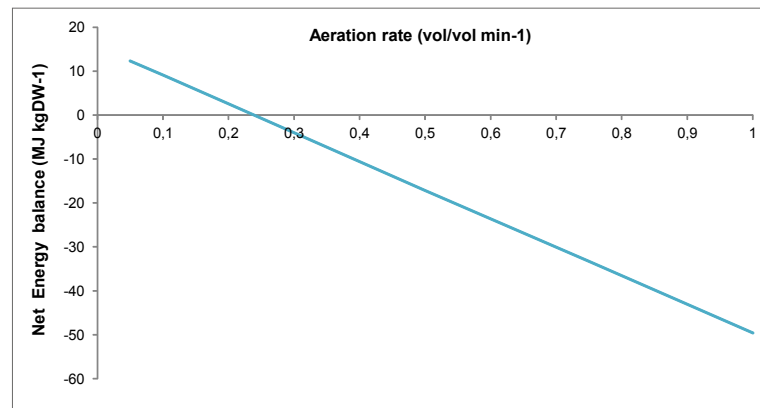
Roots blower. The last type, the radial blower, has a power efficiency of 82 % at 100 mbar, but its pressure range does not exceed 100 mbar.

The blowers were dimensioned to be sufficient for a ground area of 3,000 m². If, however, it were possible to operate with blowers covering a larger area, it would be possible to obtain a pressure higher than 100 mbar while maintaining high efficiency and low cost.

The characteristics for the different blower types were incorporated in the economic model, and the resulting total cost per kg algal biomass produced at an air supply rate of 1 and 0.05 vol vol⁻¹ min⁻¹ is indicated in table 2. Using a radial blower that is four times larger (CFHX 710) only resulted in marginal savings. The conclusion from table 2 is that if the back pressure from the flat panel reactors is kept below 100 mbar, either radial or side channel blowers can be used with the same result on the economics of production.

The Roots blower, however, is significantly more expensive due to the high depreciation. Reducing the aeration rate to the low value of $0.05 \text{ vol vol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ as suggested in a number of recent papers has a significant effect on the economics of production, resulting in biomass production costs of about 2.2 €/kg^{-1} (table 2). The net energy balance is positive at an aeration rate $< 0.25 \text{ vol vol}^{-1} \text{ min}^{-1}$, at which point the biomass production cost is 2.4 € .

Fig. 4: Net energy balance for biomass produced in flat panel reactors (energy produced – energy spent) for Electror CFHX 280B as function of aeration rate at a Dutch site



Source: Own compilation

Table 2: Calculated cost of algal biomass cultivation as influenced by type of blower*

<i>Microalgae cultivation cost</i>		
<i>€/kg DW⁻¹ algal biomass</i>		
<i>Air supply rate</i>	<i>1 vol vol⁻¹ min⁻¹</i>	<i>0.05 vol vol⁻¹ min⁻¹</i>
<i>Type of blower</i>		
Roots	4.32	2.27
Radial blower, CFHX 280	3.02	2.21
Radial blower, CFHX 710	2.99	2.18
Side channel blower	3.13	2.21

* All blowers operating at full capacity at 100 mbar. Air flow rate was 1 volume of air per volume reactor per min.

Source: The costs for the Roots blower was estimated based on DACE 2002

Figure 4 demonstrates that a positive energy balance can be obtained for a flat panel reactor if the aeration rate in a low profile flat panel reactor is limited to $0.25 \text{ vol vol}^{-1} \text{ min}^{-1}$ and the productivity of the reactor is maintained.

4 Discussion

In the literature, the value given for the required circulation power of tubular reactors is up to $3,400 \text{ W m}^{-3}$, but this high energy demand appears to be

based on a misunderstanding of work done on small airlift-driven helical tubular photobioreactors. The calculations in this paper show that given a suitable design for tubular photobioreactors with smooth tubes, it should be possible to reduce the specific energy demand for microalgae cultivation to 75 W m^{-3} tube volume. Nevertheless, maintaining circulation is still the dominant cost factor in tubular reactors, so it is important to minimize the velocity in tubular reactors. Positive energy balances can result just from reducing the energy spent on mixing in tubular reactors (but also in flat panel reactors). In our calculations, a rather high cost is employed for the pumps, corresponding to the cost associated with slowly turning centrifugal pumps with large impellers which have been selected to avoid shear stress damage, but the worry about shear stress damage of the microalgae in centrifugal pumps is probably out of proportion, and more research into shear stress damage of commercially applicable microalgae is needed. If larger pumps were utilized, pumping costs would also be reduced, but using large pumps also increases the size of each bioreactor unit, which makes contamination more troublesome. In the present case, it was necessary to use 100–300 tubes in each direction connected to a single pump in order to use a $1,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ pump. Larger units are not practical. Reducing the flow velocity to the minimum would require looking carefully into the maximum permissible level of dissolved oxygen,

which is an area of microalgal biotechnology that has been investigated very little. The biomass production costs could be reduced below 2 € per kg biomass by reducing the velocity to 0.3 m s^{-1} and sourcing a circulation pump for $1,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ at a head of 0.2 m s^{-1} . Further reductions will involve separation technology, operating at more sunny sites, optimizing reactor photosynthetic efficiency, and reducing costs for nutrients and CO_2 supply.

In a recent tubular pilot reactor study, the actual specific circulation energy was about 300 W m^{-3} , but a fluid velocity of 0.9 m s^{-1} was used in 9 cm (d) tubing (Acién et al. 2012/in press).

An average photosynthetic efficiency (solar) of 3.6 % was reported with an equivalent productivity of $90 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. The actual production costs in the 428 m^2 pilot plant were 69.2 € kg^{-1} . A scale up study of the technology was calculated to result in biomass production costs of 12.6 € kg^{-1} , and the authors concluded that a further reduction could be achieved by simplifying technology and materials and by reducing power consumption, man power and raw materials.

It thus seems that “simple” engineering is the way to achieve significant cost reductions with the tubular system since the photosynthetic efficiency is probably as good as it gets under a natural day cycle. But it should be emphasized that the necessary biological knowledge to do so is still lacking.

If, in a flat panel reactor, the pressure drop over the panels is maximum 100 mbar, it is possible to obtain an aeration solution that is economic in both depreciation and power consumption. More than 80 % energy efficiency is readily obtainable with radial and side channel blowers.

Direct displacement pumps such as the Roots blowers can produce compressed air very efficiently at higher pressures but are costly and result in high production costs. One possible solution to high profile panels are very large units – with radial blowers – but the channelling and lack of isolation is a serious drawback of this option. If a flat panel reactor has no more than 100 mbar of available sparging pressure, the maximum panel height is probably no more than 50 cm to allow for pressure drop over sparger holes and in tubing. This raises the problem of air filtration, which probably very few microalgal biotechnologists are prepared to sacrifice. So what is the solution to this

problem? One answer is recirculation of part of the sparger gas, so only a minor part of the sparger gas has to be pressed through filters. Obviously, oxygen levels will rise in the recirculated gas, raising again the question of the maximum amount of dissolved oxygen permitted in photobioreactors.

5 Conclusion

The energy costs for mixing have a strong influence on the economics of microalgal biomass production in photobioreactors, but simple hydrodynamic engineering combined with knowledge of the effect of dynamic oxygen and irradiation conditions on microalgal productivity can potentially turn microalgal photobioreactors into net producers of energy. For tubular photobioreactors, this may be accomplished by keeping tube wall friction and circulation velocity at a minimum, and for flat panel reactors, by minimizing the aeration rate and using highly energy-efficient blowers. This, in turn, requires that either a low panel profile or very large reactor units be employed, served by single large blowers.

Notes

- 1) Niels-Henrik Norsker is associated with the bio-engineering Grupu at Wageningen University. His current contact is bioTOPIC, Kildegårdsvej 75, 2900 Hellerup, Denmark
- 2) Food and Biobased Research, Bornse Weiland 9, 6708 WG, Wageningen, The Netherlands
- 3) Bioprocess Engineering, Wageningen University, P.O. Box 8129, 6700 EV Wageningen, The Netherlands

References

- Acién Fernández, F.G.; Fernández Sevilla, J.M.; Sánchez Pérez, J.A. et al., 2001: Airlift-driven External-loop Tubular Photobioreactors for Outdoor Production of Microalgae: Assessment of Design and Performance. In: Chemical Engineering Science 56/8 (2001), pp. 2721–2732
- Acién, F.G.; Fernández, J.M.; Magán, J.J. et al., 2012/in press: Production Cost of a Real Microalgae Production Plant and Strategies to Reduce it. In: Biotechnology Advances

- Alias, C.B.; Lopez, M.C.G.-M.; Fernandez, F.G.A. et al.*, 2004: Influence of Power Supply in the Feasibility of *Phaeodactylum tricornutum* Cultures. In: *Biotechnology and Bioengineering* 87/6 (2004), pp. 723–733
- Barton, A.F.; Wallis, M.R.; Sargison, J.E. et al.*, 2008: Hydraulic Roughness of Biofouled pipes, Biofilm Character, and Measured Improvements from Cleaning. In: *Journal of Hydraulic Engineering* 134/6 (2008), pp. 852–857
- Brentner, L.B.; Eckelman, M.J.; Zimmerman, J.B.*, 2011: Combinatorial Life Cycle Assessment to Inform Process Design of Industrial Production of Algal Biodiesel. In: *Environmental Science & Technology* 45/16 (2011), pp. 7060–7067
- Burgess, G.; Fernandez-Velasco, J.G.*, 2008: Materials, Operational Energy Inputs, and Net Energy Ratio for Photobiological Hydrogen Production. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 32/9 (2008), pp. 1225–1234
- DACE – Dutch Association of Cost Engineers*, 2002: *Prijzenboekje*. Leidschendam
- Gilbert, J.J.; Ray, S.; Das, D.*, 2011: Hydrogen Production Using *Rhodobacter Sphaeroides* (O.U. 001) in a Flat Panel Rocking Photobioreactor. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 36/5 (2011), pp. 3434–3441
- Hall, D.O.; Fernandez, G.A.; Canizares Guerrero, E. et al.*, 2003: Outdoor Helical Tubular Photobioreactors for Microalgal Production: Modeling of Fluid dynamics and Mass Transfer and Assessment of Biomass Productivity. In: *Biotechnology and Bioengineering* 82/1 (2003), pp. 62–73
- Hulatt, C.J.; Thomas, D.N.*, 2011: Energy Efficiency of an Outdoor Microalgal Photobioreactor Sited at Mid-temperate Latitude. In: *Bioresource Technology* 102/12 (2011), pp. 6687–6695
- Jorquera, O.; Kiperstok, A.; Sales, E.A. et al.*, 2010: Comparative Energy Life-cycle Analyses of Microalgal Biomass Production in Open Ponds and Photobioreactors. In: *Bioresource Technology* 101/4 (2010), pp. 1406–1413
- Lehr, F.; Posten, C.*, 2009: Closed Photo-bioreactors as Tools for Biofuel Production. In: *Current Opinion in Biotechnology* 20/3 (2009), pp. 280–285
- Morweiser, M.; Kruse, O.; Hankamer, B. et al.*, 2010: Developments and Perspectives of Photobioreactors for Biofuel Production. In: *Applied Microbiology and Biotechnology* 87/4 (2010), pp. 1291–1301
- Norsker, N.-H.; Barbosa, M.J.; Vermuë, M.H. et al.*, 2011: Microalgal Production – A close Look at the Economics. In: *Biotechnology Advances* 29 (2011), pp. 24–27
- Pegallapati, A.; Nirmalakhandan, N.*, 2011: Energetic Evaluation of an Internally Illuminated Photobioreactor for Algal Cultivation. In: *Biotechnology Letters* 33/11 (2011), pp. 2161–2167
- Posten, C.*, 2009: Design Principles of Photobioreactors for Cultivation of Microalgae. In: *Engineering in Life Sciences* 9/3 (2009), pp. 165–177
- Qiang, H.; Richmond, A.*, 1996: Productivity and Photosynthetic Efficiency of *Spirulina Platensis* as Affected by Light Intensity, Algal Density and Rate of Mixing in a Flat Plate Photobioreactor. In: *Journal of Applied Phycology* 8/2 (1996), pp. 139–145
- Sierra, E.; Acien, F.G.; Fernández, J.M. et al.*, 2008: Characterization of a Flat Plate Photobioreactor for the Production of Microalgae. In: *Chemical Engineering Journal* 138/1–3 (2008), pp. 136–147
- Singh, A.; Olsen, S.I.*, 2011: A Critical Review of Biochemical Conversion, Sustainability and Life Cycle Assessment of Algal Biofuels. In: *Applied Energy* 88/10 (2011), pp. 3548–3555
- Sousa, C.; de Winter, L.; Janssen, M. et al.*, 2012: Growth of the Microalgae *Neochloris Oleoabundans* at High Partial Oxygen Pressures and Subsaturating Light Intensity. In: *Bioresource Technology* 104 (2012), pp. 565–570
- Vejraska, C.; Janssen, M.; Streefland, M. et al.*, 2011: Photosynthetic Efficiency of *Chlamydomonas Reinhardtii* in Flashing Light. In: *Biotechnology and bioengineering* 108/12 (2011), pp. 2905–2913
- Xu, L.; Weathers, P.J.; Xiong, X.-R. et al.*, 2009: Microalgal Bioreactors: Challenges and Opportunities. In: *Engineering in Life Sciences* 9/3 (2009), pp. 178–189
- Zhang, K.; Kurano, N.; Miyachi, S.*, 2002: Optimized Aeration by Carbon Dioxide Gas for Microalgal Production and Mass Transfer Characterization in a Vertical Flat-plate Photobioreactor. In: *Bioprocess and Biosystems Engineering* 25/2 (2002), pp. 97–101

Contact

Niels-Henrik Norsker
 bioTOPIC
 Kildegårdsvej 75, 2900 Hellerup, Denmark
 E-mail: niels-henrik-norsker@wur.nl

« »

Indicators for Assessing the Sustainability of Microalgae Production

by Christine Rösch, ITAS, and Daniel Maga, Fraunhofer UMSICHT

Sustainability studies on microalgae focus on high energy demand in the production process, which frequently leads to a negative energy balance. In doing so, other sustainability aspects, such as land use, carbon, nutrient and water demand, and socio-economic features such as the creation of new jobs and acceptance are neglected. By employing an integrative concept of sustainability, a systematic and holistic evaluation of sustainability is feasible and conflicts between sustainability targets can be discovered. In this article, an appropriate set of sustainability criteria and indicators for microalgae production is presented and preliminary clues are drawn regarding sustainability challenges and conflicts which should be taken into consideration in the further development of technology.¹

1 Introduction

Great expectations are placed in microalgae that they can overcome the drawbacks that afflicted the production of first- and second-generation biofuels. This has led them to be called the source of third-generation biofuels. There are good reasons for this. Microalgae cultivation does not require arable land and thus does not trigger land use competition with food crops or deforestation for the creation of more farmland, making climate change worse. Microalgae can convert up to 5 % of the sunlight energy to biomass (Schenk et al. 2008), which means that land use efficiency is higher than with traditional crops, whose photosynthesis efficiency only ranges between 0.5 and 1 %. However, today's technologies are far from reaching these theoretical yields under real conditions. Life cycle assessment studies have shown that microalgae production employing the current technologies is extremely energy intensive, making it difficult to achieve a positive energy balance (Lardon et al. 2009; Jorquera et al. 2010; Sander, Murthy 2010;

Stephenson et al. 2010; Collet et al. 2011). This is mainly due to the energy demand for mixing, harvesting, dewatering, extracting, and refining the final product. Conceptual and technological advances in reactor design and operation can result in a positive net energy and greenhouse gas balance (see Niels-Henrik Norsker and colleagues in this issue). Further environmental or social aspects are rarely part of technology development and are still considered as an "after-thought" once the technical and economic components of the technology and process design have been completed (Azapagic et al. 2006). A holistic and integrative sustainability approach is still required for the successful implementation of large-scale microalgae technology. This paper presents criteria and indicators for assessing the sustainability of microalgae products and provides preliminary clues to the sustainability challenges and conflicts along the process chain.

2 Methodological Approach

Translating the theoretical principles of sustainable development into a set of criteria and indicators for assessing algae-based products is by no means a trivial task because there is no standardized methodology for doing so. The primary challenges of grounding the theoretical framework of sustainability are

- identifying the relevant sustainability criteria and indicators,
- handling all principles of sustainability equally,
- applying an increased number of decision criteria, and
- comparison and trade-off of disparate criteria.

In this paper, the integrative concept of sustainable development (Kopfmüller et al. 2001) is taken as normative framework for identifying the sustainability criteria appropriate for microalgae production. This concept has not been specifically developed as an instrument for designing and evaluating technology but refers to the development of society as a whole in the global perspective (Grunwald, Rösch 2011). Nevertheless, it can be applied to develop criteria for assessing the sustainability of microalgae technologies. The concept is based on the three general principles of sustainable de-

velopment being the conditions required for sustainability:

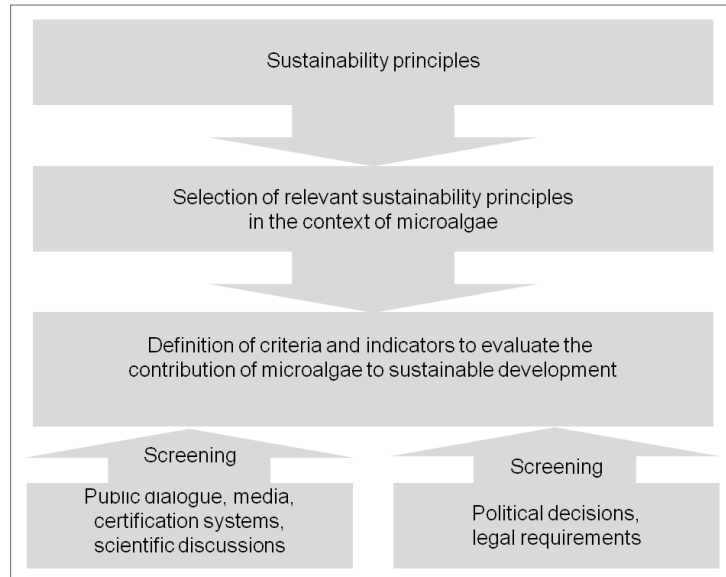
- securing human existence,
- maintaining society's productive potential, and
- preserving society's options for development and action.

The sustainability principles of the concept are listed in table 1. They refer to aspects of human behavior where technology is just one aspect among others and cannot therefore all be used directly for assessing the sustainability of technologies. Causal and potential relationships have to be revealed to find out which principles are relevant to microalgae technology.

An analysis of coherence can be accomplished by reviewing libraries and web servers for relevant information in the literature, research articles, press releases, blogs, political acts and laws, certification standards, etc. Scientists involved in technology development and application should not be the only ones to conduct this task. On the contrary, opinions from society – i.e. the opinions of citizens, businessmen, representatives of ecological

and social organisations, public authorities and politicians – have to be taken into consideration. This can be done by screening and analysing the public and political discussions on microalgae, such as the debate on the sustainability certification schemes for biofuels as proposed by the Renewable Energy Directive 2009/28/EC of the

Fig. 1: Selection of sustainability criteria and indicators for microalgae technology



Source: Own compilation

Table 1: Principles of sustainable development

Main principles	Principles
Securing human existence	Protection of human health
	Securing the satisfaction of basic needs
	Autonomous self-support
	Just distribution of chances for using natural resources
	Reduction of extreme income and wealth inequalities
Maintaining societal production potential	Sustainable use of renewable resources
	Sustainable use of non-renewable resources
	Sustainable use of the environment as a sink
	Avoiding technical risks with potentially catastrophic impacts
	Sustainable development of physical, human and knowledge capital
Preserving potential for societal development and action	Equal access for all members of society to education and occupation
	Participation in social decision-making processes
	Preservation of the cultural heritage and diversity
	Preservation of nature's cultural functions
	Conservation of social resources (tolerance, solidarity, etc.)

Source: Kopfmüller et al. 2001, p. 172

European Union, the Global Bioenergy Partnership (GBEP) or the Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB) (Scarlat, Dallemand 2011). The methodological approach for selecting the relevant sustainability criteria and indicators is illustrated in figure 1.

The identification of criteria for ecological sustainability seems to be rather easy because a number of acknowledged criteria and indicators already exist, such as the energy, carbon, land and water footprints. The selection of one or a few indicators to reflect the criteria is, however, a tricky task. In social science, no consensus has yet emerged on the adequate criteria for social sustainability. The focus has been on personal assets such as consumption, income and employment as well as on institutional issues such as democracy, participation and gender equity. Due respect has to be paid to the importance attributed by various stakeholders to indicators of social sustainability and to the trade-off between social, environmental and economic indicators. The selected indicators have to be functional, robust and directionally safe. The derived indicators are different in quality and are specific to microalgae. They are rarely applicable to the macro-level of societies' social sustainability.

3 Results

It is not surprising that the relevance of each of the sustainability principles listed in table 1 is quite different for the assessment of microalgae technologies. The significance of some of these principles to microalgae technology is very strong while that of others is weak or there is no direct correlation at all. There is a strong correlation for the principles of securing human existence and maintaining the societal production potential.

In contrast, the principles referring to societal development (see table 1) are less relevant because they refer primarily to a societal task and are related to societal organization, where technology only plays a minor role. In the following, we will briefly describe the sustainability principles that we consider relevant for assessing the sustainability of microalgae technology.

3.1 Microalgae and Human Existence

Microalgae technology can contribute to securing human existence because it can meet basic needs and contribute to human health and autonomous self-support (see table 2). Positive effects on human health can be achieved by substituting microalgae-based products for fossil fuel-based ones. No energy balance has yet been reached and the process could have a negative impact, e.g. by the demand for fossil fuels for microalgae production, as well as the use of toxic substances for reactor cleaning and the extraction of lipids or high-value substances from the cells (Halim et al. 2012). The risk to human health from microalgae is less than that from the land-based production of biomass because the closed production of the former allows for the controlled use, recycling and disposal of chemicals. Ecosystem services such as the recycling of carbon dioxide (Pires et al. 2012) and the nutrient removal from and phytoremediation of waste water provided

Table 2: Sustainability indicators for assessing microalgae technology – Part I

<i>Principle</i>	<i>Criterion</i>	<i>Indicator</i>
Protection of human health	Use of dangerous chemicals	Type and amount of chemicals used
	Change in life expectancy	Disability adjusted life-years
Securing the satisfaction of basic needs	Supply of food supplement	Decrease in malnutrition
	Supply of feed for aquaculture	Substitution for aquafeed from capture fisheries
	Supply of feed for terrestrial animals	Substitution for imported feed protein
	Supply of renewable energy	Contribution to renewable energy supply
Autonomous self-support	Creation of new jobs	Employment along the supply chain

Source: Own compilation

by microalgae can have a positive influence on human health (Rawat et al. 2011).

Microalgae can contribute to satisfying the need for food and energy in several ways. They are a commercial dietary supplement for humans in industrialized countries and a nutrient complement to combat the malnutrition in developing countries that a large part of the world population is still suffering from (see Christophe Hug et al. in this issue). They can also add to the food supply by providing feed supplements for aquaculture and feedstock (see Robin J. Shields et al. in this issue). The perspectives for using algal proteins in animal feed production are promising since protein is quite often the limiting ingredient in the large and growing market for animal feed. Microalgae can also help to meet the demand for renewable energy in manifold ways due to their ability to produce different energy carriers, such as biofuels, methane or hydrogen for transportation, assuming that a significant net energy yield can be achieved. The demand for food, feed and energy can be satisfied simultaneously in microalgal biorefineries (Mussgnug et al. 2010).

The criteria of socio-economic sustainability selected to illustrate autonomous self-support are employment and income (see table 2). In industrialized countries, employment depends mainly on the implementation of innovative high-level technologies. Many of the business models used in the algae industry, specifically those developed in Germany, are based on high technology and are supposed to create new “green collar” jobs providing employment for different specialists, such as scientists, engineers, and technicians, along the supply chain starting from research and development to manufacturing, operation, marketing, and sustainability monitoring. The algae industry can support local employment because the plants are designed for decentralized production, preferably based on the use of local nutrient streams. The premise behind the idea that the algae industry can create new jobs is the development of new markets for high-value products or a distinct reduction in production costs so that algal products can compete with and replace conventional products.

3.2 Microalgae and the Societal Production Potential

Microalgae can contribute to the sustainable use of renewable or non-renewable resources and of the environment as a sink. They thus have a strong relationship with the sustainability principles referring to the preservation of the societal production potential (see table 1). As already mentioned, microalgae can contribute to the supply of food, feed and energy, but techno-economic challenges need to be overcome to exploit this potential. Technological development in cultivation and downstream processing will lower the overall energy demand, yet achieving net energy production remains a challenge (Morweiser et al. 2010). Providing that this can be achieved, algal products can contribute to extending the availability of fossil fuel resources by replacing some uses of non-renewable resources and contributing to a reliable decentralized supply of energy. The amount that algal biofuels can contribute to the final energy consumption in the global transport sector is estimated to be significant (Harmelen, Oonk 2006; Skarka et al. 2011).

The resource phosphate is essential to all known forms of life. It is a limited resource that cannot be replaced. Around 70 % of global phosphate production is currently produced from phosphate rock reserves, which will peak at the current rate of consumption in 30 to 50 years and will be depleted within 100 years (Copper et al. 2011). The future supply of phosphorus will be increasingly insecure and reliant on a handful of countries unless additional sources can be accessed or phosphorus recycling can be increased significantly. The main part of the global phosphate production is used in agricultural production, and microalgae also need large amounts of phosphate to achieve a high productivity. Nutritious waste streams can be used for algae cultivation, and part of the phosphates used for algae growth can be recycled subject to the processes applied downstream and the product range (Rösch et al. 2012). Even microalgae production systems with no additional demand for phosphates are possible if waste water is employed and the nutrients from the anaerobic digestion of the oil-free algal residues are recycled (Lundquist et al. 2010).

The resource water is indispensable for microalgae cultivation. The quality and amount of water needed is determined by the water requirements of the specific algal species, e.g. their ability to grow in saline or waste water, and by the cultivation technology (open ponds or closed reactors). Since microalgae production systems are designed to approach profitability by achieving a high yield of lipids, generating high-value coproducts and being very productive, the use of waste water poses a great challenge that has hardly been investigated. The primary issue is that waste water carries algae that entail the development of mixed cultures consisting of different algal species. The use of salt water is limited to marine algae, and in open ponds fresh water is needed in the summer to prevent evaporation from creating excessive salt concentrations (Klöck 2010). For this reason, algae cultivation in open ponds can stress local water resources in warm climates and arid areas. The water demand in photobioreactors is generally lower than in open ponds. Cultivation water can be recycled, but currently no commercially viable concepts for large-scale water cleaning and recycling are available (Amer et al. 2011). In contrast to ponds, closed reactors need additional water for reactor cleaning and, depending on the technology used for temperature control in the summer, also for reactor cooling.

Arable land is an increasingly scarce resource facing a worldwide growing demand for food and biofuels and also land for settlement and traffic. As a result, agricultural production has been intensified, with negative consequences for sustainable land use. Cropland has been expanded at the cost of natural ecosystems, such as rainforests, and of the climate because these changes in land use result in large amounts of soil-bound carbon being released. Microalgae can contribute to sustainable land use as they can be cultivated on non-arable or marginal land without any changes in soil-related land use, and can achieve a high productivity and land use efficiency. Since there is a direct link between land use and biodiversity, microalgae can relieve the pressure on biodiversity by replacing biofuel production based on crops grown on arable or deforested land. Large-scale microalgae cultivation could albeit disrupt the character of the landscape and change the nat-

ural habitat of native wildlife (Klöck 2010). Another negative effect on local biodiversity could result from the demand for water for microalgae cultivation and from the release of emissions during the processing of microalgae (Goedkoop et al. 2009). By replacing the proportion of fish feed in aquaculture farms that rely on raw materials from capture fisheries (see Robin J. Shields et al. in this issue), microalgae cultivation can also contribute to the preservation of marine biodiversity.

The environment acts as a great sink for the redistribution, storage, processing, and absorption of human made wastes in the form of air emissions, soil and water discharges. The greatest challenge today with regard to ecological sink capacities is the increase in greenhouse gas emissions. One alternative is the creation of carbon sinks, e.g. by an increase in the amount of carbon fixed by photosynthesis. Ocean fertilization to enhance the growth of marine algae is one geoengineering approach to tackling climate change. Iron fertilization of otherwise nutrient-rich but iron-deficient blue ocean water can enhance algae growth. This can capture increased amounts of CO₂, which is in turn sequestered as the algae sinks to the sea ground. Little is known about the potential impact on ocean ecosystems, making the idea quite controversial. In contrast, there is agreement on the use of flue gases from power and industrial plants as a source of carbon for microalgae cultivation. The CO₂ uptake of microalgae plants is limited compared with the flue gas emissions from large power plants, and a positive greenhouse gas balance must be achieved before net savings can be claimed. Using current technologies, the European biofuel standardization requiring a greenhouse gas reduction of at least 35 % today and 60 % in 2018 cannot be realized, but the co-production of high-value algal products could reduce emissions by replacing conventional products that have even higher greenhouse gas emissions.

The environmental sink capacities can also be stressed by the fertilizer and pesticides released by cropping energy plants, leading to the contamination of groundwater and surface water. In contrast, fertilization in microalgae cultivation is performed in closed systems, and no nutrients are released into the environment. Moreover, algae can serve as a bioremediation agent for waste

water cleaning. If microalgae or algal residues are used as feedstock at a biogas plant, the application of the fermentation residues can lead to nutrients leaching into surface and ground water. Since undesirable organisms, such as bacteria and wild algae, can grow in open ponds too, the application of pesticides over large areas could have an indirect effect on groundwater quality (Klöck 2010).

All technologies can result in unintended consequences and even risks to humans and nature. Some of them disappear, some develop into problems that can be handled, and a few have severe negative impacts, creating a lack of social acceptance. The acceptability of uncertainties and risks from technologies is related on the one hand to the benefits and on the other hand to the probability of an occurrence and the potential damage to humans and nature and the possibilities to limit the damage locally. The introduction of non-native algal species can pose a potential risk to the environment and marine biodiversity because the release of microalgae can have negative ecological flow-on effects such as altering food

webs (Scholin et al. 2000), displacing native phytoplankton, causing local extinctions, and having serious societal effects (Backer et al. 2001). For the import and use of microalgae as live food for aquaculture and research only poorly regulated mechanisms exist (Campbell 2011). Genetic engineering of designer algae is not inherently associated with risks to ecosystems because these algae might not be robust and competitive enough to disseminate under natural conditions.

Algae technology is a nascent industry with limited physical, human and knowledge resources compared to long-standing fields of technology. In the last few years, more capital has been invested to push research and development and to generate knowledge and innovation capacities. Some academic institutes have set up dedicated algae research centres, and venture capital money has been raised for algae research in the USA. The big oil companies Chevron, BP and Exxon Mobil as well as many start-ups have made great investments in algal fuel research. The increase in research activities is mirrored by the number

of conferences and workshops, research and review articles and conference papers, which has increased significantly in the last few years, e.g. from 400 (2004) to 893 (2010) (found in Scopus) and from 404 (2000) to 1,654 (2011; found in ScienceDirect). Since research into microalgae technology is in its early stages, it is difficult to assess the innovativeness and competitiveness of technologies developed in Germany as well as the chances to open new markets and benefit from export chances. The assessment of the

Table 3: Sustainability indicators for assessing microalgae technology – Part II

<i>Principles</i>	<i>Criteria</i>	<i>Indicator</i>
Sustainable use of renewable resources	Land use	Land footprint
	Water deprivation	Water footprint
	Impact on biodiversity	Imperilment of valuable habits for rare and protected plants and animals
Sustainable use of non-renewable resources	Depletion of fossil energy	Primary energy savings
	Depletion of minerals	Demand for phosphate
Sustainable use of the environment as a sink	Climate change	Greenhouse gas savings
	Aquatic eutrophication	NH ₃ and N % emitted into the air
		N and P emitted into water
	Acidification	SO ₂ equivalents
Avoiding technical risks with potentially severe impacts	Ecosystem changes	Use of non-native algal species
		Use of designer algae
Sustainable development of physical, human and knowledge capital	Development of innovative process technology	Opening of new markets Export chances
	Employment and education of scientists and qualified workers	RTD expenditure, lectures and professorships
	Generation of new knowledge and innovation capacity	Number of reviewed publications, patents and homepages

Source: Own compilation

impact on regional employment associated with the construction and operation of the microalgae production plants is even trickier.

3.3 Microalgae and Societal Development

Participation in social decision-making processes is important for the preservation of societal development and action potential, but this only affects the design of technologies which might be used for participation and is thus not applicable to microalgae technology. Since microalgae can contribute to satisfying essential human needs in the future, different members of society are interested in the development of microalgae technology. The participation of society in this development could be improved by involving people in decision-making processes on research programs and public expenditures for research, development and demonstration (RDD), but also in finding suitable locations for microalgae production plants.

Table 4: Sustainability indicators for assessing microalgae technology – Part III

<i>Principles</i>	<i>Criteria</i>	<i>Indicator</i>
Participation in social decision-making processes	Public participation in decisions on public RDD expenditures and business site location search for algae plants	Stakeholder workshops, web-based questionnaires
Preservation of nature's cultural functions	Cultural landscape changes for microalgae cultivation	Location and area of the relevant land

Source: Own compilation

The sustainability principles concerning the preservation of social resources and the cultural heritage and diversity (see table 1) are not affected by microalgae technology as long as their impact on the environment does not harm the cultural heritage, e.g. damage buildings by acidification. Likewise, the cultural and natural landscapes that are of particular characteristics and beauty are not endangered by microalgae production plants. Yet large-scale microalgae

plants will change the landscape and can exert a local influence on nature as the object of sensual, contemplative, spiritual, religious and aesthetic experience. The cultural functions of landscapes could be affected even when marginal land is considered. No public discussion of suitable locations for microalgae plants has been started yet, but it is obvious that an acceptance analysis is needed at the beginning to identify possible barriers to acceptance and to use this information to determine locations of plants that can gain credence. The social acceptance of microalgae products is supposed to be quite high if it is possible to demonstrate their advantages over first- and second-generation biofuels and to achieve additional environmental benefits such as waste water remediation and CO₂ capturing. No information is available on whether people are willing to promote and pay for algal products or if there are concerns about the incompatibilities of algal biofuels, their environmental and social impacts.

4 Conclusion

The integrative concept of sustainable development has been shown to provide an overall framework to carry out comprehensive and comparative assessments of sustainability. With regard to their applicability to microalgae technologies, 15 substantial principles of sustainable development have been identified as relevant and 22 sustainability criteria and indicators have been selected for assessing sustainability. Not surprisingly, the majority of the selected criteria refer to the satisfaction of basic human needs and maintenance of the societal production potential. Social aspects, such as participation in decision making, e.g. on the allocation of public funds for research, development and demonstration and on determining site locations, are not under discussion yet, but could become a topic in the future.

The enlargement of the criteria for assessing sustainability beyond the energy and greenhouse gas balance and the addition of further indicators resulting from comparative life cycle analysis would aggravate the problem of running into conflicts between sustainability criteria and the incommensurability of many criteria. For example, the use of waste water can reduce the demand for

non-renewable nutrients for microalgae cultivation, but it has drawbacks with regard to the economic indicators and acceptance that might limit market access for high-value algal products. The integration of quantitative and qualitative results from different indicators is a prime challenge to being able to provide guidance for decision making about sustainability issues in microalgae technologies. Classical instruments such as life cycle assessment can help to aggregate results, but are by no means sufficient to handle the broad range of sustainability indicators even if they are further developed to meet social sustainability criteria such as consequential or social life cycle analysis. Since the impact of microalgae production strongly depends on the local conditions, especially the availability of sun, land, water, CO₂ from flue gases, nutritious waste streams and of course infrastructure, regional assessments of the natural and human-made conditions of locations are required. This cannot be accomplished by life cycle analysis either.

A big advantage of applying the holistic sustainability concept to technology assessment is the ability to identify possible conflicts at an early stage. For example, the idea to use waste streams such as flue gases and waste water to produce highly specified and high-value coproducts is a contradiction. Qualitative procedures of deliberation for “soft” criteria of sustainability and for the consideration of conflicting objectives are necessary. The concept introduced in this paper does not solve these methodological issues, but provides a well-founded analytical framework for further improving the criteria for evaluating technology in a transparent and reliable manner.

Note

- 1) Dipl.-Landschaftsökologe Daniel Maga, B.Sc., works at the Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology in Oberhausen, Germany.

References

- Amer, L.; Adhikari, B.; Pellegrino, J., 2011: Techno-economic Analysis of Five Microalgae-to-biofuels Processes of Varying Complexity. In: *Bioresource Technology* 102/20 (2011), pp. 9350–9359
- Azapagic, A.; Millington, A.; Collett, A., 2006: A Methodology for Integrating Sustainability Considerations into Process Design. In: *Chemical Engineering Research and Design* 84/6 (2006), pp. 439–452
- Backer, L.C.; Fleming, L.E.; Rowan, A.D. et al., 2001: Epidemiology and Public Health of Human Illness Associated with Harmful Marine Phytoplankton. In: *WHO/UNESCO HAB Handbook*
- Campbell, M.L., 2011: Assessing Biosecurity Risk Associated with the Importation of Non-indigenous Microalgae. In: *Environmental Research* 111/7 (2011), pp. 989–998
- Collet, P.; Hélias, A.; Lardon, L. et al., 2011: Life-cycle Assessment of Microalgae Culture Coupled to Biogas Production. In: *Bioresource Technology* 102/1 (2011), pp. 207–214
- Cooper, J.; Lombardi, R.; Boardman, D. et al., 2011: The Future Distribution and Production of Global Phosphate Rock Reserves. In: *Resources, Conservation and Recycling* 57 (2011), pp. 78–86
- DOE – Department of Energy, 2010: National Algal Biofuels Technology Roadmap. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program
- Goedkoop, M.; Heijungs, R. et al., 2009: ReCiPe 2008: A Life Cycle Impact Assessment Method which Comprises Harmonised Category Indicators at the Midpoint and the Endpoint level. First edition. Report I: Characterisation. Amersfoort, Leiden, Nijmegen, Bilthoven, PRé Consultants, University of Leiden (CML), Radboud University Nijmegen (RUN), National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)
- Grunwald, A.; Rösch, Chr., 2011: Sustainability Assessment of Energy Technologies: Towards an Integrative Framework. In: *Energy, Sustainability and Society* 1/3 (2011); doi: 10.1186/2192-0567-1-3
- Halim, R.; Danquah, M.K.; Webley, P.A. 2012: Extraction of Oil from Microalgae for Biodiesel Production: A Review. In: *Biotechnology Advances* 30/3 (2012), pp. 709–732
- Harmelen, T. Van; Oonk, H., 2006: Microalgae Biofixation Processes: Applications and Potential Contributions to Greenhouse Gas Mitigation Options. Prepared by TNO Built Environment and Geosciences for the International Network on Biofixation of CO₂ and Greenhouse Gas Abatement with Microalgae
- Jorquera, O.; Kiperstok, A.; Sales, E.A. et al., M.L., 2010: Comparative Energy Life-cycle Analyses of Microalgal Biomass Production in Open Ponds and Photobioreactors. In: *Bioresource Technology* 101 (2010), pp. 1406–1413

Klöck, G., 2010: It's the Process, Stupid. Biofuels from Microalgae Are not yet Sustainable. In: Genetic Engineering & Biotechnology News; <http://www.genengnews.com/blog-biotech/it-s-the-process-stupid-biofuels-from-microalgae-are-not-yet-sustainable/587/> (download 13.7.12)

Kopfmüller, J.; Brandl, V. et al., 2001: Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet: Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren. Berlin

Lardon, L.; Hélias, A.; Sialve, B. et al., 2009: Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. In: Environmental Science & Technology 43/17 (2009), pp. 6475–6481

Lundquist, T.; Woertz, I. et al., 2010: A Realistic Technology and Engineering Assessment of Algae Biofuel Production. Berkeley, CA

Morweiser, M.; Kruse, O.; Hankammer, B. et al., 2010: Developments and Perspectives of Photobioreactors for Biofuel Production. In: Applied Microbiology and Biotechnology 87 (2010), pp. 1291–1301

Muhs, J.; Viamajala, S. et al., 2009: Algae Biofuels & Carbon recycling. Utah State University

Mussnug, J.H.; Klassen, V.; Schlüter, A. et al., O. 2010: Microalgae as Substrates for Fermentative Biogas Production in a Combined Biorefinery Concept. In: Journal of Biotechnology 150/1 (2010), pp. 51–56

Pires, J.C.M.; Malvim-Ferraz, C.M.; Martins, F.G. et al., 2012: Carbon Dioxide Capture from Flue Gases Using Microalgae: Engineering Aspects and Biorefinery Concept. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 16/5 (2012), pp. 3043–3053

Rawat, I.; Ranjith, R.; Kumar, T. et al., 2011: Dual Role of Microalgae: Phycoremediation of Domestic Wastewater and Biomass Production for Sustainable Biofuels Production. In: Applied Energy 88/10 (2011), pp. 3411–3424

Rösch, Ch.; Skarka, J.; Wegerer, N., 2012: Materials Flow Modeling of Nutrient Recycling in Biodiesel Production from Microalgae. In: Bioresource technology 107 (2012), pp. 191–199

Sander, K.; Murthy, G.S., 2010: Life Cycle Analysis of Algae Biodiesel. In: International Journal of Life Cycle Assessment 15/7 (2010), pp. 704–714

Scarlat, N.; Dallemand, J.-F., 2011: Recent Developments of Biofuels/Bioenergy Sustainability Certification: A Global Overview. In: Energy Policy 39/3 (2011), pp. 1630–1646

Schenk, P.M.; Thomas-Hall, S.R.; Stephens, E. et al., 2008: Second Generation Biofuels: High-efficiency

Microalgae for Biodiesel Production. In: BioEnergy Research 1 (2008), pp. 20–43

Scholin, C.; Gulland, F.; Doucette, G.J. et al., 2000: Mortality of Sea Lions Along the Central California Coast Linked to a Toxic Diatom Bloom. In: Nature 403 (2000), pp. 80–84

Skarka, J.; Rösch, C.; Posten, C., 2011: Microalgal Biomass for Biofuels in Europe – Production Potential with Regard to Land and CO₂ Availability. 1st International Conference on Algal Biomass, Biofuels & Bioproducts, St. Louis, Missouri, USA, July 17–20, 2011

Stephenson, A.L.; Kazamia, E.; Dennis, J.S. et al., 2010: Life-cycle Assessment of Potential Algal Biodiesel Production in the United Kingdom: A Comparison of Raceways and Air-lift Tubular Bioreactors. In: Energy Fuel 24 (2010), pp. 4062–4077

Contact

Dr. Christine Rösch
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Institute for Technology Assessment and Systems
Analysis (ITAS)
Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
Phone: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 27 04
E-mail: christine.roesch@kit.edu

« »

Microalgae Biomass Potential in Europe

Land Availability as a Key Issue

by Johannes Skarka, ITAS

Microalgae are a promising option for sustainable biomass production in Europe. One important advantage of microalgae is that they can be cultivated on non-arable land and therefore do not contribute to an increase in unwanted land use change, particularly for the production of biofuels. The biomass potential of microalgae is limited, however, by the limited availability of such marginal land in densely populated Europe and by the slope of many of these areas or their status as protected areas. A GIS-based model was developed to assess this potential. A general result was that about 50 megatons (Mt) dry matter microalgal biomass could be produced annually in Europe. The by far largest part of this amount would come from the Iberian Peninsula. However, northern countries such as Sweden or the UK also show considerable potential.

1 Introduction

Microalgae are a promising option for sustainable biomass production. Microalgal biomass can be used for a broad range of purposes depending on the microalgae strain and the cultivation conditions. The main part of the biomass currently being produced is dedicated to health food products, feed for aquaculture or for the extraction of specialities such as astaxanthin¹ (Olaizola 2003). The objective of recent research and development efforts is to make microalgae biomass a feasible source for the production of bulk products such as biofuels and animal feed (Chisti 2007).

One major advantage over other traditional crops is that microalgae can be cultivated in technical systems and can, thus, be produced on non-arable land. The use of microalgal biomass for biofuel may therefore significantly reduce the food vs. fuel dilemma usually associated with other energy crops. Besides, microalgae have the potential to show much higher photoconversion efficiencies² (PCE) than higher plants. For microalgae a PCE of 5 % seems feasible (Stephens et al. 2010)

whereas the PCEs of higher plants do not exceed 1 % (Walker 2009). Furthermore, the energetic use of algal biomass produced in the EU-27 countries could reduce their dependence on energy imports.

Although microalgae produce higher yields than other plants, huge areas of land will be needed to produce significant amounts of bulk products such as biofuels from microalgae. In densely populated Europe, the demand for so much land for this purpose is an important issue. To meet the goals of sustainability, large scale microalgae facilities covering many hectares of land will be limited to areas that are not yet used for other purposes and where this use will have a low impact on the landscape, soil, water balance and nature protection.

This article presents a model for assessing the resource potential of biomass from microalgae, taking account of anticipated yields and land availability. The model's parameter values were chosen for a closed photobioreactor (PBR) cultivation system. However, in principle, the model is applicable to open pond cultivation systems as well. The results of the model calculations are shown and discussed.

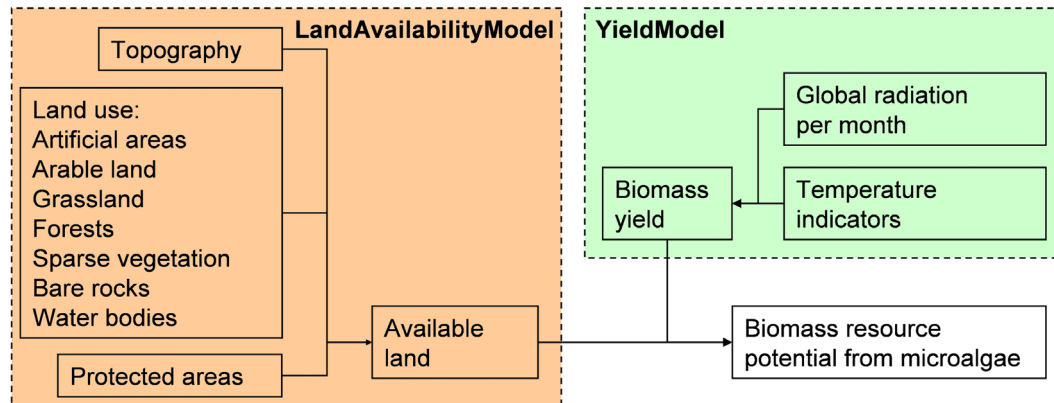
2 Assessing the Resource Potential

The resource potential is calculated as the sum of the yield on all available land. To reflect the spatial differences in yield and land availability, a GIS-based³ model was developed and the appropriate geographic data sets were used. Figure 1 shows a flow diagram of the GIS model. It consists of two parts: the "YieldModel" for yield calculation and the "LandAvailabilityModel" for determining land availability. In the following, the two parts are described, including the assumptions made. The parameter values mentioned in the next two sections reflect a "projected realistic case", which is the default scenario for the model calculations.

2.1 Yield Calculation

In the "YieldModel", the yield in $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ was calculated based on climate data for temperature and global radiation according to the following equation:

Fig. 1: Flow scheme of the GIS-based model developed for assessing the microalgae biomass resource potential



Source: Own compilation

$$\text{Yield} = \frac{\text{PCE}}{H_o} \cdot \sum_{m=1}^{12} \left(\prod_T I_{T,m} \cdot G_m \right)$$

Yield in $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$

PCE: Conversion efficiency from global radiation to biomass

H_o : Calorific value of the biomass in MJ kg^{-1}

$I_{T,m}$: Different temperature indicators
 $\in \{0;1\}$ for a month m

G_m : Mean global radiation in a month m in MJ m^{-2}

As a general assumption for the yield calculation, the PCE was set to be independent of local conditions. Usually the PCE depends on the irradiation flux and is only constant under light-limiting conditions (Tredici 2010). High irradiation fluxes result in photosaturation or even photoinhibition, and the PCE declines. However, it is reasonable to assume a constant PCE when light-limiting conditions can be achieved by optimal process management (e.g. light-adapted mixing) and by choosing the optimal reactor design and algae strains for each site. A PCE of 5% was assumed for the yield calculation.

Several temperature indicators were used to decide whether a month is suitable ($I_{T,m} = 1$) for microalgae production or not ($I_{T,m} = 0$). The monthly mean temperature should not fall below 10°C and not exceed 35°C . In any one month, a daily minimum temperature of 0°C may not be

undercut or a maximum temperature of 45°C may not be exceeded on more than 5 days, respectively. The temperature differences within one day may not exceed 20°C on more than 10 days in one month. These limits were chosen based on the comprehensive review on algal biology from the AQUAFUELS project (Aquafuels 2011).

The sum of the mean global radiation in all the suitable months was calculated and multiplied by the PCE. The biomass yield in $\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$ is obtained by dividing this value by the calorific value of the biomass H_o . For H_o a value of 20 MJ kg^{-1} was assumed according to Lehr and Posten (2009).

The GIS data on long-term mean, minimum and maximum temperatures with a spatial resolution of 0.25° were taken from the E-OBS dataset (Besselaar et al. 2011). Data on the long-term monthly mean global radiation with a spatial resolution of 1000 m were taken from the PVGIS project (Súri et al. 2007).

2.2 Determining the Availability of Suitable Areas

The LandAvailabilityModel is used to determine whether an area is suitable for the construction and operation of a microalgae plant or not. An area is designated suitable if

- its slope is suitable,
- it is non-arable land and not used for other purposes,
- it is not a protected area.

The slope is calculated using a digital elevation model (DEM) of the U.S. Geological Survey (USGS 2006) with a spatial resolution of 100 m. According to the U.S. DOE (2010), the maximum suitable slope for microalgae cultivation in open ponds is 5 % due to the high costs for site preparation and levelling of higher slopes. For closed PBRs a higher value might be still feasible since extensive site levelling can be assumed to be unnecessary for PBR construction. However, slope was limited to 8 % to assure the accessibility of the site, which excludes mountainous areas (simplified definition based on Blyth et al. 2002) from the analysis.

To identify available areas according to their current land use, the CORINE 2006 land cover raster dataset (EEA 2011) with a spatial resolution of 250 m was used. Missing data for Greece was taken from the CORINE 2000 dataset (EEA 2010). To avoid land use competition with food and feed production, agricultural areas were considered unavailable for algae production. According to the EU renewable energy directive (EU 2009), land with high carbon stocks and high biodiversity such as forests, scrublands, grasslands, and wetlands may not be used for biofuel production. These areas were consequently set to be un-

available for microalgae production as well. Also considered unavailable were areas already intensively used such as most artificial areas where space for large scale algae production facilities is very limited. Since only land-based cultivation systems were investigated for this work, bodies of water have not been considered for potential analysis. This leaves areas which are classified as “bare rocks” or “sparsely vegetated areas” for the construction of microalgae production facilities.

Since microalgae plants are technical systems, they might have a severe impact on the ecosystem. Land that is classified as a protected area according to the UNEP World Database on Protected Areas (IUCN, UNEP 2010) was thus generally set to be unavailable.

3 Results

The main results of the model calculations for the default scenario are depicted as a map in figure 2. The biomass resource potential for each EU-27 country is given in megatons (Mt) dry matter per year. Furthermore, yields in $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ were calculated as mean values for each NUTS level 3 region⁴, so that promising regions can be identified.

Table 1: Microalgae biomass yield potential of the top 10 European countries and area statistics

Country	Available areas considering restrictions to*			Yield potential	
	LU km^2	LU + Slope km^2	LU + Slope + PA km^2	Mean yield** $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$	Potential kt a^{-1} ***
Spain	11,284	3,182	2,679	126	33,867
Sweden	10,524	3,568	2,263	22	3,092
Italy	8,583	373	255	102	2,438
Portugal	1,240	288	185	109	2,016
United Kingdom	4,002	747	386	35	1,352
France	8,408	322	145	88	1,268
Greece	1,991	158	127	104	1,203
Cyprus	141	84	75	149	1,109
Ireland	340	116	99	60	587
Germany	495	201	97	60	581
EU-27	54,926	10,136	6,655	78	49,171

* = LU: land use, PA: protected areas

** = mean yield calculated for available areas only

*** = kilotons per year

Source: Own compilation

The calculated yields range from 12 t ha⁻¹ a⁻¹ in boreal regions and the High Alps to 160 t ha⁻¹ a⁻¹ in southern Portugal (Algarve). On Sicily (Italy), on the Dodecanese (Greece) and in Andalusia (Spain), yields above 150 t ha⁻¹ a⁻¹ can be expected as well. Spain's biomass potential (34 Mt a⁻¹) is by far the highest, followed by Sweden (!), Italy, and Portugal. The total potential for Europe adds up to almost 50 Mt a⁻¹ on about 6500 km² available cultivation land (see table 1).

Table 1 shows the results of the potential calculation and of area statistics for land availability for the 10 countries which contribute the most to the total biomass potential for the default case. Obviously, large countries with high biomass yields per hectare tend to have higher biomass potentials than small countries with low biomass yields (e.g. Spain vs. Ireland). However, at only 1.2 Mt a⁻¹, Greece's potential is relatively low despite the high biomass yields per hectare which could be achieved there. The low potential in France is surprising, too. Although there is a considerable amount of land in Greece that could be used for algae cultivation concerning land use restriction, over 90 % of this land is in mountainous areas and therefore unsuitable. In Italy and France, the situation is similar, and in France the availability restrictions due to protected areas also prove to

be very important. Since Sweden has large areas of suitable land which are relatively flat and not protected, it contributes the second most to the biomass resource potential despite its low biomass yields per hectare. The outstanding high potential in Spain can be explained by the high yields and the huge barren or sparsely vegetated areas in which the slope in many cases is suitable and that are nature protected only in a few cases.

Sensitivity analyses have been performed to assess the importance of the reference period for the temperature data and to investigate how different values for the maximum suitable slope produce changes in biomass potential. In table 2, the results of these analyses are shown as the percentage deviation from the default "projected realistic case".

Changes in the reference period for the temperature data have only a small effect on total biomass potential. If the reference period covers the last 60 years, the biomass potential tends to be smaller than in the default case (a 40-year reference period). For the last 20 years, however, during which temperatures increased due to global warming, the potential is higher for every country. There is even an increase in potential greater than 20 % in Sweden, a country with a cold climate.

Different assumptions for the maximum suitable slope have a strong effect on the biomass

Table 2: Sensitivity analysis for the top 10 European countries (temperature and variation of the maximum suitable slope value)*

Country	Temperature data base period		Maximum suitable slope			
	last 60 a	last 20 a	< 2 %	< 4 %	< 15 %	< 30 %
Spain	-0.4	+2.4	-90.0	-60.4	+62.3	+123.2
Sweden	-15.3	+20.4	-68.7	-42.8	+47.9	+78.4
Italy	-0.4	+3.2	-84.5	-61.2	+129.7	+415.5
Portugal	+0.1	+6.4	-94.0	-70.7	+108.8	+212.7
United Kingdom	-1.0	+2.1	-88.7	-64.6	+104.5	+244.7
France	-1.4	+3.4	-92.4	-67.5	+166.6	+645.7
Greece	+0.6	+0.2	-92.2	-74.5	+193.7	+580.7
Cyprus	+0.5	+0.3	-86.5	-51.5	+32.9	+43.0
Ireland	-0.0	+0.9	-48.2	-29.3	+55.8	+138.4
Germany	+1.1	+1.1	-39.6	-15.4	+3.7	+5.7
EU-27	-1.3	+3.6	-86.4	-58.7	+72.8	+167.1

* = The results show the percentage deviation of the microalgae biomass potential in relation to the default case

Source: Own compilation

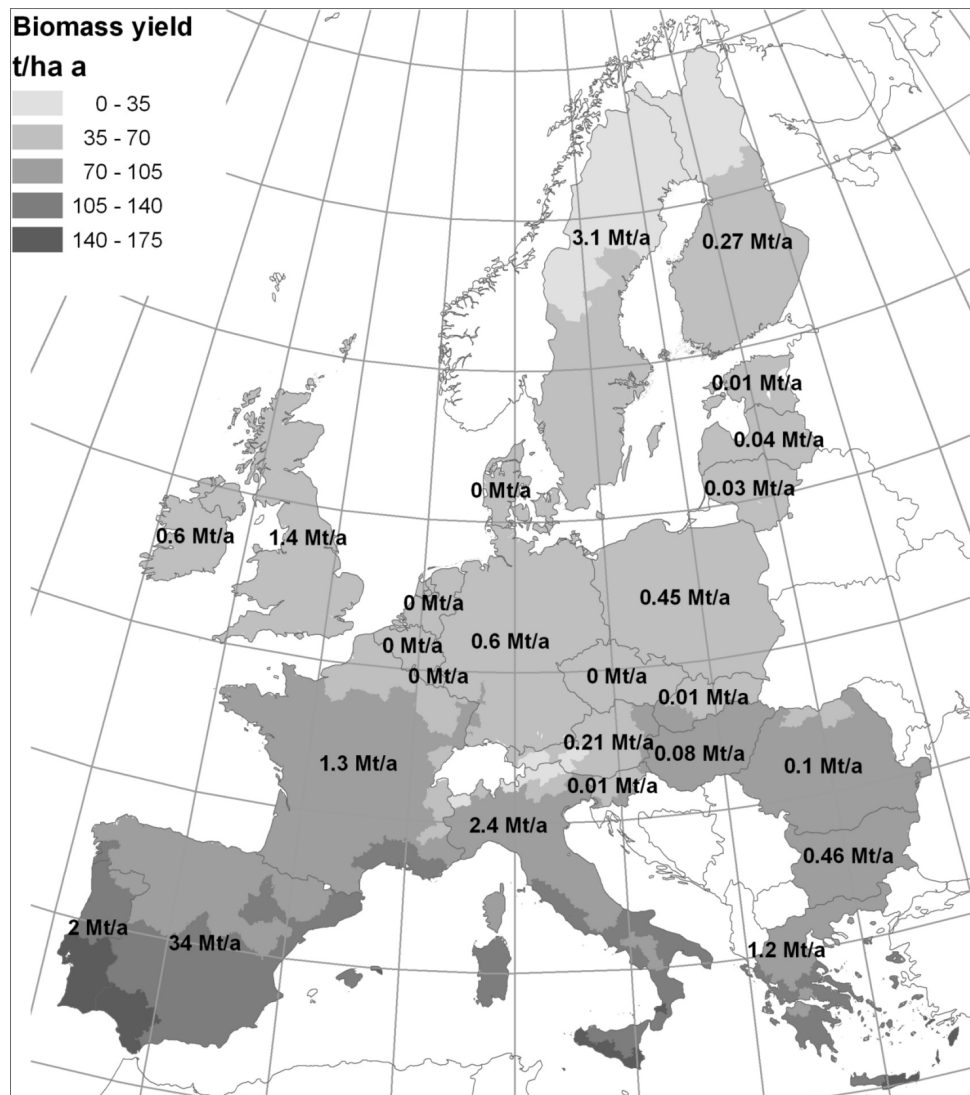
resource potential as shown in table 2. Assuming slope values suitable for open pond construction (4 % and 2 %), the total potential and the potential in most countries are reduced by about 60 % to 90 %. Germany and Ireland are only slightly affected. On the other hand, allowing higher slopes for PBRs means that the biomass potentials would be much higher. This effect is particularly strong in France, Greece and Italy, where the biomass potential could be up to six-fold higher than in the default case. In Germany,

the differences to the default case are very small because of the high importance of protected areas for the availability of land (see table 1).

4 Discussion

The considerable amount of about 50 Mt dry microalgal biomass per year can be produced on Europe's marginal land. In terms of energy content, this corresponds to 1 EJ. Although this is

Fig. 2: Map showing the microalgae biomass resource potential (for each EU-27 country in Mt a⁻¹ and the mean biomass yield in t ha⁻¹ a⁻¹)



* = Biomass is given as dry matter; the mean biomass yield is calculated for the total country area.

Source: Own compilation

only a small portion of the overall European final energy consumption of 48 EJ in 2009 (Eurostat 2011), such a no-regrets biofuel strategy does not utilize arable land but can, on the contrary, give added value to otherwise unused land. In Spain, where most of the algal production potential is located, an innovative microalgae based industry could emerge, offering new chances for income in rural or abandoned areas. Besides, land use competition between biofuel and feed crops could be reduced because the protein-rich algal residues remaining after oil extraction could replace soybeans grown on arable land. The high protein content and quality of this material could pose a significant factor in feed production and replacing feed imports. In 2010, 30 Mt soybean meal were consumed in the EU (FEDIOL 2012), most of which was produced from imported soybeans or imported directly as meal.

The countries in Southern Europe show higher yields per hectare because of higher global radiation but also because temperature is one of the most important factors in microalgae production and determines the length of the production period. Although the effects of rising temperatures during the last 20 years on the biomass potential of microalgae are relatively low, they are discernible and might be stronger in the future if climate change continues. For northern countries such as Sweden, there might be new opportunities for the cultivation of microalgae in the future. Again, this can be a chance to return production value to marginal land. However, the low yields in the northern countries could limit these opportunities since low biomass yields result in higher production costs (Stephens et al. 2010). Thus, it is highly likely that only a small portion of Sweden's huge biomass potential will be exploitable in an economically viable way.

At the present, biomass production in PBRs is much more expensive and sophisticated than in ponds. However, open pond cultivation systems suffer from high water evaporation, low cell concentrations, low yield per hectare and contamination problems (Posten, Schaub 2009). The results highlight another weakness of open ponds, namely the need for relatively flat land. In Europe, this limits the biomass potential from open ponds to just a small fraction of that from

closed PBRs. The development of PBRs suitable for areas with higher slopes than the assumed 8 % could further increase the potential.

The availability of suitable land turns out to be a crucial issue for the biomass potential of microalgae in Europe. It is a great advantage that microalgae are cultivated in technical systems which can be built on otherwise unused land and give added value to regions with a high percentage of such land. However, the premise that land use competition by biofuel production must be avoided significantly limits the amount of land available for microalgae production plants because only about 0.1 % of Europe's land area fulfils these criteria. In this regard, research and societal discussion are needed to learn if other areas, e.g. a small percentage of the so-called surplus grassland areas which are no longer needed for forage production (Rösch et al. 2009), could increase the amount of land available for microalgae cultivation. In principle, microalgae could also be produced in plastic bags floating in the sea, e.g. docked at offshore wind power plants, but so far no commercial production systems are available.

It is obvious that the availability of land is a major prerequisite, though not the only one, for commercial and socially acceptable microalgae cultivation. Due to the enormous productivity, there is a high demand for a low-cost supply of water and nutrients, such as CO₂, nitrate and phosphorus. Research on the availability of emissions from power and industrial plants (Skarka et al. 2011) and municipal waste streams for the nutrient supply (Yang et al. 2011) or the recycling of nutrients (Rösch et al. 2012) indicate that the issue of nutrient supply for large scale production of microalgal biomass could be solved in a sustainable manner.

Acknowledgements

The author acknowledges the use of the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>), the E-OBS data providers in the ECA&D project (<http://eca.knmi.nl>); the PVGIS project (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>) for providing monthly global radiation data; the Global Land Cover Facility, University of Maryland (<http://www.landcover.org>) for providing the DEM (SRTM) data; the Pro-

tected Areas Programme, UNEP-WCMC (<http://www.protectedplanet.net>) for providing data from the WDPA; and the EEA (<http://www.eea.europa.eu/>) for providing the CORINE datasets.

Notes

- 1) A carotenoid which is used as feed supplement in e.g. salmon farming to provide the red colour of the salmon meat.
- 2) Conversion efficiency of sunlight irradiation energy into energy content of the biomass.
- 3) Geographical Information System.
- 4) NUTS level 3 regions are the smallest spatial units according to the Nomenclature of Units for Territorial Statistics and correspond to the German districts.

References

Aquafuels, 2011: Deliverable 1.4: Report on Biology and Biotechnology of Algae with Indication of Criteria for Strain Selection. Aquafuels Project; http://www.aquafuels.eu/attachments/079_D%201.4%20Biology%20Biotechnology.pdf (download 7.5.12)

Blyth, S.; Groombridge, B.; Lysenko, I. et al., 2002: Mountain Watch. UNEP World Conservation Monitoring Centre

Chisti, Y., 2007: Biodiesel from Microalgae. In: *Biotechnology Advances* 25/3 (2007), pp. 294–306

EEA – European Environment Agency, 2010: Corine Land Cover 2000 Raster Data – Version 13 (05/2010) – 250 m. Copenhagen; <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-raster> (download 7.5.12)

EEA – European Environment Agency, 2011: Corine Land Cover 2006 Raster Data – Version 15 (08/2011) – 250 m. Copenhagen; <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1> (download 7.5.12)

EU – European Union, 2009: Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of April 23, 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union, L 140, 16–62

Eurostat, 2011: Energy, Transport and Environment Indicators. European Commission

FEDIOL – Federation of the European Vegetable Oil and Proteinmeal Industry in Europe, 2012: Statistics 2010 – Meals – Production, Imports, Exports and Consumption; <http://www.fediol.be/web/statistics%202010/1011306087/list1187970158/f1.html>

(download 7.5.12)

IUCN – International Union for Conservation of Nature, UNEP – United Nations Environment Programme, 2010: The World Database on Protected Areas (WDPA). UNEP-WCMC, Cambridge, UK; <http://www.protectedplanet.net> (download 7.5.12)

Lehr, F.; Posten, C., 2009: Closed Photo-bioreactors as Tools for Biofuel Production. In: *Current Opinion in Biotechnology* 20/3 (2009), pp. 280–285

Olaizola, M., 2003: Commercial Development of Microalgal Biotechnology: From the Test Tube to the Marketplace. In: *Biomolecular Engineering* 20/4–6 (2003), pp. 459–466

Posten, C.; Schaub, G., 2009: Microalgae and Terrestrial Biomass as Source for Fuels – A Process View. In: *Journal of Biotechnology* 142/1 (2009), pp. 64–69

Rösch, C.; Skarka, J.; Raab, K. et al., 2009: Energy Production from Grassland – Assessing the Sustainability of Different Process Chains under German Conditions. In: *Biomass and Bioenergy* 33/4 (2009), pp. 689–700

Rösch, Chr.; Skarka, J.; Wegerer, N., 2012: Materials Flow Modeling of Nutrient Recycling in Biodiesel Production from Microalgae. In: *Bioresource Technology* 2012, pp. 191–197

Skarka, J.; Rösch, Chr.; Posten, C., 2011: Microalgal Biomass for Biofuels in Europe – Production Potential with Regard to Land and CO₂ Availability. Poster Presentation on the 1st International Conference on Algal Biomass, Biofuels & Bioproducts, Westin Hotel St. Louis, MO, USA, 17.–20.7.11

Stephens, E.; Ross, I.L.; King, Z. et al., 2010: An Economic and Technical Evaluation of Microalgal Biofuels. In: *Nature Biotechnology* 28/2 (2010), pp. 126–128

Súri, M.; Huld, T.A.; Dunlop, E.D. et al., 2007: Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. In: *Solar Energy* 81/10 (2007), pp. 1295–1305

Tredici, M.R., 2010: Photobiology of Microalgae Mass Cultures: Understanding the Tools for the Next Green Revolution. In: *Biofuels*, 1/1 (2010), pp. 143–162

U.S. DoE – U.S. Department of Energy, 2010: National Algal Biofuels Technology Roadmap. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program

USGS – U.S. Geological Survey, 2006: Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second Scene SRTM_ff03_nYYYeXXX (covering Europe), Filled Finished 2.0. Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, MD

Besselaar, E.J.M. van den; Haylock, M.R.; van der Schrier, G. et al., 2011: A European Daily High-resolution Observational Gridded Data set of Sea Level Pressure. In: Journal of Geophysical Research 116 (2011), p. D11110

Walker, D., 2009: Biofuels, Facts, Fantasy, and Feasibility. In: Journal of Applied Phycology 21 (2009), pp. 509–517

Yang, J.; Chen, Y.; Xu, M. et al., 2011: Life-cycle Analysis on Biodiesel Production from Microalgae: Water Footprint and Nutrients Balance. In: Biore-source Technology 102 (2011), pp. 159–165

Contact

Johannes Skarka
Karlsruhe Institute of Technology
Institute for Technology Assessment and Systems
Analysis (ITAS)
Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe, Germany
Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 64 86
E-mail: johannes.skarka@kit.edu

« »

Instructions for Authors

Authors are requested to observe the following instructions when preparing manuscripts for submission to TATuP.

Length of contributions: The maximum number of characters of a *printed page* in the journal “Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis” is 3,500 characters (without spaces). The length of a contribution depends on the section in which it appears. More detailed information is provided by the editorial office.

Abstract / introduction: Contributions under the *main theme* of an issue or in the sections *TA-Konzepte und -Methoden (TA Concepts and Methods)*, *Diskussionsforum (Discussion Forum)* and *TA-Projekte (TA Projects)* should be preceded by a concise abstract, summarising the significant points of the paper. The abstract should not exceed 780 characters (without spaces).

Figures, graphs and tables: Figures and tables should be both embedded in the manuscript and supplied separately from the first version of the manuscript. All figures and tables should have a caption and source and must be numbered separately within the text. If created by the author, please use the phrase “Own compilation” to indicate the source.

Format: Tables should be supplied in *Word*, graphs in *Excel* and figures in *Adobe Illustrator* or *PowerPoint* format. Please contact the editorial office early if the material is only available in other formats. For reasons of page design and layout, the decision on the final size and location of the figures and tables in a contribution lies with the editorial team.

References / bibliography: Cited references are listed alphabetically at the end of the manuscript. In the text, the citation should appear in parentheses (e.g. Bauer, Schneider 2006); in the case of a direct quotation the page number has to be included (e.g. Maurer et al. 2007, p. 34). Citations in the reference list should be formatted according to the following examples:

Monographs: Wiegnerling, K., 2011: Philosophie intelligenter Welten. Munich

Articles in journals: Fink, R.D.; Weyer, J., 2011: Autonome Technik als Herausforderung der soziologischen Handlungstheorie. In: Zeitschrift für Soziologie 40/2 (2011), pp. 91–111

Chapters in books: Mehler, A., 2010: Artificielle Interaktivität. Eine semiotische Betrachtung. In: Sutter, T.; Mehler, A. (eds.): Medienwandel als Wandel von Interaktionsformen. Heidelberg

Websites and online publications: iRobot Corporation, 2011: One Robot, Unlimited Possibilities. iRobot 510 PackBot. Bedford, MA; http://www.irobot.com/gi/filelibrary/pdfs/robots/iRobot_510_PackBot.pdf (download 30.3.11)

Contact: If the relevant section allows for providing contact details, the following information should be included: *Title, name and full address of the institution, including URL where applicable.* In the case of multiple authors, no more than two contact persons should be named. The contact persons can decide whether to publish their phone/fax number or e-mail address.

TA-PROJEKTE

Neue Wege für zukunftsfähige Infrastrukturen in schrumpfenden Regionen

von Susanne Schön, Felix Drießen, Sonja Pobloth und Özgür Yildiz¹

Abwasser, Abwärme, Restholz oder Grünschnitt werden selten wirtschaftlich genutzt. Im Rahmen von „Re-Produktionsketten“ (Re-Pro) werden sie jedoch als wertvolle, regional verfügbare Ressourcen betrachtet und so verarbeitet, dass die stofflich-energetische Re-Produktionsfähigkeit einer Region erhalten bleibt. Gleichzeitig werden in diese Wirtschaftsprozesse vor allem regionale Akteure einbezogen, sodass auch die wirtschaftlich-soziale Re-Produktionsfähigkeit der Region gesichert bzw. erhöht wird. Dieser koevolutionäre Ansatz verbindet ökologische Zukunftsfähigkeit mit regionalwirtschaftlicher Entwicklung. Doch auch solche RePro-Ketten bergen spezifische Risiken. Die sich zwischenzeitlich abzeichnenden Nutzen-Risiko-Kategorien werden im BMBF-Projekt „RePro – Ressourcen vom Land“ untersucht und im Folgenden reflektiert.

1 RePro-Ketten: Konzept, Versprechen, Herausforderung

Wie können vom demografischen Wandel stark betroffene ländliche Regionen ihre verbliebenen Ressourcen zu regionalen Wertschöpfungsketten zusammensetzen, die auch noch das Etikett „nachhaltig“ verdienen? Entlang dieser Frage untersucht und erprobt der Forschungsverbund „RePro – Ressourcen vom Land“ in der südostbrandenburgischen Klimaschutzregion Elbe-Elster und in der angrenzenden sachsenanhaltinischen Bioenergieregion Wittenberg den Aufbau von regionalen Wertschöpfungsketten in der Wasser- und Energieinfrastruktur.² Konzeptionelle Grundlage ist der koevolutionäre Ansatz (Re-)Produktivität (Biesecker, Hofmeister 2006), der auf die Erhaltung sowohl der stofflich-ener-

getischen als auch der wirtschaftlich-sozialen Re-Produktionsfähigkeit einer Region zielt.

Dazu wurde zunächst ein Portfolio aus sieben RePro-Ketten erarbeitet (s. Abb. 1 nächste Seite), die unter heutigen Bedingungen technisch umsetzbar und wirtschaftlich betreibbar sind. Diese Übersicht dient Bürgermeistern, Regionalentwicklern, Wirtschaftsförderern und Unternehmen als Anregung und Überblick über die sich bietenden Möglichkeiten.

Der Aufbau von RePro-Ketten ist verheißungsvoll, verbindet sich darin doch die Hoffnung auf ökologische Zukunftsfähigkeit mit der auf regionalwirtschaftliche Entwicklung in sog. strukturschwachen Regionen. Doch auch RePro-Ketten bergen spezifische Risiken. Welche Nutzen-Risiko-Kategorien zeichnen sich zwischenzeitlich ab?

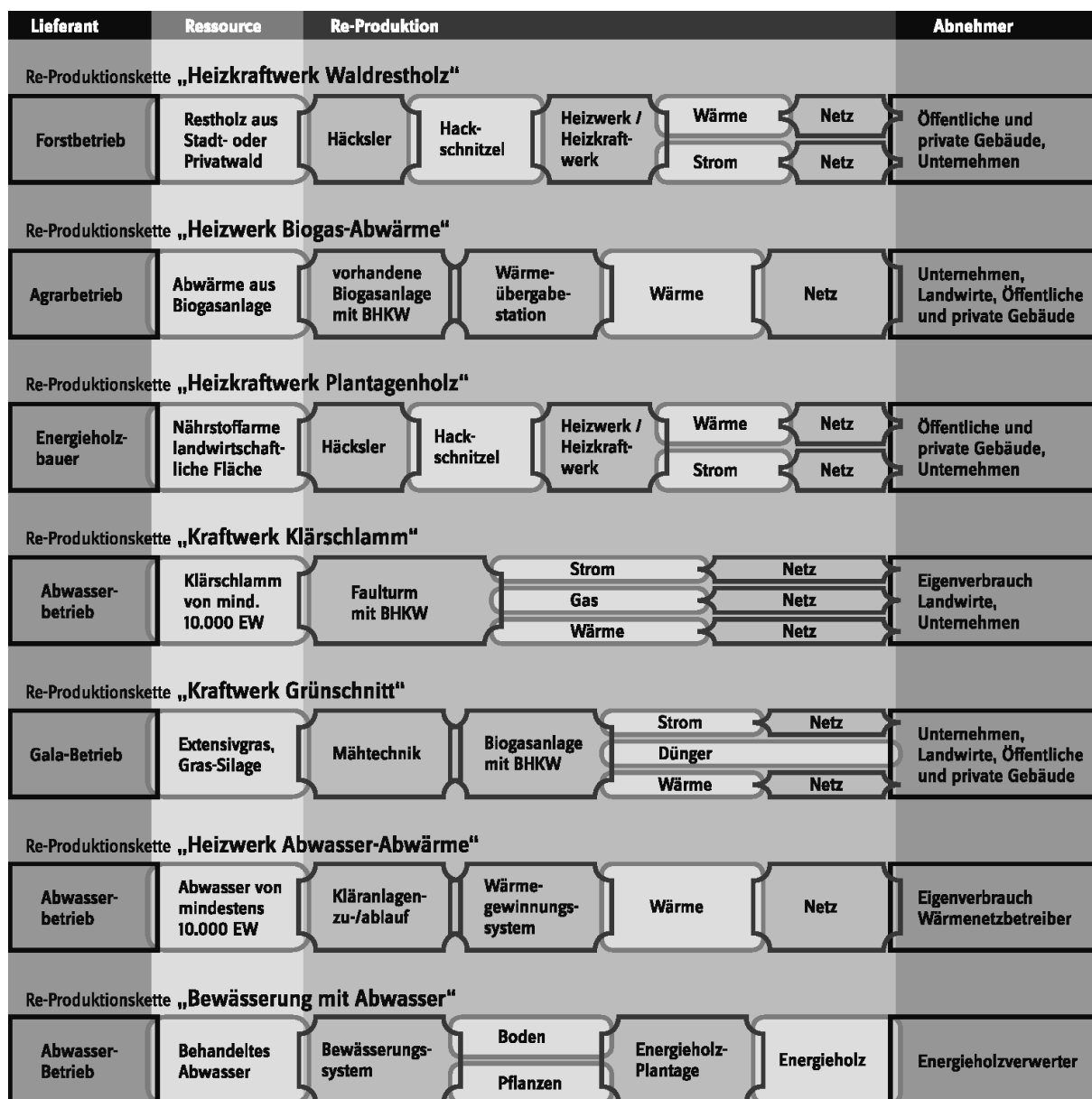
2 Nutzen und Risiken aus ökonomischer Sicht

Kostenreduktionen in Form von geringeren Energiepreisen und Reststoffentsorgungskosten sowie Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte sind die ökonomischen *Nutzerwartungen*, die auf individueller und gesamtwirtschaftlicher Ebene an die RePro-Ketten gestellt werden.

Beispielsweise wird in der RePro-Kette „Kraftwerk Klärschlamm“ aus dem in der Kläranlage anfallenden Klärschlamm Biogas gewonnen und in einem Blockheizkraftwerk in Strom (und Wärme) verwandelt. Damit sinken die sonst erheblichen Stromkosten des Kläranlagenbetreibers, der folglich mit günstigeren Abwassergebühren auch Haushalts- und Gewerbebudgets entlasten kann. Neben diesen individuellen Entlastungen können wettbewerbsfähige Strom- und Wasserkosten auch als Standortfaktor für die Gewerbeansiedlung nützlich sein.

Die Anlageninvestitionen zur Realisierung der RePro-Ketten sind als direkte regionale Wertschöpfungseffekte bestimmbar.³ Darüber hinaus werden auch indirekte und induzierte Wertschöpfungseffekte erwartet, die jedoch schwer zu beziffern sind. Durch die Verwendung von Sekundär- anstelle von Primärressourcen erschließen alle RePro-Ketten spezifische Wert-

Abb. 1: „Re-Produktionsketten“ im Überblick



Quelle: Eigene Darstellung

schöpfungspotenziale, die andernfalls ungenutzt blieben oder in einer konflikträchtigen Konkurrenz um Flächen und Ressourcen mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion stünden. So hat ein „Kraftwerk Grünschnitt“, das Extensivgras und Gülle als Ressourcen nutzt, gegenüber ausschließlich mit Mais gespeisten Biogasanlagen zweifellos ein höheres gesamtwirtschaftliches Nutzenpotenzial.

Nicht zuletzt sind positive Arbeitsplatzeffekte⁴ erwartbar, da sowohl der Betrieb der An-

lage als auch die Ressourcengewinnung Arbeitsplätze schafft oder zumindest bewahrt.

Ökonomische *Risiken* der RePro-Ketten liegen in der aufwendigen Koordination einer Vielzahl heterogener Beteiligter, in der Abhängigkeit der einzelnen Kettenelemente voneinander sowie in den grundlegenden Risiken der Projektfinanzierung.

Die vielfältigen Kombinationen von Akteuren und Elementen in den RePro-Ketten erfordern i. d. R. vertragliche Vereinbarungen zur Koordi-

nation des gemeinsamen wirtschaftlichen Handelns. Allerdings kann ein Vertragswerk unmöglich alle künftigen Szenarien abbilden, sodass sich infolge unvollständiger Verträge einzelne Akteure opportunistisch verhalten könnten. Liefert beispielsweise ein Forstbetrieb minderwertige Hackschnitzel zum Preis höherer Qualitäten, kann er die ganze RePro-Kette „Heizkraftwerk Waldrestholz“ unwirtschaftlich machen – wenn die Verträge Ressourcenmerkmale wie Qualität, Liefermenge/-zeitpunkte etc. nicht fixieren.

Ein zweites nennenswertes Risiko liegt in der Projektfinanzierung und resultiert aus der Natur der RePro-Ketten als sog. Greenfield-Projekte. Da es der neu gegründeten Projektgesellschaft i. d. R. an Substanz fehlt, um Zahlungsschwankungen oder -ausfälle zu kompensieren, müssen Zahlungsströme möglichst genau prognostiziert und mit Risikomanagementsystemen gegen Abweichungen nach unten abgesichert werden.

3 Nutzen und Risiken aus ökologischer Sicht

Die vordringliche *Nutzererwartung* an alle RePro-Ketten ist ihr Beitrag zum Klimaschutz durch die Substitution fossiler durch nachwachsende Rohstoffe. Darüber hinaus können einige Ketten weiteren Nutzen für die Umwelt einschließlich menschlicher Gesundheit und Erholung haben. Wenn beispielsweise Gras von überschüssigem Grünland im „Kraftwerk Grünschnitt“ verwertet und so ein Grünlandumbruch verhindert wird, dient das zugleich dem Schutz von Boden und Grundwasser (Lind et al. 2009). Auf Niedermoorstandorten kann die Freisetzung klimarelevanter Gase vermieden (Haaren et al. 2010) und mit extensiv bewirtschaftetem Grünland die Biodiversität gestärkt werden.

Das Kurzumtriebsgehölz für das „Kraftwerk Plantagenholz“ reichern durch Laubfall und Durchwurzelung den Boden mit Humus an, schützen vor Erosion und erhöhen somit die Bodenfruchtbarkeit (Splechna, Glatzel 2005). Die vergleichsweise extensive Bewirtschaftung bietet Tieren und Pflanzen Lebensräume, die Gehölzstrukturen können biotopverbindende Funktionen haben und die Landschaft für die Erholung aufwerten (Schmidt, Glaser 2010). Die

Bewässerung der Plantage mit gereinigtem Abwasser hält das Wasser länger in der Landschaft und hilft, Trockenphasen besser zu bewältigen (vgl. Lischeid 2010).

Ökologische *Risiken* oder *Beeinträchtigungen* der Umweltschutzgüter sind vielfältiger Art und entstehen v. a. bei der Substratbereitstellung, aber auch beim Transport oder dem Anlagenbetrieb.

Beim „Kraftwerk Grünschnitt“ lauern beispielsweise Risiken für Tiere und Pflanzen, wenn gedüngt und häufiger gemäht wird oder auch, wenn Mahdgut aus Gräben mit Saugtechnik geerntet wird. Das Kurzumtriebsgehölz des „Kraftwerks Plantagenholz“ setzen mehr Wasser um als z. B. Getreide. Werden sie nicht bewässert, kann sich die geringere Grundwasserneubildung negativ auf die Trinkwasserreserven und mittelbar auch auf grundwasserabhängige Biotope auswirken (Busch, Lamersdorf 2010). Wird dagegen mit gereinigtem Abwasser bewässert, bedarf es einer sorgfältigen Mengensteuerung, damit keine unerwünschten Stoffe ins Grundwasser gelangen können (vgl. MUGV 2010).

Beim „Heizkraftwerk Waldrestholz“ werden verstärkt die besonders nährstoffhaltigen Nadeln und Rinden abgeführt, sodass im Unterschied zur reinen Schaftholznutzung das Risiko einer langfristigen Abnahme der Bodenfruchtbarkeit im Blick behalten werden muss (Murach et al. 2008). Bei der Verbrennung des Holzes schließlich wird – im Unterschied beispielsweise zur Ölfeuerung – mehr Kohlenmonoxid emittiert: ein Risiko für die menschliche Gesundheit (Baumbach et al. 2010).

Ökologische Risiken und ökologischer Nutzen hängen häufig von der Standortwahl ab. Mit der räumlichen Steuerung der RePro-Ketten kann die Nutzen-Risiko-Bilanz daher optimiert werden.

4 Nutzen und Risiken aus sozialer Sicht

Sozialen Nutzen versprechen die RePro-Ketten hinsichtlich der positiven Identifizierung mit und der Gemeinschaftsbildung in der Region, der Netzwerk- und Kompetenzbildung und -pro-

filierung sowie der Rückgewinnung von Handlungsspielräumen.

In ländlichen Räumen sind die auf ausgeprägten familiären- oder nachbarschaftlichen Verbindungen, einem aktiven Vereinsleben und traditionellen Strukturen basierenden sozialen Netzwerke stark gefährdet (vgl. Handlungskonzept „Nachhaltige Bevölkerungspolitik in Sachsen-Anhalt“ 2010). RePro-Ketten bauen neue Netzwerke, indem sie Unternehmen, Verwaltung und Privathaushalte zusammenbringen, vertraglich aneinanderbinden und mit der Strom- und Nahwärmeversorgung ein wichtiges Handlungsfeld der Daseinsvorsorge zurückgewinnen.

Die Erfahrung eigener Kompetenz und Gestaltungskraft verändert die Selbstwahrnehmung sog. strukturschwacher Regionen und führt zu bereits beobachtbaren eigendynamischen Entwicklungen: wenn weitere Bürger an das neue Nahwärmenetz angeschlossen werden wollen, wenn lokale Ingenieurbüros den RePro-Ketten-Ansatz aufgreifen und vorantreiben, wenn Unternehmen ihre Abfallstoffe neu betrachten. Belastbare regionale Netzwerke werden als ein Schlüssel erfolgreicher Regionen gesehen (Difu 2011), regionales Profil und Know-how können im Wettbewerb der Regionen nicht nur als wirtschaftlicher, sondern auch als sozialer Standortvorteil – Stichwort: Haltefaktoren in schrumpfenden Regionen – positioniert werden.

Das größte soziale Risiko liegt in der Abhängigkeit der Funktionsfähigkeit der RePro-Ketten vom dauerhaften Zusammenwirken vieler Einzelakteure. Wenn, wie in der RePro-Kette „Heizwerk Biogas-Abwärme“, die Wärmeversorgung der Haushalte an der Biogasanlage eines einzelnen Landwirts hängt, wirft das die Frage nach der Versorgungssicherheit auf. Oder entscheidet sich der Ressourcenlieferant für das „Heizkraftwerk Plantagenholz“ für einen lukrativeren Absatzweg und die Ersatzbeschaffung verteuert die Nahwärme, so können anstelle stabiler Gemeinschaften tief greifende Konflikte entstehen.

Für den aufwendigen Aufbau der RePro-Ketten bedarf es eines koordinierenden Kümmerers, der vor Ort Vertrauen genießt, fachlich leidlich kompetent und darüber hinaus in der Lage ist, Partikular- und Gemeinwohlinteressen auszubalancieren. Klassischerweise ist dieser Küm-

merer in Kommunalpolitik oder -verwaltung angesiedelt und unterliegt damit auch wechselnden politischen Mehrheiten und Werthaltungen. Um- oder Abbrüche beim Aufbau der Kette können die Mitwirkungsbereitschaft von Unternehmen und Bürgern drastisch und dauerhaft verringern.

5 Was bleibt unterm Strich?

Belastbare Nutzen-Risiko-Bilanzen können wir erst nach der Realisierung der RePro-Ketten erstellen. Einstweilen gilt es, die für die Regionen *und* den Re-Produktivitätsansatz relevanten Nutzen- und Risiko-Kategorien herauszuarbeiten und bei der Konzeption und Umsetzung im Auge zu behalten. Wertschöpfungs-, (Gemein-) Wohlstands- und Umweltkriterien gehen dabei Hand in Hand. Sicher ist, dass Gemeinschaften sensible Gebilde sind und dass Wertschöpfungsketten, die auf regionaler Gemeinschaftsbildung basieren, eines umsichtigen und ausgleichenden Managements bedürfen – eine anspruchsvolle Aufgabe, die Kontinuität und einen langen Atem erfordert.

Anmerkungen

- 1) Susanne Schön forscht am „inter 3 Institut für Ressourcenmanagement“ in Berlin, Soja Poblath und Özgür Yildiz forschen an der TU Berlin und Felix Drießen arbeitet für den Landkreis Wittenberg.
- 2) Der Forschungsverbund, bestehend aus inter 3 Institut für Ressourcenmanagement (Koordinator), Technische Universität Berlin, BTU Cottbus, Hochschule Anhalt, der Stadt Uebigau-Wahrenbrück und dem Landkreis Wittenberg, wird von 2010–2013 im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunkts „Nachhaltiges Landmanagement“ gefördert: <http://www.reproketten.de>.
- 3) Für einen Ansatz zur Bestimmung von regionalen Wertschöpfungseffekten vgl. Hirschl et al. 2010.
- 4) Für einen Ansatz zur Bestimmung von Beschäftigungseffekten infolge der Nutzung erneuerbarer Energien vgl. Staß et al. 2006.

Literatur

Biesecker, A.; Hofmeister, S., 2006: Die Neuerfindung des Ökonomischen. München

Baumbach, G.; Struschka, M.; Juschka, W. et al., 2010: Modellrechnungen zu den Immissionsbelastungen bei einer verstärkten Verfeuerung von Biomasse in Feuerungsanlagen der 1. BImSchV; <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3787.pdf> (download 8.11.11)

Busch, G.; Lamersdorf, N., 2010: Kurzumtriebsplantagen. Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft. Ergebnisse aus dem Projekt NOVALIS; <http://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/120410114219pelp.pdf> (download 15.3.11)

Difu – Deutsches Institut für Urbanistik, 2011: Netzwerke – Schlüssel zum Aufbau regionaler Wertschöpfung. In: Difu-Berichte 2 (2011); <http://www.difu.de/node/7615> (download 1.12.11)

Handlungskonzept „Nachhaltige Bevölkerungspolitik in Sachsen-Anhalt“, 2010; <http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=25459> (download 1.12.11)

Hirschl, B. et al., 2010: Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien. In: Schriftenreihe des IÖW 196/10 (2010), Berlin

Haaren, C. von; Saathoff, W.; Bodenschatz, T. et al., 2010: Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität unter besonderer Berücksichtigung der Klimarelevanz von Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege. Bonn-Bad Godesberg

Lind, B.; Stein, S.; Kärcher, A. et al., 2009: Where have all the flowers gone? Grünland im Umbruch. Empfehlungen und Hintergrundpapier des BfN, Bonn-Bad Godesberg

Lischeid, G., 2010: Landschaftswasserhaushalt in der Region Berlin-Brandenburg. Diskussionspapier 2. 01/2010. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppen. IAG Globaler Wandel – Regionale Entwicklung. Berlin

MUGV – Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, 2010: Querschnittsaufgabe Wasserhaushalt. Positionspapier Verwendung von gereinigtem Abwasser für Maßnahmen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts. Potsdam; <http://www.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2342.de/wasserhh.pdf> (download 29.10.11)

Murach, D.; Knur, L.; Schultze, M., 2008: Dendrom – Zukunftsrohstoff Dendromasse. Systemische Analyse, Leitbilder und Szenarien für die nachhaltige energetische und stoffliche Verwertung von Dendromasse aus Wald- und Agrarholz. Endbericht. Berlin,

Cottbus, Eberswalde; <http://dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall.pdf> (download 12.11.10)

Schmidt, P.A.; Glaser, T., 2010: Naturschutzfachliche Bewertung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemmann, A.; Knust, C. (Hg.): AGROWOOD. Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin

Splechtna, B.; Glatzel, G., 2005: Optionen der Bereitstellung von Biomasse aus Wäldern und Energieholzplantagen für die energetische Nutzung. Szenarien, ökologische Auswirkungen, Forschungsbedarf. Materialien der Interdisziplinären Arbeitsgruppe. Berlin; <http://edoc.bbaw.de/volltexte/2007/360/pdf/21xxpGVyURyY.pdf> (download 31.1.11)

Staiß, F. et al., 2006: Erneuerbare Energien: Arbeitsplatzeffekte – Wirkungen des Ausbaus erneuerbarer Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt. Berlin

Kontakt

Dr. Susanne Schön
inter 3 Institut für Ressourcenmanagement
Otto-Suhr-Allee 59, 10585 Berlin
E-Mail: schoen@inter3.de
Internet: <http://www.inter3.de>

« »

TATuP-Archiv

Die Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“ (TATuP), die seit ihrem 11. Jg. (2002) unter diesem Namen erscheint, besitzt ein kostenfreies Online-Archiv. Von 1992 bis 2001 erschienen redaktionelle Beiträge in den „TA-Datenbank-Nachrichten“. Das Vollarchiv aller Ausgaben ist kostenfrei online verfügbar unter <http://www.itas.fzk.de/deu/tatup/inhalt.htm>. Eine Übersicht der jeweiligen Schwerpunkte finden Sie unter <http://www.itas.fzk.de/tatup/schwerpunkt.htm>.

Technikfolgenabschätzung im Technikunterricht

Vorstellung einer Diplomarbeit und ihrer Ergebnisse

von Jean-Paul Löhr, Karlsruhe

Herstellung, Gebrauch und veränderte Verwendungszusammenhänge von Technik betreffen jeden Einzelnen und sind teilweise mit Folgen erheblicher Reichweite verbunden. Technisches Handeln muss folglich auch von jedem Einzelnen verantwortet werden. In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, wie Technikfolgenabschätzung in der schulischen Bildung zu verankern ist. „TA im Unterricht“ wird hier als sachliche, kritische Auseinandersetzung mit technikbezogenen gesellschaftlichen Problemen beschrieben. Ziel von TA im Unterricht soll sein, einen Beitrag zu leisten, dass Schüler Verantwortung beim technischen Handeln übernehmen, sie zu mündigen Bürgern in einer technisierten Welt werden und Hilfestellungen zur geistigen und seelischen Bewältigung von Technik erfahren.¹

1 Definition von TA im Rahmen schulischer Bildung

„Unter Technikfolgenabschätzung werden wissenschaftliche und kommunikative Beiträge zur Lösung technikbezogener gesellschaftlicher Probleme verstanden“, so Armin Grunwald in seiner Einführung in die Technikfolgenabschätzung (Grunwald 2002, S. 52). Wie könnte auf dieser Grundlage eine TA, die im Rahmen schulischer und allgemeiner Bildung gelehrt wird, aussehen?

TA im Unterricht bedeutet inhaltlich die sachliche, kritische Auseinandersetzung mit technikbezogenen gesellschaftlichen Problemen.

Wissenschaftlichkeit wird in der Schule zwar angestrebt, ist aber im schulischen Alltagsbetrieb, v. a. bis einschließlich der Sekundarstufe I allenfalls ansatzweise umzusetzen. Im Unterricht einzulösen, ist jedoch eine Sachlichkeit, die eine wissenschaftsorientierte und ausgewogene Arbeitsweise erfordert. Diese Sachlichkeit würde auch die Chance der Distanzierung und somit der tiefgreifenden Reflexion einer Technik und sich selbst gegenüber beinhalten. Die „kritische Auseinandersetzung mit

technikbezogenen gesellschaftlichen Problemen“ beinhaltet in dieser Definition, dass gesellschaftliche Kontexte und die Rolle einer Technik darin offen hinterfragt werden sollen.

Mit dem Aspekt der technikbezogenen gesellschaftlichen Probleme wird verdeutlicht, dass die Technik weiterhin im Mittelpunkt des Interesses steht, aber im unauflöslichen Verbund mit gesellschaftlichen Fragen.

Zwar können in der Schule kaum Beiträge zur Lösung der Probleme beige-steuert werden. Zweck und Ziel einer TA im Unterricht sollte das vertiefte Nachdenken über Technik durch den Schüler in Bezug zu sich und der Welt sein (vgl. Tuchel 1967, S. 78; Wiesmüller 2009, S. 11). Demnach wird der Beitrag zur Lösung der technikbezogenen gesellschaftlichen Probleme darin liegen, einen eigenen reflektierten Standpunkt und eine eigene qualifizierte, nachvollziehbare Meinung zu einer bestimmten Thematik aufzubauen. Hier geht es um die Hinführung und Stärkung der Mündigkeit der Schüler.

Klaus Tuchel verdeutlicht in Bezug auf den Beitrag der Schule zu einer technischen Bildung im Sinne eines vertieften Nachdenkens über Technik durch den Schüler in Bezug zu sich und der Welt, dass er im ungebrochenen selbstverständlichen Gebrauch der Technik die Herausforderung sieht, die technische Entwicklung kritisch und distanziert zu durchdenken (vgl. Tuchel 1967, S. 78). Da für Klaus Tuchel Technik mehr als nur Konsum, nämlich auch Teil der eigenen Lebensgestaltung ist, sei ein kritisches Nachdenken über Technik und deren Folgen erforderlich: „In der Erziehung des jungen Menschen muss seine Nähe zur Technik aufgeschlossen und ergänzt werden durch die Schaffung einer Distanz zu ihr. [...] Kritische Distanz lässt sich aus dem Nachdenken sowohl über geschichtliche Herkunft als auch die gegenwärtige wirtschaftlich-politische Bedingtheit der Technik gewinnen, aus dem Durchschauen ihrer wissenschaftlichen Grundlage ebenso wie aus dem Durchdenken ihrer sozialen Folgen. Erst die in der Erziehung vorbereitete Erschließung von Nähe und Distanz zur Technik schafft die Möglichkeit ihrer vernünftigen Einbeziehung in unser Leben“ (Tuchel 1967, S. 78).

Christian Wiesmüller, der sich Gedanken zum Technikunterricht als Hilfe zur geistigen und

seelischen Bewältigung von Technik gemacht hat, stellt die Frage, wie frei Menschen in der Technosphäre eigentlich sind (Wiesmüller 2009, S. 10). Damit fragt er nach den Möglichkeiten und Grenzen von Technik sowie nach der Problematik, wie Menschen die durch Technik gegebene Herausforderung geistig und psychisch bewältigen können. Welche Rolle werden Menschen in einer immer stärker technisierten Welt spielen?

Wiesmüller zeigt auf, dass Bildung eine lebenslange Anstrengung von Menschen sei, sich als freies geistiges Wesen zu entwickeln und so den Herausforderungen durch Technik zu begegnen. Denn Technik habe zwar zur Befreiung des Einzelnen beigetragen, aber sie führe in ihrer Ambivalenz auch zu einer kollektiven Abhängigkeit. Es sei demnach Aufgabe der Schule, die Bewältigung einer expandierenden Technik auf einer Ebene der nüchternen Handlungskompetenz wie auch auf der Ebene des Seelischen und Geistigen anzubahnen bzw. zu begleiten (Wiesmüller 2009, S. 10ff.). In Abschätzung zukünftiger Technologien ist nach Wiesmüller zu erwarten, dass jedem Einzelnen qualitativ mehr Verantwortlichkeit abverlangt werde als das rein instrumentelle Beherrschen von Technik, denn es könne nicht alles erlaubt sein, was (technisch) möglich oder gewollt wird. In diese neue Haltung der Verantwortlichkeit müsse aber grundlegend eingeführt werden.

2 Didaktische Begründung konkretisiert am Beispiel „Service-Roboter“

Robotik als Thema in der Schule bzw. im Technikunterricht erscheint gerade heute, da die Entwicklung und die konkrete Anwendung große Fortschritte macht und Roboter Einzug in unseren Alltag halten, notwendig. Die Technik muss verstanden werden, um ihr gewachsen zu sein und den Alltag (mit ihr) meistern zu können. Ein Verharren rein in der Sachperspektive bzw. die unzureichende Beachtung der Fachdidaktik durch die Techniklehrer scheint gängige Praxis im Technikunterricht zu sein. Ein gesellschaftlich so bedeutendes Thema wie die Robotik, die in naher Zukunft noch so manche Veränderung bewirken wird, wird in der Schule wohl oft nicht ausreichend aus einer Sinn- und Wertperspektive betrachtet und reflektiert (Schmayl 2010, S. 23; Löhr 2011, S. 53ff.). Schon in der Schule,

dem Ort der institutionalisierten Hinführung zur Mündigkeit, zur verantwortungsvollen Eingliederung in die Gesellschaft hat eine Auseinandersetzung mit den Handlungen und der Technik sowie den daraus resultierenden Folgen stattzufinden (Schmayl 2010, S. 11f.; Sachs 2001, S. 6f.).

Was könnte eine TA zum Thema „Service-Roboter“ im Technikunterricht beinhalten? Die Etablierung der TA im Unterricht als ein die Problem- und Handlungsfelder übergreifender, fest verankerter Inhalt des Technikunterrichts im Sinne der Beschäftigung mit den Herausforderungen der Technik an ausgewählten Beispielen, wie z. B. „Service-Roboter in unterschiedlichen Lebensbereichen“, könnte einen großen Gewinn darstellen.

Im Folgenden werden mögliche methodische Grundformen samt beispielhafter Themen und Beschreibungen zur Umsetzung von TA als Inhalt im Unterricht aufgelistet:

(Historische) Technikstudie, auch als WebQuest

Mit der Methode der Technikstudie nach den Definitionen von Winfried Schmayl und Daniel Bienia soll die Erschließung der sozial-humanen Zusammenhänge der Technik im Wechselspiel zwischen technischen Entwicklungen und gesellschaftlichen Veränderungen, bedingt durch Werte, Normen, Ideen, Meinungen und politische Entscheidungen, ermöglicht werden (Schmayl 1999, S. 14; Bienia 2004, S. 140ff.). Als WebQuests werden Lehr- und Lernarrangements bezeichnet, die über das Inter- oder Intranet zur Verfügung gestellt werden und die zum Ziel haben, Schülern Quellen als Ausgangspunkte für die eigenständige Bearbeitung einer Aufgabe zur Verfügung zu stellen, um eine selbstständige Konstruktion von Wissen zu ermöglichen (Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen in Baden-Württemberg 2012).

In einer Kombination dieser beiden Methoden ließen sich auch Themen wie „Roboter in der Landwirtschaft – Kein Problem?!“ und „Automaten und Roboter im Alltag von Gestern und Heute“ im Unterricht erarbeiten: Auch außerhalb der Industrie haben sich Roboter etabliert. Die Informationen hierzu sind umfangreich und gut zugänglich. Mithilfe eines WebQuest wird der Suchraum für die Schüler eingegrenzt und er-

leichtert. Fragen- oder aufgabengestützt können die Schüler Studien zu diesem Thema anfertigen, d. h. den „State of the Art“ beschreiben, erweiterte Fragen stellen und Stellung beziehen.

Fallstudie

Eine Fallstudie ist nach den Beschreibungen von Fritz Wilkening und Winfried Schmayl eine praxisbezogene, fachübergreifende Methode zum Erlernen einer mündigen Problemlösung und Entscheidungsfindung in komplexen Zusammenhängen (Schmayl 1999, S. 14; Wilkening 1977, S. 123ff.).

In einer Fallstudie, beispielsweise unter dem Titel „Können Roboter Pflegepersonal im Bereich der Altenpflege ersetzen?“, könnten die Schüler anhand von Fragen nach den technischen Möglichkeiten, dem gesellschaftlichen Bedarf, den Anliegen von Pflegebedürftigen oder der medizinischen/fürsorglichen Notwendigkeit zu einer Beurteilung der Lage und einer daran anschließenden Entscheidung kommen.

Technolog

Christian Wiesmüller beschreibt diese Methode in Anlehnung an ein Logbuch oder einen Blog. Dieses subjektive Selbstgespräch in schriftlicher Form könne nach ihm auf das Oberthema „Ich und die Technik“ konzentriert werden. Technik und ihre Folgen würden zu einem persönlichen und geäußerten Thema aus subjektiver Sicht (Wiesmüller 2009, S. 17).

Unter der Überschrift „Meine Welt MIT oder OHNE Roboter“ könnten sich Schüler mit folgenden Fragen beschäftigen, Statements dazu abgeben und sich v. a. mit dieser Thematik selbstreflexiv auseinandersetzen: Wo begegne ich Robotern in meinem Alltag? Inwieweit bin ich schon auf Roboter angewiesen? Wie ist meine Beziehung zu Robotern? Wie könnte sich meine Beziehung zu Robotern ändern? Was erhoffe ich mir von Robotern der Zukunft? Welche Befürchtungen habe ich in Bezug auf Roboter?

Kleines Technikmuseum

Auch diese methodische Überlegung wurde von Christian Wiesmüller beschrieben. Die Grundin-

tion ist die Umsetzung des musealen Gedankens des Sammelns, Ausstellens und der kritischen Auseinandersetzung mit Artefakten durch die Schüler (Wiesmüller 2009, S. 286).

Die Schüler könnten sich unter den Themen „Bildnisse von Menschen und Robotern“ bzw. „Manuelle Arbeit – Automaten – Roboter“ mit Robotern und Vorstellungen bzw. Beschreibungen von diesen befassen oder sie könnten sich mit selbstkonstruierten Modellen den Werdegang von Automaten und Robotern aufzeigen und ihre Ergebnisse ausstellen. Im Sinne einer TA sollte ein besonderes Augenmerk auf die Auswirkungen der Etablierung von Robotern auf die Gesellschaft gelegt werden: Arbeitsmarkt, Wohlstand, Gesundheit, Freizeit, Gefühlslagen und Stimmungen.

In Anlehnung an ein Analyseinstrument der Politikwissenschaft und die „Kategorien politischer Bildung in der Phasenstruktur einer Problemanalyse“ nach Sutor wird in Tabelle 1 ein Raster zur Strukturierung von TA-Themen für den Unterricht vorgestellt (Sutor 1992; Meyer 2000, S. 83ff.).

Nach Auswahl eines Themas in der Vorphase schließen sich drei Phasen an: (1) die Situationsanalyse mit der Frage, was ist, (2) die Möglichkeitserörterung mit der Frage, was sein wird, und (3) die Phase der vorläufigen Urteilsbildung mit der Frage, was geschehen sollte. Alle drei Phasen sind durch die drei Dimensionen – Form/Struktur, Inhalt und Prozess – gleichermaßen durchdrungen. Beispielhaft soll dies in Tabelle 2 veranschaulicht werden.

So soll es möglich sein, die Bedingungen und Folgen möglichst umfassend zu erfassen und die Thematik zu durchdringen, entscheidende Fragen zu stellen und ein vorläufiges Urteil zu fällen. Des Weiteren dient es der Vorbereitung des Themas durch den Lehrer, kann aber auch eingesetzt werden, um den Schüler bei der Bearbeitung eines TA-Themas im Unterricht behilflich zu sein.

Anmerkung

- 1) Der Artikel basiert auf den Ergebnissen meiner Diplomarbeit zum Thema „Technikfolgenabschätzung im Technikunterricht“, die ich im WS 2010/2011 an der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe bei Prof. Wolf Bienhaus und Prof. Dr. Christian Wiesmüller abgeschlossen habe.

Tab. 1: Raster zur Strukturierung von TA-Themen im Technikunterricht

<i>Raster</i>			
<i>Vorphase</i>	<i>Auswahl und Planung des Themas nach: Aktualität/Betroffenheit/Interesse/Bedeutung/Zugänglichkeit</i>		
	Form/Struktur	Inhalt	Prozess
Was ist?	Vorhandene Technologien und Verfahren	Ideen, Träume, Utopie	Interessen
SITUATIONSANALYSE	Gesetze	Innovationen	Akteure
Was wird sein?	Normen	Trends	Betroffene
MÖGLICHKEITSERÖRTERUNG	Werte	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	Konflikt
Was sollte geschehen?	Gesellschaftliche Bedingungen	Bedarfe	
URTEILSBILDUNG		Problematiken	

Quelle: Eigene Darstellung

Tab. 2: Exemplarische Veranschaulichung zum Umgang mit dem Raster zur Strukturierung von TA-Themen im Technikunterricht am Beispiel von Servicerobotern in der Pflege

<i>Beispiel: Fragen zum TA-Thema Roboter in der Pflege</i>		
	<i>Mögliche Fragen</i>	<i>Beispielhafte Kurzantworten</i>
Situationsanalyse	Form/Struktur: Welche Roboter für den Einsatz in der Pflege existieren schon?	Care-O-bot, Paro
	Inhalt: Welche Ziele werden derzeit bei der Entwicklung von Robotern für die Pflege verfolgt?	Sichere und autonome Handreichungen; Unterhaltung; Fortbewegung
	Prozess: Wer ist daran interessiert, Roboter in der Pflege einzusetzen?	Gesellschaft – demografischer Wandel; Pfleger – Entlastung bei der Arbeit; Pflegebedürftige – Wahrung der Intimsphäre; Forschung
Möglichkeitserörterung	Form/Struktur: Welche Werte werden durch den Robotereinsatz tangiert?	Persönlichkeitsrechte; Privatsphäre; Freiheit; Datensicherheit
	Inhalt: Welche Entwicklungen im Bereich der Robotik werden von besonderer Relevanz sein?	Selbstreferenzielle, lernende Roboter, hinsichtlich Autonomie, Sicherheit, Verantwortung und Menschenbild
	Prozess: Welche Folgen sind für die Betroffenen in der Pflege durch den Einsatz von Robotern zu erwarten?	Stärkere Abhängigkeit von Maschinen; Entwöhnung von Menschen
Urteilsbildung	Form/Struktur: Welche Gesetze könnten notwendig sein, den Einsatz von Robotern in der Pflege zu regeln?	Regelungen zu Einsatzzwecken und Einsatzzeiten von Robotern und Pflegern bei der Betreuung der Bedürftigen
	Inhalt: Welche Bedarfe sollten Roboter unbedingt erfüllen?	Menschenwürdiger Umgang mit Patienten; sichere Betreuung von Demenzkranken
	Prozess: Wie sind die Akteure hinsichtlich der Übernahme von Verantwortung einzubinden?	Ethikkommissionen; geteilte Verantwortung aller

Quelle: Eigene Darstellung

Literatur

Beecroft, R.; Dusseldorp, M., 2009: TA als Bildung. Ansatzpunkte für Methodologie und Lehre. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 18/3 (2009), Karlsruhe, S. 55–64; <http://www.itas.fzk.de/tatup/093/bedu09a.pdf> (download 11.1.12)

Berken, D., 2010: Technikfolgenabschätzung als Gegenstand technischer Allgemeinbildung. In: *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht* 138 (2010), Villingen-Schwenningen, S. 12–20

Bienia, D., 2004: Technikgeschichte als Gegenstand allgemeiner technischer Bildung. Didaktische und methodische Aspekte für den Technikunterricht. Hamburg

Grunwald, A., 2002: Technikfolgenabschätzung – Eine Einführung. Berlin

Landesakademie für Fortbildung und Personalentwicklung an Schulen in Baden-Württemberg, 2012: Was sind WebQuests? <http://lehrerfortbildung-bw.de/unterricht/webquest/definition.html> (download 16.4.12)

Löhr, J.P., 2011: Technikfolgenabschätzung im Technikunterricht. Diplomarbeit PH Karlsruhe

Meyer, T., 2000: Was ist Politik? Opladen

Sachs, B., 2001: Technikunterricht: Bedingungen und Perspektiven. In: *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht* 100/2 (2001), Villingen-Schwenningen, S. 5–12

Schmayl, W., 2010: Didaktik allgemeinbildenden Unterrichts. Baltmannsweiler

Schmayl, W., 1999: Zur Methodik des Technikunterrichts. In: *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht* 93/3 (1999), Villingen-Schwenningen, S. 5–15

Sutor, B., 1992: Politische Bildung als Praxis: Grundzüge eines didaktischen Konzepts. Schwalbach

Tuchel, K., 1967: Herausforderung der Technik. Gesellschaftliche Voraussetzungen und Wirkungen der technischen Entwicklung. Bremen

Wiesmüller, C., 2009: Technikunterricht als Hilfe zur geistigen und seelischen Bewältigung der Technik. In: *tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht* 131 (2009), Villingen-Schwenningen, S. 10–17

Wilkening, F., 1977: Unterrichtsverfahren im Lernbereich Arbeit und Technik. Ravensburg

Kontakt

Jean-Paul Löhr
Rhode-Island-Allee 49, 76149 Karlsruhe
E-Mail: loehrs@googlegmail.com



Stadtverkehr der Zukunft

Was denken junge Karlsruherinnen und Karlsruher?

von Maike Puhe und Jens Schippl, ITAS

1 Projekthintergrund

Auf dem Weg zur Arbeit oder zur Schule, in der Freizeit oder für alltägliche Erledigungen – Menschen sind darauf angewiesen, mobil zu sein. Schneller, zuverlässiger, sicherer, kostengünstiger und möglichst umweltverträglicher Verkehr ist ein zentrales Ziel nachhaltiger Stadtplanung, trägt maßgeblich zu einer hohen städtischen Lebensqualität bei und leistet einen wesentlichen Beitrag zur wirtschaftlichen Prosperität einer Stadt. Das stetige Verkehrswachstum, insbesondere des motorisierten Individualverkehrs, führt hingegen zu einer reduzierten Effizienz des Verkehrssystems und beeinträchtigt die Lebens- und Umweltqualität der Städte. Neben steigenden CO₂-Emissionen sind Menschen in städtischen Agglomerationen den Folgen von Lärm, Stau, Unfallrisiko und Flächenverbrauch ausgesetzt. Für die Zukunft wird besonders beim Güterverkehr weiteres Wachstum erwartet, wenn beim Personenverkehr eine gewisse Sättigung eintritt (infas, DLR 2010).

Die Entwicklung und Verbreitung innovativer Technologien und Nutzungskonzepte spielt in vielen Konzepten zur Lösung der genannten Herausforderungen in verschiedenen urbanen Räumen eine wichtige Rolle. Neue Antriebstechnologien wie die Elektromobilität, aber auch Informations- und Kommunikationstechnologien sollen helfen, Verkehr sauberer zu machen, auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel zu verlagern oder gar zu vermeiden und so negative Auswirkungen wie z. B. CO₂-Emissionen zu reduzieren.¹

Das STOA-Projekt „Urban Transport“, das den inhaltlichen Rahmen dieses Beitrags liefert, betrachtet Innovationen, die den oben genannten Herausforderungen entgegenwirken, sowie Faktoren, welche die Diffusion dieser Innovationen beeinflussen können. Ziel des Projekts ist es, Erfolg versprechende Entwicklungspfade für zukünftiges politisches Vorgehen aufzuzeigen, welche zu einem nachhaltigen städtischen Verkehrssystem

führen können. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Wechselwirkungen zwischen technischen Entwicklungen und deren Verbreitung auf der einen Seite und dem Mobilitätsverhalten auf der anderen Seite. Vor diesem Hintergrund ist es entscheidend, die Wahrnehmungen und Beweggründe der Teilnehmer des Stadtverkehrs zu berücksichtigen. Dies wurde durch eine umfangreiche Literaturrecherche sowie durch ein eigenes empirisches Modul gewährleistet. Dieses empirische Modul des Projekts bestand aus drei sog. „citizen interviews“ (Bürgergesprächen), die im Juni und Juli 2011 in drei europäischen Städten (Karlsruhe, Kopenhagen und Budapest) durchgeführt wurden. Dieser Artikel gibt einen kurzen Einblick in die angewendete Methode und beleuchtet die Ergebnisse der Karlsruher Gespräche.²

2 Zur Methodik des Bürgergesprächs

Ein Bürgergespräch bzw. „citizen interview“ ist eine Methode der qualitativen Sozialforschung und dient dazu, Erwartungen und Präferenzen einer Gruppe von Menschen bezüglich komplexer Zusammenhänge bzw. Technologien zu erfassen. Im Unterschied zu vielen quantitativen Ansätzen geht es nicht darum, Repräsentativität zu erreichen. Es soll, ähnlich der Fokusgruppendifkussion, die Gruppeninteraktion genutzt werden, um Daten und Einsichten zu generieren, die sich als isolierte Meinung womöglich anders darstellen würden oder erst gar nicht zu erfassen wären (s. Morgan 1988; Edmunds 1999). Dennoch unterscheidet sich das Bürgergespräch in einigen Punkten maßgeblich von Fokusgruppendifkussionen.

Ein Bürgergespräch gliedert sich in der Regel in zwei Phasen der Datengenerierung. In der ersten Phase füllen alle Teilnehmer einen Fragebogen aus, in dem sie zu ihren Einstellungen und Präferenzen bezüglich einer Technologie, einer (zukünftigen) technologischen Entwicklung oder bestimmter Probleme und Herausforderungen befragt werden. In der zweiten Phase diskutieren die Teilnehmer in Kleingruppen von sechs bis zehn Personen. In den Diskussionen wird von den gleichen Fragestellungen ausgegangen wie in der ersten Phase. Die Gruppen werden von einem Moderator begleitet, der jedoch auf eine allzu starke Steuerung der Dynamik verzichtet und lediglich

durch die Einführung neuer Fragen die Diskussion vertieft oder um bestimmte Themen und Teilbereiche erweitert. Die beiden Phasen ergänzen sich dabei gegenseitig. Während der Fragebogen garantiert, dass Einstellungen und Verhaltensweisen aller Teilnehmer in der Auswertung berücksichtigt werden und dass es vergleichbare Daten zu den wichtigsten Aspekten gibt, ermöglichen die Gruppendiskussionen, dass die Teilnehmer einzelne Aspekte ausführen, gewichten und begründen können sowie die Möglichkeit erhalten, Aspekte anzusprechen, die der Fragebogen evtl. nicht abgedeckt hat. Auf diese Weise stellen die Bürgergespräche eine Möglichkeit dar, die verschiedenen Wünsche, Einstellungen, Bedenken und Vorstellungen der Befragten zu erfassen. Außerdem ermöglicht es einen Einblick in die Vielfalt der Argumente für oder wider bestimmte Entwicklungen und zeigt auf, wie die Teilnehmer bestimmte Argumente gewichten (s. DBT 2006).

In dem Projekt „Urban Transport“ liegt der Fokus auf jungen Stadtbewohnern zwischen 20 und 30 Jahren. Diese Gruppe gilt als besonders aufgeschlossen gegenüber Informations- und Kommunikationstechnologien und sie gilt generell als offen bei der Erprobung neuer Handlungsweisen. Eine Literaturrecherche hat gezeigt, dass diese Gruppe als besonders flexibel hinsichtlich ihres Verkehrsverhaltens und hinsichtlich der Nutzung innovativer Technologien und Konzepte betrachtet werden kann (vgl. Puhe, Schippl 2011b).

An allen drei Bürgergesprächen nahmen insgesamt je ca. 30 Personen teil. Die Dauer betrug jeweils etwa drei Stunden. Nach einer Teilnahmebestätigung erhielten die Teilnehmer am Bürgergespräch Informationsmaterial, welches Szenarien dreier fiktiver Personen beinhaltete, die verschiedene Sichtweisen auf mögliche technologische Trends und Herausforderungen der kommenden 20 bis 30 Jahre verkörperten. Außerdem enthielt das Material eine Liste von Erklärungen verschiedener Begriffe und Technologien, die in den Szenarien angesprochen wurden. Darüber hinaus erhielten die Teilnehmer zu Beginn der Bürgergespräche eine Einführung in aktuelle Trends und Herausforderungen des städtischen Verkehrs. Ebenso wurden die drei fiktiven Figuren noch einmal vorgestellt. Damit sollte ein möglichst einheitlicher Wissensstand gewährleistet und den

Teilnehmern eine sachliche Meinungsbildung ermöglicht werden. Diese Vorgehensweise fand in allen drei Städten Anwendung.

Insgesamt wurden 2.500 Einladungen aus einer Zufallsstichprobe des Einwohnermeldeamtes der Stadt Karlsruhe verschickt. Zu dem Bürgergespräch Ende Juli erschienen 31 Karlsruher und Karlsruherinnen. Aufgrund der Selbstselektion konnte jedoch nur eine relativ homogene Gruppe in Bezug auf den Bildungsabschluss gewonnen werden. Alle Teilnehmer hatten mindestens eine abgeschlossene Berufsausbildung, 41 % waren Studenten. Unter den Teilnehmern waren elf Frauen und 20 Männer. Nur eine Teilnehmerin hatte bereits ein Kind.

3 Ergebnisse

Um zu Beginn der Gruppendiskussionen eine Vorstellung davon zu bekommen, was die Teilnehmer über städtischen Verkehr denken und welche Rolle er in ihrem Leben spielt, wurden die Teilnehmer in einer Aufwärmphase gebeten, nacheinander ihre Gedanken zur Lebensqualität in Karlsruhe zu äußern. Es zeigte sich, dass die Teilnehmer eine klare Vorstellung davon haben, was sie in ihrer Stadt als lebenswert erachten. So ist es ihnen wichtig, verschiedene Optionen für ihre Freizeitgestaltung vorzufinden sowie ein ausreichendes Angebot an Grünflächen und Einkaufsmöglichkeiten in der Stadt zu haben. Karlsruhe scheint diesem Anspruch weitgehend gerecht zu werden; die Teilnehmer betonen die vielfältigen städtischen Angebote (z. B. Kino, Theater, Einkaufsmöglichkeiten) bei gleichzeitig kurzen Distanzen. Dies ist möglicherweise ein Grund dafür, dass die Mehrzahl der Befragten täglich Rad fahren oder zu Fuß ihre Wege zurücklegen. Außerdem schätzen sie das öffentliche Nahverkehrssystem in Karlsruhe und nutzen dies nach eigener Angabe regelmäßig. Der Fragebogen ergab, dass neben den Mietpreisen die Nähe zum öffentlichen Nahverkehr ein entscheidender Faktor für ihre Wohnortwahl war.

Auffällig, aber durchaus in Übereinstimmung mit anderen Studien ist die Erkenntnis, dass Umweltgesichtspunkte und auch Sicherheitsaspekte bei der Verkehrsmittelwahl eine untergeordnete Rolle spielen. Die Befragten wollen vor allem schnellen Zugang zu den gewünschten

Zielen. Allerdings spielen Umweltaspekte wie saubere Luft und ausreichend Grünflächen bei der Beurteilung der Lebensqualität in der Stadt wieder eine wichtige Rolle.

Kontroverse Diskussionen ergaben sich insbesondere in Bezug auf Maßnahmen, die den Teilnehmern als geeignet erschienen, Menschen zu einer Veränderung ihres Verkehrsverhaltens zu bewegen. Einige der Diskutanten sind der Auffassung, dass sogenannte „Push-Maßnahmen“, also Restriktionen, höhere Preise oder auch Zufahrtsbeschränkungen, eine geeignete Möglichkeit darstellen, um Menschen zum Umstieg auf umweltfreundlichere Verkehrsmittel zu bewegen. Hintergrund dieser Argumentationslinie ist die Auffassung, dass Menschen erst dann zum Umstieg bereit seien, wenn sie die realen Kosten tatsächlich im Geldbeutel zu spüren bekämen. Dem gegenüber steht die Auffassung einiger Teilnehmer, dass Menschen sich, insbesondere in Bezug auf ihr Verkehrsverhalten, an höhere Preise gewöhnen und mittel- bis langfristig ihr Verhalten nicht ändern würden. Insbesondere die stetig steigenden Benzinpreise der letzten Jahre galten den Teilnehmern als Beweis, dass Verbraucher sich zwar anfangs über höhere Preise ärgerten, sich dann aber schnell an die Preise gewöhnten. Die Gegner von restriktiven Maßnahmen sprachen sich meist für sogenannte „Pull-Maßnahmen“ aus, die durch Attraktivitätssteigerungen der alternativen Verkehrsinfrastruktur (z. B. bessere Radwege, mehr Berücksichtigung der Fußgänger) Menschen zu einem veränderten Verkehrsverhalten bewegen sollen. Große Einigkeit bestand bei der Mehrzahl der Teilnehmer darin, dass es die geeignetste Maßnahme zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes in der Stadt sei, das Fahrrad- und Fußgängernetz der Stadt zu erweitern sowie in den öffentlichen Nahverkehr zu investieren.

In Bezug auf den Nutzen von Elektroautos gab es ebenfalls kontroverse Meinungen. Während einige Teilnehmer die Meinung vertraten, dass E-Autos die städtische Umweltqualität verbessern, argumentierten Kritiker, E-Autos seien nicht in der Lage, städtische Verkehrsprobleme wie Staus oder Sicherheitsaspekte zu lösen. Außerdem wurde angemerkt, dass Elektroautos erst dann „sauberer“ wären, wenn die benötigte Elektrizität aus regenerativen Quellen käme.

In allen Kleingruppen wurde über Gleichheitsaspekte von Verkehrspolitik diskutiert. Dabei stellte sich heraus, dass es dem größten Teil der Teilnehmer wichtig ist, dass Verkehrsangebote allen Bürgern gleichermaßen zur Verfügung stehen und niemand von bestimmten Angeboten ausgeschlossen wird – unabhängig davon, wie viel Geld jemand für seine Mobilität ausgeben kann. Mehrmals wurde angesprochen, dass preisliche Maßnahmen wie eine City-Maut die Gefahr bergen, zum Nachteil derjenigen zu geraten, die auf Individualverkehr angewiesen sind. So könnte eine City-Maut den Handel negativ treffen, wohingegen diejenigen, die es sich jetzt leisten können, in der Innenstadt einen SUV zu fahren, dies womöglich auch in Zukunft bezahlen könnten. Der Mehrzahl der Teilnehmer ist es wichtig, dass alle Bürger der Stadt gleiche Rechte genießen und nicht diejenigen, die einen besonderen Status genießen, in irgendeiner Form von Restriktionen ausgenommen werden.

Die Mehrheit der Teilnehmer ist der Meinung, die Politik müsste die führende Rolle bei der Bewältigung der Verkehrsprobleme übernehmen. Insbesondere die Kommunalpolitik sehen sie dabei in der Verantwortung. Städte seien verschieden und hätten mit unterschiedlichen Herausforderungen zu kämpfen, dementsprechend sollten auch Probleme auf lokaler Ebene gelöst werden. Die Teilnehmer erkennen aber auch die Verantwortung jedes Einzelnen und betonen, dass sich jeder so verhalten solle, dass er als Vorbild für andere dienen könne. Alle Teilnehmer gaben im Fragebogen an, sie seien dazu bereit, ihr Verkehrsverhalten zu ändern, um CO₂-Emissionen zu reduzieren.

4 Fazit

Die Erkenntnisse der Bürgergespräche decken sich weitgehend mit aktuellen Forschungsergebnissen, wonach eine wachsende Gruppe Jugendlicher und junger Erwachsener eine veränderte Einstellung zum Stadtverkehr allgemein und zu ihrer eigenen Individualmotorisierung zeigt.³ Aktuelle Forschungen beobachten, dass junge Städter eine zunehmend pragmatische Haltung in Bezug auf ihre Mobilität entwickeln als vorherige Generationen. Die Generation der heute 20-

bis 30-Jährigen ist des Öfteren intermodal, d. h. sie greifen je nach Situation zu dem Verkehrsmittel, welches ihnen in dem jeweiligen Moment als am besten geeignet erscheint, und dies ist immer weniger das eigene Auto. Umweltgesichtspunkte scheinen allerdings kein wesentlicher Treiber für dieses Verhaltensmuster zu sein.

Auch die Aussagen und Einstellungen der jungen Karlsruher deuten in diese Richtung. So betonen sie an verschiedenen Stellen, das Fahrrad gegenüber dem Auto zu bevorzugen, da es in der Stadt das schnellere Verkehrsmittel sei. Generell teilen sie die Meinung, dass Maßnahmen ergriffen werden sollten, die Menschen zu einem veränderten Verkehrsverhalten zu bewegen. Die Ausgestaltung dieser Maßnahmen ist aber Gegenstand kontroverser Diskussionen. Einige sympathisieren mit erhöhten Preisen für den motorisierten Individualverkehr, andere würden den Ausbau der umweltfreundlicheren Verkehrsmittel bevorzugen. Einige sind sich die Teilnehmer darin, dass jedem Bürger in gleicher Weise Zugang zu Mobilität gewährleistet werden sollte.

Insgesamt zeigte sich die Durchführung der Bürgergespräche als geeignete Methode, die Einstellungen, Befürchtungen und Hoffnungen der Teilnehmer zu erheben. Als problematisch erwies sich einzig die freiwillige Teilnahme. Durch Selbstselektion konnte in Bezug auf die Bildungsabschlüsse lediglich eine relativ homogene Gruppe generiert werden. In Bezug auf neue Verkehrsdienstleistungen und -technologien erscheint dies jedoch vernachlässigbar, da die Gruppe der gut ausgebildeten jungen Städter generell als „early adopters“ gelten. Nach Rogers (2003) bedarf es eben dieser „early adopters“, um Innovationen erfolgreich zu implementieren, bevor es zu breiter Anwendung kommt.

Anmerkungen

- 1) Für weitere Informationen siehe Puhe und Schippl 2011a und dies. 2011b.
- 2) An der Durchführung der Bürgergespräche in Karlsruhe waren neben Jens Schippl und Maike Puhe auch Sarah Meyer und Michael Reuss (alle ITAS am KIT) beteiligt.
- 3) Siehe z. B. KIT 2010 und FHDW 2010.

Literatur

DBT – Danish Board of Technology, 2006: Preparatory Action on the Enhancement of the European Industrial Potential in the Field of Security Research. Del. 1.3 WP 5 Manual Description of interview meeting and the training course

Edmunds, H., 1999: The Focus Group. Research Handbook. American Marketing Association. NTC Business Books. Chicago

FHDW – Fachhochschule der Wirtschaft, 2010: Jugend und Automobil. Eine empirische Studie zu Einstellungen und Verhaltensmustern von 18 bis 25-Jährigen in Deutschland. Bergisch Gladbach; http://www.wuv.de/w_v_research/studien/jugend_und_automobil_2010 (download 24.3.11)

infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft, DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2010: Mobilität in Deutschland. Ergebnisbericht. Struktur-Aufkommen-Emissionen-Trends. Berlin

KIT – Karlsruher Institut für Technologie, 2010: Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – wissenschaftliche Begleitung und erste Auswertungen. Karlsruhe

Morgan, D.L., 1988: Focus Groups as Qualitative Research. Newbury Park, CA

Puhe, M.; Schippl, J., 2011a: Innovative Technologies and Business Concepts for Sustainable Urban Transport. Brussels: European Parliament/Science and Technology Options Assessment (STOA) 2011 (IP/A/STOA/FWC/2008-096/LOT2/C1/SC3; ETAG – European Technology Assessment Group (STOA-ETAG))

Puhe, M.; Schippl, J., 2011b: Urban Transport – Paradigms, Mobility Patterns and Policy Options. Brussels: European Parliament/Science and Technology Options Assessment (STOA) 2011 (IP/A/STOA/FWC/2008-096/LOT2/C1/SC3; ETAG – European Technology Assessment Group (STOA-ETAG))

Rogers, E.M., 2003: Diffusion of Innovations. New York

Kontakt

Dipl.-Geogr. Maïke Puhe
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 31 18
E-Mail: maike.puhe@kit.edu

« »

Autorenhinweise

Wir bitten alle Autorinnen und Autoren, die ein Manuskript bei TATuP einreichen, die folgenden Hinweise zu beachten:

Umfang: Eine Druckseite umfasst max. 3.500 Zeichen (ohne Leerzeichen). Für den Umfang eines Beitrags ist die Rubrik, in der er erscheint, ausschlaggebend. Genauere Angaben erhalten die Autoren von der Redaktion.

Abstract: Autoren, deren Beiträge im Themenschwerpunkt des Heftes oder in den Rubriken TA-Konzepte und -Methoden und Diskussionsforum sowie TA-Projekte erscheinen, werden gebeten, ihrem Beitrag ein Abstract voranzustellen, in dem eine kurze inhaltliche Übersicht über den Beitrag gegeben wird. Die Länge dieses Abstracts sollte 780 Zeichen (ohne Leerzeichen) nicht überschreiten.

Abbildungen, Diagramme und Tabellen: Abbildungen und Tabellen sind sowohl in das eingereichte Manuskript einzufügen sowie auch getrennt von der ersten Fassung des Manuskripts einzusenden. Abbildungen und Tabellen bitte mit Überschrift und Quellenangabe versehen. Wurden sie vom Autor selbst erstellt, bitte die Formulierung „eigene Darstellung“ als Quellenangabe verwenden. *Zum Format:* Tabellen sind als Word-Datei, Diagramme in Excel und Abbildungen in Adobe Illustrator oder Powerpoint zu liefern. Sollten Sie lediglich andere Formate zur Verfügung haben, wenden Sie sich bitte frühzeitig an die Redaktion. Aus Gründen der Seitenplanung und des Layouts liegt die Entscheidung über die endgültige Größe und Platzierung der Abbildungen und Tabellen innerhalb des Beitrags bei der Redaktion.

Bibliografische Angaben: Die zitierte Literatur wird am Ende des Beitrags als Liste in alphabetischer Reihenfolge angegeben. Im Text selbst geschieht dies in runden Klammern (z. B. Wieglerling 2011); bei Zitaten ist die Seitenangabe hinzuzufügen (z. B. Fink, Weyer 2011, S. 91). Bei den Angaben in der Literaturliste orientieren Sie sich bitte an folgenden Beispielen:

Monografien: Wieglerling, K., 2011: Philosophie intelligenter Welten. München

Bei Aufsätzen: Fink, R.D.; Weyer, J., 2011: Autonome Technik als Herausforderung der soziologischen Handlungstheorie. In: Zeitschrift für Soziologie 40/2 (2011), S. 91–111

Bei Beiträgen in Sammelbänden: Mehler, A., 2010: Artificielle Interaktivität. Eine semiotische Betrachtung. In: Sutter, T.; Mehler, A. (Hg.): Medienwandel als Wandel von Interaktionsformen. Heidelberg

Bei Internet-Quellen: Waterfield, J., 2006: From Corporation to Transnational Pluralism. London; <http://www.plugin-tot.com> (download 12.3.09)

REZENSIONEN

Endlich: Die Wissenschaft beginnt, sich der Klima-Skeptiker anzunehmen

N. Oreskes, E.M. Conway: Merchants of Doubt. How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming. New York: Bloomsbury Press, 2010, 355 S., ISBN 978-1-596-91610-4, 21,99 €

Rezension von Hans-Jochen Luhmann, Wuppertal-Institut

Klima-Skeptizisten verneinen die Existenz bzw. die wissenschaftliche Belegbarkeit des menschgemachten Klimawandels. Der Klima-Skeptizismus ist somit der Widersänger der Wissenschaft. Es gibt Klima-Skeptizisten auch unter Wissenschaftlern. In den Medien werden sie überproportional repräsentiert, sie stellen einen bedeutenden Faktor des Einflusses auf das öffentliche Bewusstsein dar. Insbesondere in den USA ist ihr Einfluss groß, aber auch in Deutschland sind sie in Kreisen der Eliten vertreten und machen ihren Einfluss geltend, wenn auch hier mehr Verschwiegenheit waltet. Am bekanntesten in Deutschland sind vermutlich Altbundeskanzler und (ehemaliger) ZEIT-Herausgeber Helmut Schmidt, der langjährige SPIEGEL-Herausgeber Stefan Aust sowie (ausgerechnet) der Chef der RWE-Erneuerbaren-Tochter und ehemalige Hamburger Umweltsenator Fritz Vahrenholt. Global am bekanntesten ist aktuell zweifelsohne Fred Singer aus den USA. Er war im Jahr 2010 interfraktionell in den Deutschen Bundestag eingeladen, was deshalb durch die Medien ging, weil aus diesem Anlass sich ausgerechnet die umweltpolitische Sprecherin der CDU/CSU-Fraktion öffentlich als „eigentliche“ Skeptikerin outete. Über Hintergrundstrukturen des Skeptizismus ist wenig bekannt. Dass sie existieren, ist zu erwarten.

1 Die wissenschaftshistorische Perspektive

Das Phänomen des (Klima-)Skeptizismus geht die Wissenschaft zentral an, doch sie ist darum lange wie die Katze um den heißen Brei herumgeschlichen – nun endlich beginnt, was lange ausstand: Es wird von ihr aufgenommen. Protagonisten sind zwei Wissenschaftshistoriker aus den USA, Naomi Oreskes und Erik Conway. Sie haben, wie sie betonen, ihre freien Forschungsmittel eingesetzt – um, so ergänze ich, dem andauernden Schweigen der berufenen und ressourcenstarken wissenschaftlichen Institutionen etwas entgegenzusetzen.

In ihrem Buch setzen sie historisch an. Es geht um die Leugner („denier“), die aus den Wissenschaften kommen – und deren Produkt ist nicht klimaspezifisch. Den selbstgewählten Titel „Skeptiker“ verweigern Oreskes und Conway ihnen mit der Begründung, skeptisch zu sein, sei Teil des professionellen Verhaltens guter Wissenschaftler, hier aber gehe es um ein anderes Produkt: um öffentlichen Zweifel („doubt“). Damit ist angedeutet, dass die Leugner ein Produkt für jemanden erbringen, aber das ist nicht sehr weit ausgeführt, wegen mangelnder Dokumente. Das Buch geht die Themen, zu denen die Leugner sich in den USA hervorgetan haben, in zeitlicher Abfolge durch. Das beginnt mit der Auseinandersetzung um das „Star-Wars“-Raketenprogramm,¹ ob es Schutz bringt oder qua Destabilisierung das Gegenteil des Intendierten. Es folgen die ersten beiden Themen aus der klassischen Trias multilateraler Umweltpolitik, von Saurem Regen, Ozonloch und Klimawandel, dann folgt die Geschichte der Leugnung der Erkenntnis, dass Tabakrauchen Krebs induziert. Den Abschluss bildet zum einen das jüngste und aktuellste Thema, der menschgemachte Klimawandel, sowie zum anderen der aktuelle Versuch einer Revision des Rachel-Carson-Bildes.² Die Schlussfolgerungen gehen „aufs Ganze“: Sie richten sich auf die Themen Freiheit und Wissenschaftsverständnis.

Wieso es bei Umweltthemen im Kern um einen Konflikt mit einem enggeführten Verständnis von Freiheit geht, ist in begrifflicher Strenge so formuliert:

„Science was starting to show that certain kinds of liberties are not sustainable [...] sci-

ence was showing that Isaiah Berlin was right: liberty for wolves does indeed mean death to lambs.“ (S. 239)

2 Skeptizismus US-amerikanischer Prägung

Freiheit ist das zentrale Schutzgut der US-amerikanischen Verfassungsgeschichte. In Anspruch genommen wird es u. a. von Unternehmen auf dem freien Markt. Seit den 1960er Jahren in Grenzen gewiesen wird die Inanspruchnahme dieses Schutzgutes mithilfe eines neu entstandenen Zweiges der Wissenschaften – der Umweltforschung – die im Dienste eines anderen Schutzgutes steht. Reaktionen aus denjenigen Bereichen, die in ihrer Expansion zu begrenzen sind, aus Politik und Wirtschaft somit, waren zu erwarten – und zwar mit Mitteln des dort üblichen unzimperlichen Kampfes und unter Einsatz erheblicher Ressourcen. Anlässe dafür gab es zuhauf während der letzten 40 Jahre und folglich sind die Bestreiter in vielen Feldern aufgetreten. Dem entspricht der Horizont des Buches.

Wie häufig, so ist auch hier das Phänomen am leichtesten von seiner Genese her verständlich zu machen. Also erinnern wir daran, dass die Umweltpolitik in den USA ursprünglich allein Naturschutzpolitik war – auf Augenschein setzend, nicht auf Wissenschaft angewiesen, und zugleich überparteilich. Es kam der Wandel zur modernen Umweltpolitik, und dessen Basis, der *Clean Air Act*, ist noch im parteiübergreifenden Konsens, unter konservativer (!) Präsidentschaft (Nixon), verabschiedet worden. In ihrem Wesen aber war die moderne Umweltpolitik gewandelt, sie war zur Anti-Pollution-Politik zur Vermeidung *antizipierter Folgen* geworden. Zu deren Umsetzung ist die Politik zwingend auf die Wissenschaften mit ihren Kausalmodellen angewiesen.

Naomi Oreskes und Erik M. Conway sehen Ziele wie Anlass des organisierten Skeptizismus mit den abstrakten multilateralen Verträgen in die Welt gekommen, die im Nachgang zur ersten UN-Umweltkonferenz in Stockholm (1972) geschlossen wurden. Das Genfer Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung der UN-Wirtschaftskommission für Europa von 1979 etwa statuierte, jede Nation habe sicherzustellen, dass auf ihrem Hoheitsgebiet al-

les unterlassen werde, was auf dem Gebiet anderer Staaten zu Schäden führt. „Kausalität“ und „Schäden“ wurden damit programmiert, zu Schlüsselbegriffen in Auseinandersetzungen zu werden, zwischenstaatlichen wie innenpolitischen.

US-spezifisch zeigte sich die Verschränkung von zwischenstaatlichen und innenpolitischen Konflikten so: In dem Augenblick, da das mit versauernd wirkenden Kraftwerksabgasen „fernbeschossene“ Kanada sich auf diese Anspruchsgrundlage bezog, die heimische Umsetzung des *Clean Air Act* somit unter Druck von außen intern Konturen zu zeigen begann, wurde zum einen die Wissenschaftsbasierung des *Clean Air Act* deutlich, samt dem angelegten Konflikt zur Freiheit der Wirtschaft. Zum anderen vollzog die Republikanische Partei in den USA, nun unter Reagan, eine programmatische Wendung hin zu einem radikal-einseitigen Verständnis von Freiheit (für Marktteilnehmer, also zuvörderst für Unternehmen).

Gegen die Erkennbarkeit von (Umwelt-) Folgen qua Antizipation wird seitdem wie aus Schrotflinten geschossen – bei dem Wert der industriellen Anlagen, deren Laufzeit zu Ende zu gehen droht, ist ein Mangel an Geld für Munitionsnachschub nicht in Sicht. Munitionskammer ist die in der Naturwissenschaft grassierende Trivialphilosophie des Positivismus – sie muss nur noch aktiviert werden. Sie fokussiert allein auf Fakten und sucht alles andere an Wissenschaft aus deren Tempel zu vertreiben. Mit Fakten-Fokussierung aber ist der Zukunft nicht beizukommen.

3 Galionsfiguren des Skeptizismus

Was den Autoren zugänglich ist und sie folglich in den Mittelpunkt ihrer Analysen stellen, sind Personen, die in der Außendarstellung wichtig sind – die Galionsfiguren und „Verkäufer“ des Skeptizismus, i. d. R. Wissenschaftler im Staatsdienst. Nicht hingegen betrachtet werden die Akteure hinter dem Schleier, die Investoren. Und fokussiert werden natürlich allein Sumpfbüten in den USA. Zu den öffentlich auftretenden Protagonisten des Klima-Skeptizismus zählen lediglich eine gute Handvoll von Personen; portraitiert werden insbesondere Frederick Seitz, von 1962 bis 1969 Präsident der National Academy of Science, William Nierenberg und, eine

halbe Generation jünger, Fred Singer. Mit ihren beeindruckenden Lebensläufen sind die Köpfe der Leugner Produkte des speziellen Wissenschaftssystems, welches die Supermacht USA in der Nachkriegszeit eingerichtet hat und welches heute die Basis der Umweltforschung darstellt.

Das war und ist dominiert von Großforschungsinstitutionen, die nicht der reinen zweckungebundenen Wissenschaft zu dienen hatten, sondern sowohl zur Entwicklung von Kernwaffen und deren Trägersystemen als auch zur Erkundung von Wasser und Atmosphäre als Räumen dieser Trägersysteme eingerichtet worden waren. Aus diesen Institutionen sind die Leugner in gleicher Weise hervorgegangen wie ihre Gegenspieler.

Der eingangs erwähnte Fred Singer hat heute eine Führungsrolle inne. Er verdankt sie, wie an der folgenden Anekdote deutlich wird, seinem strukturellen Durchblick in der Wissensform von Umweltfragen. Der rührt biografisch daher, dass er umweltpolitisch ein beschriebenes Blatt ist: Er ist Renegat. Ursprünglich Raketenspezialist, hatte das Mitglied der Republikanischen Partei zeitweise eine Position bei der US-Umweltbehörde Environmental Protection Agency inne.

Aus dieser Zeit stammt eine bildhafte Formulierung, in der sich zugleich Singers heutige Wendung um 180 Grad als auch seine überragende Intelligenz, jenseits des Positivismus, zeigt. Er thematisiert da das von vielen auch heute als zentral und spannungsreich angesehene Verhältnis von „unvollständigem wissenschaftlichen Wissen“ und politischer Handlungsnotwendigkeit. Zustimmend formuliert er zunächst einen Satz, von dem er behauptet, er sei ein „Garret Hardin“-Zitat:

„If we ignore the present warning signs and wait for an ecological disaster to strike, it will probably be too late.“ (S. 83)

um anschließend den biblischen Noah in einer vergleichbaren Situation zu imaginieren: in einer Situation erst beginnenden Regens, von dem noch nicht sicher gewusst werden konnte, dass er sich als katastrophaler Dauerregen erweisen wird. Da sei er von Volksgenossen umgeben, die auf ihn wie folgt abwiegelnd einreden:

„Don't worry about the rising waters, Noah; our advanced technology will surely discover a substitute for breathing.“ (ebd.)

Singer schließt:

„But if it was wisdom that enabled Noah to believe in the ‚never-yet-happened‘, we could use some of that wisdom now.“ (ebd.)

Das ist präzise geschlossen. Und wissenschaftstheoretisch, im Hinblick auf die Struktur zukunftsbezogener Aussagen, ist das klüger als das, was Oreskes und Conway, die den Leugnern auf die Schliche kommen wollen, selbst geschrieben haben. Das zeigt das Maß an (überlegener) Intelligenz, die mit den Leugnern ins (politische) Spiel gekommen ist.

4 Buchkritik

Bleibt die Frage, was zur Besserung der Verhältnisse getan werden kann. Die Autoren halten die Medien für entscheidend. Sie behaupten, für deren Verhalten sei ein Irrtum ausschlaggebend: Die Journalisten säßen bislang einem unangemessenen Verständnis von Wissenschaft auf, insbesondere verführe sie ihre profunde Kenntnis des Wesens der politischen Kontroverse dazu, dieses in die Wissenschaft zu projizieren. Damit übersähen sie das völlig Andere dortiger Kontroversen und v. a., was da alles längst entschieden und somit unstrittig sei. Ich muss gestehen: Einem Journalisten solcher Art bin ich noch nicht begegnet. Die, denen ich begegnet bin, sind sämtlich zu klug, als dass sie einem solchen Irrtum aufsäßen.

Damit sind wir beim schwächsten Teil des Buches. Das vermag man an einem Defizit zu erkennen. Im Verlauf ihrer Analysen haben die Autoren in etlichen Beispielen auf parteiisches, Fairness-Standards verletzendes Medienverhalten hingewiesen, insbesondere seitens der Wirtschaftspresse – ohne auf die Hintergründe dessen systematisch einzugehen. Die Gründe für diese Beschränkung sind naheliegend: Zu den Archiven der Medien haben die methodisch als Wissenschaftshistoriker auf der Grundlage schriftlicher Akten arbeitenden Experten keinen Zugang, da gilt in den USA kein „Freedom of Information Act“. Und den direkten Zugang, qua Interviews, haben sie nicht gesucht, den haben sie nur zu Wissenschaftlern aufgenommen – sie sind eben Wissenschaftshistoriker. Zusammen: Sie folgen dem Ethos ihrer Zunft, dem des Expertentums.

Ohne weitere Analyse bei den Medien Hoffnung auf den entscheidenden Hebel zu verorten, um den Leugnern Einhalt gebieten zu können, ist schon methodisch so wenig professionell, dass der Leser sich die Augen reibt.

Beim Reiben fällt noch mehr auf: Dass Deutschland beim wissenschaftlich-institutionellen Umgang mit dem organisierten Klima-Skeptizismus ein blinder Fleck auf der Landkarte ist. Weder wird (a) die Wissenschaft hier nach dem Vorbild der Londoner Royal Society tätig und weist Unternehmen hinsichtlich ihrer PR-Strategien in die Schranken oder wird etwa bei der Medienaufsicht (Presserat) vorstellig, noch wird (b) für eine vergleichbare Untersuchung zu den bekannten Aktivitäten der Automobilindustrie gesorgt, nicht zu reden von den aus öffentlichen Mitteln finanzierten Aktivitäten des Kohlebergbaus und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, einer weisungsgebundenen Behörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Die Wissenschaftsorganisationen in Deutschland stecken erhebliche Mittel in „public understanding of science“, aber null Mittel in die Korrektur von Fehlvorstellungen zur klimawissenschaftlichen Diagnose, die in den Medien flottieren. Das überlässt das Wissenschaftssystem Einzelnen in seinen Reihen. Es gibt aber in der Demokratie keine vornehmere Aufgabe der Wissenschaften als die, dem Souverän zu vermitteln, dass seine Lebensgrundlage gefährdet ist. Und das auch gegen die Medien mit ihren schwach ausgeprägten Qualitätssicherungssystemen.

Anmerkungen

- 1) Das Programm, unter US-Präsident Reagan initiiert, zielte auf einen Schutz vor gegnerischen Interkontinentalraketen, mit Nuklearsprengköpfen bestückt vorzustellen, durch einen eigenen Abfang-Raketenschirm.
- 2) Rachel Carson gilt als Initiatorin der Umweltpolitik in den USA mit ihrem Buch „Silent Spring“, das vor DDT und seinen Folgen warnte. Ihr Image ist das einer unpolitischen Schriftstellerin, mit starken wissenschaftlichen Wurzeln, die allein sachbezogen, in aller Unschuld, diesen Welterfolg gelandet hat.

« »

Caring about Care

A. Mol, I. Moser, J. Pols (Hg.): Care in Practice. On Tinkering in Clinics, Homes and Farms. Bielefeld: transcript, 2010, 326 S., ISBN 978-3-8376-1447-3, 35,80 €

Rezension von Christoph Schneider und Bettina-Johanna Krings, ITAS

Die Zahl der wissenschaftlichen Arbeiten, die zu dem breiten Themenfeld „Technische Assistenzsysteme in der Pflege“ erscheinen, ist in jüngster Zeit fast unübersichtlich geworden. Dies betrifft nicht nur natur- oder ingenieurwissenschaftliche Publikationen, die sich mit der Forschung und Entwicklung unterschiedlichster Technologietypen in diesem Feld beschäftigen. Auch die Zahl sozial- und geisteswissenschaftlicher Arbeiten, die ihr Erkenntnisinteresse auf vielfältig relevante Fragestellungen des Themenfeldes richten, ist enorm gestiegen. Diese beziehen sich in der Regel auf die sog. „End-User“ dieser Technologien, womit die Pflegebedürftigen wie auch die Pflegenden gleichermaßen angesprochen werden. Thematisch weisen diese Arbeiten auf die vielfältigsten Untersuchungsgebiete hin und reichen von sozialen (und kulturellen) Akzeptanzfragen beim Einsatz avancierter Technologien in der Pflege über neue Organisationsformen der Arbeitsabläufe durch technische Vernetzung bis hin zu ethischen Fragen, ob soziale Beziehungs- und Kommunikationsstrukturen durch technologische Strukturen ersetzt werden können und sollen.

Beiden Sichtweisen – der natur- wie der sozialwissenschaftlichen – ist in der Regel zweierlei gemeinsam: erstens die Problemorientierung in der Annahme eines dramatischen demografischen Wandels im Hinblick auf die Überalterung westlicher Gesellschaften. Zweitens die Annahme, dass es sich beim Tätigkeitsfeld Pflege um einen komplexen Arbeitsbereich handelt, der neben professionellem Wissen auch emphatische Anteile beinhaltet. Hier wird zwar gebetsmühlenhaft wiederholt, dass die Bewahrung dieser Anteile die Qualität einer „guten“ Pflege ausmache. Dennoch, so scheint es, gibt es wenig ernsthafte Bemühungen, diese Anteile zu formulieren

und sie mit den anberaumten Zukunftsvisionen einer technikbasierten Pflege harmonisch abzustimmen.

Das Verdienst des vorliegenden Buches ist, dass es sich zum Ziel setzt, den konstitutiven Elementen, dem Innern der Pflege, eine Sprache zu geben. Um dies zu meistern, haben die Herausgeberinnen, alle drei profilierte Expertinnen in Science and Technology Studies (STS), europaweit 13 Beiträge für die Reihe „MatteRealities/Verkörperungen – Perspectives from Empirical Science Studies“ **zusammgetragen**. Was die Autoren in Wörtern, Bildern und Zeichnungen darlegen, entstammt zum Großteil ethnografischen Methoden der empirischen Sozialforschung – ganz in der Tradition der STS und ihrer Vorliebe für detaillierte Analysen auf der Mikroebene. Entsprechend möchte das Buch auch keinen Überblick über die sozialwissenschaftliche Forschung zum Thema Pflege geben, sondern das Themenfeld durch bisher unausgesprochene Aspekte bereichern. So soll die „logic of care“ (S. 7) **versprachlicht werden**, die im öffentlichen Diskurs fehle: „If they [care practices] are only talked about in terms that are not appropriate to their specificities, they will be submitted to rules and regulations that are alien to them. This threatens to take the heart out of care – and along with this not just its kindness but also its effectiveness, its tenacity and its strength“ (S. 7).

Die Logik der Pflege stecke in sog. „care collectives“ (S. 10), **welche aus meist nonverbalen Praxen, implizitem Wissen, Objekten, Personen und Körpern immer neu zusammengesetzt werden müssten**. Wie man es von den STS gewöhnt ist, wird hierbei gegen Dichotomien im Denken und Erklären – etwa Körper/Geist, Leben/Tod, Pflege/Technik, Pflege/Ökonomie – argumentiert. Der Begriff „care“¹ wird vor diesem Hintergrund sehr weit gefasst: Care fände allgegenwärtig in Krankenhäusern, Altenheimen, Wohnungen und Bauernhöfen statt.² Drei wiederkehrende Themenkomplexe ziehen sich durch die Beiträge und strukturieren diese Buchbesprechung: (1) öffentlich-privat, (2) Ambivalenz der Pflegebeziehungen, (3) Technologie und Menschsein. Abschließend diskutieren wir weiterführende Aspekte der wissenschaftlichen Beschäftigung mit Pflege.

1 Public and Private: About Words

Für die Pflege habe sich lange Zeit niemand interessiert, so das Editorial. Vorwiegend von Frauen getragen, sei sie in der privaten Sphäre unsichtbar gewesen. Derzeit werde Pflege zwar viel thematisiert, aber durch öffentliche Debatten über demografischen Wandel und die Notwendigkeit von Effizienzsteigerungen bestehe die Gefahr, dass am eigentümlichen Kern der Pflege vorbeigeredet werde. Um hier gegenzusteuern, solle mit dichten Beschreibungen der Blick für feine Details der Pflege als eine Praxis geschärft werden. Die Ansätze des Buches verstehen sich daher auch als kritischer Gegenentwurf zu quantifizierenden medizinischen Forschungsmethoden und abstrakten Diskussionen in der Medizinethik, die die Sicht auf Pflege geprägt haben. Pflege entziehe sich der Kontrolle, wie sie im öffentlichen Raum und von Managern und Technologen, die sich der (kommenden) Pflegekrise annehmen möchten, propagiert werde. Vielmehr sei sie, nach Ansicht der Autoren, ein grundlegend ambivalentes „tinkering“, ein Tüfteln, das immer wieder neu sich widerstreitende Ansprüche ausbalancieren müsse und diese Ansprüche in „care collectives“ zusammenbringe: Pflege findet in sozialen Kontexten statt und die betreffen verschiedene Menschen mit verschiedenen (Privat-)Leben und fordern fundamentale Auseinandersetzungen mit dem Menschsein, Auseinandersetzungen an denen teilweise die Grenzen von Sprache und somit auch eines öffentlichen Diskurses erreicht sind.

Diese Grenzen und die Komplexität von Pflege herauszuarbeiten, ist ein großes Verdienst des Buches. Wissenschaftliches Arbeiten geht hierbei auch bis an seine Grenzen, da auch Autoren in ihrer persönlichen Seinsweise durch die Thematiken teilweise berührt werden: Das Buch leitet ein mit dem fast poetischen und tiefgehenden Bericht einer Forscherin über die Pflege ihrer demenzkranken Mutter und endet mit dem Bericht einer Forschergruppe, die feststellte, dass sie komatöse Patienten nicht einfach beobachten kann, sondern fundamentale Fragen des Menschseins Teil ihrer Arbeit sind.

2 „The good and the bad and the ambivalent“ – die viel beschworene „andere“ Seite der Pflege

Analytisch betrachtet beinhaltet Care als Pflegetätigkeit zwei Seiten von Anforderungen: Auf der einen Seite die professionelle Anforderung, die medizinisches und pflegerisches Fachwissen, Techniken unterschiedlichster Art sowie strukturierte Arbeitsabläufe darstellt. Auf der anderen Seite die qualitativen Anforderungen, die – grob gesagt – die zwischenmenschliche Beziehung zwischen den Pflegebedürftigen und den Pflegenden darstellt. Diese Beziehung ist auf beiden Seiten so vielfältig, wie es Menschen gibt. Die unzähligen Beispiele in dem vorliegenden Buch erzählen eindrücklich davon. Nehmen wir das Beispiel einer demenzkranken Frau, die sich weigert, sich einmal am Tag die Zähne putzen zu lassen. „There have been episodes where cares have been physically attacked and frightened“ (S. 279). Für die Pflegekräfte wird das Verhalten dieser Frau „challenging“ (S. 279) und es gibt drei Möglichkeiten, um mit dieser Situation umzugehen: keine Zähne mehr zu putzen (unübliche Methode, da aufwendige Folgen), sedierende Medikamente zu verabreichen (übliche Methode) oder diese Situation zu „klären“ (seltene Methode). Die Autorin beschreibt nun, wie im Rahmen einer therapeutischen Methode (hier: Marte-Meo-Methode) mithilfe von Videoaufnahmen und Supervision diese morgendliche Annäherung an das Zähneputzen mehrfach aufgezeichnet und in einem Gesprächskreis analysiert wird, bis endlich der klitzekleine Moment gefunden wird, an dem die Frau regelmäßig in Panik ausbricht. Gleichzeitig werden Lösungswege beschritten, die dem Pfleger Möglichkeiten aufweisen, um die Panikattacken zu verhindern. In diesem Beispiel lag die Lösung in einer einfühlsameren Technik des Zähneputzens. Bei einem anderen Beispiel, wo die Körperpflege „boykottiert“ wurde, half der beruhigende Gesang der Pflegerin, in das die demenzkranke Person einstimmt und das Waschen gewähren ließ. Beide Beispiele zeigen, dass die Lösungswege individuell und komplex sind und, wie die Autorin betont, „as it is often the case, the devil is in the detail“ (S. 281).

Wie schon erwähnt, sind die beschriebenen Pflegekontexte im Buch vielfältig: Menschen, die an Demenz leiden (Kap. 1, 6, 13), Menschen,

die im Koma liegen (Kap. 14), Menschen, die auf einen Rollstuhl angewiesen sind (Kap. 5), Menschen, die über **Telecare-Systeme versorgt werden** (Kap. 4, 8, 9) und vieles mehr. Diese Vielfalt zeigt, dass die Kontexte einerseits unterschiedliche Betrachtungsweisen und „Techniken“ erfordern, die in einen professionellen Rahmen eingebunden sind. Andererseits ist gerade die alltägliche „care in practice“ die **große Herausforderung**, da in den unspektakulären Routinen und Gesten, wie beispielsweise der Körperpflege, dramatische zwischenmenschliche Probleme entstehen können. In der Lösung dieser Probleme wird die Qualität der menschlichen Pflegebeziehungen virulent und sichtbar. Und gleichzeitig zeigen die Beispiele, dass gerade in der konsequenten zwischenmenschlichen Auseinandersetzung die Ambivalenzen der Pflege erkannt, formuliert und gelöst werden können, da alle Beteiligten in diesen Prozess involviert sind.

3 Technology and What It Is to Be Human

In den Beschreibungen der Forscher taucht Technik nicht als lebloses Mittel zum Zweck auf. Technik, so die Grundannahme des Buches, sei nicht das Gegenteil, sondern integraler Teil von Pflege. Die Praxis der Pflege setze Menschen und Objekte komplex zusammen und verändere dabei beide. Dass dabei auch die Ambivalenz der Technik im Pflegekontext betont wird, verwundert bei der inhaltlichen Ausrichtung des Buches nicht. So werden Beispiele erläutert, in denen kleine Änderungen an Rollstühlen das Leben ihrer Fahrer und Betreuer im Hinblick auf Mobilität, Eigenständigkeit, aber auch die Beziehungsstrukturen zu anderen Menschen verändern; Videokameras überwachen nicht nur die Patienten, sondern können auch bei Supervisionen helfen.

Besonders interessant sind im Zusammenhang mit Rationalisierungsprozessen, die derzeit im Bereich der Pflege vorangetrieben werden, zwei Kapitel zu Telecare-Systemen. In beiden Fällen sollen bestimmte Aspekte der Pflege auf Patient und Computersystem ausgelagert werden – etwa das Überwachen von Vitaldaten, welche bei Anomalität auf dem Computerbildschirm einer Pflegekraft im Krankenhaus angezeigt werden. Statt der beabsichtigten Arbeitsverringern

für die professionellen Pflegekräfte erhöht sich jedoch jeweils deren Arbeitsaufwand. Darüber hinaus verändert sich in besonderem Maße das Verhältnis der Patienten zum eigenen Körper. Patienten sind keineswegs nur Objekte solcher Maßnahmen. „What seems often to be missing in attempts to create health care systems that are patient-centred is the acknowledgement of the unexpected ways in which patients emerge“ (S. 211).

Technik ist „invasiv“ (vgl. Böhme 2008) zu Pflege, dies zeigen die Beispiele. Durch Technik verändern sich auch unbeabsichtigt teils fundamentale Aspekte der Pflegebeziehungen, der Selbstverhältnisse, des Lebens und Sterbens: Eine Beatmungsmaschine zuhause verlängert das Leben und wirft jedoch bei den Angehörigen tiefgreifende Fragen danach auf, was Leben überhaupt bedeutet und ob die Maschine weiterlaufen soll (Kap. 12).

4 Fazit

„Care in Practice“ ist ein Buch, das unseres Erachtens zum richtigen Zeitpunkt in die Debatte gekommen ist. Über Pflege wird viel diskutiert, und es wird an allen Enden versucht, zu reformieren. Selten trifft man jedoch wissenschaftliche Beiträge, die die Pflege v. a. nach ihren konstitutiven Eigenheiten, nach ihrem „Herz“, befragen. Selbst die Pflegewissenschaften konzentrieren sich mehrheitlich auf die „rationale“ Verwissenschaftlichung dieses Themenbereichs (z. B. Hülsen-Giesler 2008). Mit dem vorliegenden Buch ist allerdings ein wichtiger Schritt hin zu einem besseren Verständnis von Pflege gelungen. Hierbei ist die Verankerung in den STS zugleich die Stärke und die Schwäche des Buches. Die entscheidende These – Pflege als ambivalente Praxis – wird materialreich und kreativ sehr detailliert an verschiedenen empirischen Fallstudien erarbeitet. Hierbei gehen die Autoren sogar noch einen Schritt weiter und öffnen den Blick für eine Auflösung der Perspektive von Abhängigkeiten und Unabhängigkeiten in den vielschichtigen Pflegebeziehungen. „Symmetrical means that each person gives care to the other. Shared means that everyone in the collective is giving and receiving care“ (S.108). Das Verständnis von Pflege als reziproke, menschliche Beziehung des Gebens und Nehmens ist vor

diesem Verständnis weit entfernt von der aktuellen öffentlichen Debatte um die steigenden Belastungen durch die Pflegebedürftigen.

Allerdings wird man als Leser etwas enttäuscht, wenn man mehr Vielfalt in der Herangehensweise erwartet. In ihrer theoretischen Ausrichtung sind sich die Autoren zu ähnlich, als dass sie Pflege aus verschiedenen Perspektiven untersuchen könnten. Zudem werden historische Entwicklungen, gesellschaftliche Kontexte oder künftige Herausforderungen für Pflege nur extrem verkürzt und holzschnittartig erwähnt. Dennoch hätte gerade unter Einbezug einer Argumentation auf Mesebene (z. B. Privatisierungen der Pflegeleistungen) und Makroebene (z. B. demografischer Wandel) die Aussagekraft der Beiträge gesteigert werden können. Leser, die sich ein breites Verständnis der Pflege und ihrer Herausforderungen erwarten, müssen also weitere Literatur hinzuziehen.³

Lobenswert erscheinen uns auch der explizit normative Anspruch des Buches und das Wagnis, sich mit Grenzsituationen des Menschseins auseinanderzusetzen. Dass „goods“ und „bads“ teilweise widersprüchlich in den Pflegepraxen verzahnt sind, wird dem Leser eindrücklich deutlich. Man gewinnt durch das Lesen Respekt vor den Menschen, die sich hiermit täglich auseinandersetzen. Allerdings bleibt die Widersprüchlichkeit der Pflege nach allen Seiten auch beim Lesen erhalten. Empfehlungen und Bewertungen, was denn die bessere Pflege wäre, gibt es zwischen den Buchdeckeln kaum zu finden. Selbst das „tinkering“ wird nicht explizit als Verbesserungsmöglichkeit genannt. Als Leser kann man sich allerdings denken, dass die meisten Autoren weitere Bürokratisierungen und Rationalisierungen, die Räume für „tinkering“ einschränken, ablehnen würden. Die Pflegekrise wird womöglich ähnlich anzugehen sein wie Pflege selbst, nämlich als „persistent tinkering in a world full of complex ambivalence and shifting tensions“ (S. 14).

Anmerkungen

- 1) „Care“ als Begriff steht hier in der angelsächsischen Forschungstradition der Pfl egetätigkeit, welche stark durch feministische Arbeiten und Konzepte der Work-Life-Balance geprägt ist. Rein sprachlich betrifft „care“ die Bereiche des Pflegens, Kümmerns, Sorgens.

- 2) Wir werden uns auf die Teile des Buches beschränken, die die Pflegebeziehungen zwischen Menschen behandeln und nicht die Zuwendung zu Tieren.
- 3) Etwa die Arbeiten von Baldo Blinkert (Blinkert, Gräf 2009) zur künftigen Entwicklung der Pflegebedürftigkeit in Deutschland.

Literatur

Blinkert, B.; Gräf, O., 2009: Deutsche Pflegeversicherung vor massiven Herausforderungen. Deutsche Bank Research; http://www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD0000000000239350.pdf (download 10.4.12)

Böhme, G., 2008: Invasive Technisierung: Technikphilosophie und Technikkritik. Kusterdingen

Hülken-Giesler, M., 2008: Der Zugang zum Anderen. Zur theoretischen Rekonstruktion von Professionalisierungsstrategien pflegerischen Handelns im Spannungsfeld von Mimesis und Maschinenlogik. Schriftenreihe Pflegewissenschaft und Pflegebildung, Band 3, Göttingen

« »

„Gorleben plus“ als Ausweg?

C. Streffer, C.F. Gethmann, G. Kamp, W. Kröger, E. Rehbinder, O. Renn, K.-J. Röhlig: Radioactive Waste – Technical and Normative Aspects of its Disposal. Springer 2011, 468 S., ISBN: 978-3642229244, 106,95 €

Rezension von Michael Reuß, ITAS

Die Frage, wo und wann es ein Endlager für hochaktive, wärmeentwickelnde Abfälle (high active waste – HAW) in Deutschland geben soll ist nach der Ankündigung des Bundesumweltministeriums, das Suchverfahren auf mehrere potenzielle Standorte auszuweiten¹, wieder verstärkt in die öffentliche Diskussion gerückt. Im Verlauf dieser Debatte wurde der hier rezensierte Band publiziert. Er ist in der Reihe „Ethics of Science and Technology Assessment“ erschienen, die die Europäische Akademie Bad Neuenahr-Ahrweiler seit 1998 zur Veröffentlichung ihrer Forschungsergebnisse nutzt. Dieses akademiespezifische Publikationsmodell zeichnet sich u. a. durch eine interdisziplinäre, expertenzentrierte Forschungsgenese und eine öffentliche Präsentation des Abschlussbandes aus. Die Publikation ist das Resultat der zweieinhalb Jahre währenden Arbeit einer interdisziplinär zusammengesetzten deutschsprachigen Projektgruppe, die durch einen Industrieverband finanziell unterstützt wurde. Das Buch ist – bis auf einige zusammenfassende Teile auf Deutsch² – in englischer Sprache verfasst. Obwohl der Fokus auf der Situation der Endlagerproblematik in Deutschland liegt, gehen die Autoren davon aus, dass die meisten der beschriebenen Faktoren nicht an nationale Besonderheiten geknüpft sind und damit auch in der internationalen Debatte anschlussfähig sind.

Ziel der Gruppe war es, aus den jeweiligen Disziplinen ihrer Mitglieder heraus mithilfe von begründeten Kriterien und einer Abschätzung der Handlungsmöglichkeiten zu der Debatte um die Endlagerung von HAW beizutragen. Auf diesem Weg wurden abschließend Empfehlungen zur weiteren Entwicklung in Deutschland ausgearbeitet. Favorisiert wird ein Vorgehen „Gorleben plus“ (S. 43f.), das die Weitererkundung von Gorleben sowie eine gleichzeitige übertägige Prüfung von alternativen Standorten umfasst. So solle „zeitnah und ressourcenschonend“ ein Standort zur Endlagerung von HAW gefunden werden. Das Kriterium für eine zusätzliche untertägige Untersuchung eines alternativen Standorts ist entweder ein Scheitern Gorlebens oder die durch die Untersuchungsergebnisse über Tag gestützte Annahme, dass der alternative Standort besser geeignet sei als Gorleben.

Der Band ist in drei Sektionen gegliedert. Teil A besteht aus einer Zusammenfassung und den Schlussfolgerungen und Empfehlungen, die aus dem gesamten Vorhaben resultieren. Dies beinhaltet detaillierte Entscheidungsdiagramme, die die Rahmenbedingungen für die Entwicklung eines Entsorgungsprogramms illustrieren und wichtige Wegmarken für bereits getroffene und noch zu treffende Entscheidungen benennen. Die Haupttexte der verschiedenen Autoren sind in Teil B zusammengestellt. Hier werden in fünf zum Teil aufeinander verweisenden, jedoch relativ disziplinär gehaltenen Kapiteln technische, rechtliche und soziale Aspekte der Endlagerung von HAW abgehandelt. Die Kapitel sind häufig mit Beispielfällen aus anderen Ländern sowie Verweisen auf die

internationale Literatur angereichert. Der Anhang (Teil C) ergänzt das Vorhaben mit grundlegenden Informationen zur Abschätzung von Strahlenrisiken und mit einer systematisierten Zusammenstellung zu rechtlichen Belangen der Endlagerung in zahlreichen westlichen Staaten und Japan. Die Projektgruppe kam innerhalb von zweieinhalb Jahren insgesamt 13mal zusammen und setzte daneben Teilgruppentreffen zu Einzelthemen an. Zur Qualitätssicherung wurden die (Zwischen-) Ergebnisse der Arbeitsgruppe in mehreren Feedback-Runden externen Experten präsentiert und mit diesen diskutiert.

Insgesamt geht es in der rezensierten Studie um technische und geologische Aspekte der Endlagerung, Strahlenrisiko und Strahlenschutz, Rechtsfragen im internationalen Vergleich, die Frage der Langzeitverantwortung und abschließend um die Entwicklung von Leitlinien für eine sozial verträgliche und gerechte Standortbestimmung. Im Folgenden werden einige Punkte aus den beiden Kapiteln dargestellt, die sich mit den sozialwissenschaftlichen Aspekten der Endlagerung von HAW befassen.

1 Langzeitverantwortung

In dem Kapitel zur „Entsorgung hochradioaktiver Abfälle unter dem Aspekt der Langzeitverantwortung“ wird v. a. die Annahme einer ethischen Verpflichtung gegenüber zukünftigen Generationen kritisch beleuchtet und mit einigen „Kategorienfehlern“ aufgeräumt. So werde oft die Forderung nach einer unverzüglichen Lösung der Endlagerproblematik laut. Dieses Vorgehen sei nur in einer Notfallsituation zu vertreten und würde dann Mittel rechtfertigen, deren Anwendung sich normalerweise nicht begründen ließe, da bspw. einzelne Gruppen stark benachteiligt würden. Da solch eine Notsituation derzeit nicht bestehe, sei noch Zeit für eine optimierte Konfliktbewältigung, die v. a. in Anbetracht der langen Zeiträume und der Ansprüche zukünftiger Generationen geboten sei. In eine ähnliche Richtung geht die Ablehnung einer kritiklosen Übernahme des Verursacherprinzips in Fragen der Endlagerung von HAW: „[...] the availability of skills and resources, rather than the boundaries between nations or generations must be considered as the relevant factors for the

adequate fulfillment of long-term obligations“ (S. 245). Diese Aussage solle nicht als Rechtfertigung gelesen werden, heute nichts zu unternehmen, weil morgen vielleicht bessere technische Möglichkeiten zur Verfügung stünden. Vielmehr beinhalte sie die Aufforderung, gut begründete Mechanismen zu entwickeln, die einen Wissenstransfer zwischen den Nationen und die Übergabe einer (Teil-)Verantwortung an kommende Generationen gestatten (z. B. die Ermöglichung einer zeitlich begrenzten Rückholbarkeit der Abfälle für den Fall, dass neue Verwendungstechniken entwickelt werden). Die Frage, ob die heute Lebenden gegenüber zukünftigen Generationen in der Pflicht sind, wird bejaht. Die genaue Qualifizierung der moralischen Verpflichtung gegenüber den Nachgeborenen sei jedoch dahin gehend schwierig, da wir über die zukünftigen Lebenswelten keine Aussagen machen können und die Diversifizierungsmöglichkeiten mit der zeitlichen Entfernung potenziell zunehmen. Um diesem grundsätzlichen Problem der Repräsentation von Interessen und des Handelns unter Bedingungen von Nichtwissen zu begegnen, wird vorgeschlagen, stabile prozedurale Strukturen zu schaffen: „The responsible representation of future claims thus requires a mandate which is legitimized by procedural organization, anchored in institutions, and controlled by society“ (S. 257).

Es wird herausgestellt, dass für die Angehörigen der gegenwärtigen Generation als „Verursacher- und Nutznießergemeinschaft“ aus ethischer Sicht zwar die Verpflichtung bestehe, den Vorgang der Endlagerfindung verbindlich und verfahrensstabil einzuleiten, dass jedoch schon aufgrund des Zeithorizonts viele weitere Schritte in die Verantwortlichkeit zukünftiger Akteure übergeben werden müssten. Im rezensierten Band werden bis zum möglichen Verschluss des HAW-Endlagers in Deutschland im besten Fall immer noch rund 65 Jahre veranschlagt (S. 192ff.); dazu kommen ggf. mehrere Hundert Jahre Offenhaltung der Endlagerstätte zum Zweck der Rückholbarkeit der Abfälle. Die Rückholbarkeit wird als Option genannt, die v. a. über die 2010 veröffentlichten „Sicherheitsanforderungen an die Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle“³ in die Diskussion eingebracht wurde und die eine Überarbeitung der Sicherheitskonzepte nach

sich ziehen würde. Ein Plädoyer für oder wider die Rückholbarkeit wird nicht abgegeben.

2 Partizipation und Legitimation

Die Frage nach Sinn und Umsetzung von Laien-Partizipation und einer aus ihr evtl. erwachsenden Legitimation des Verfahrens wird im rezensierten Band an mehreren Stellen aufgegriffen. In dem schon im letzten Abschnitt genannten Kapitel „Entsorgung hochradioaktiver Abfälle unter dem Aspekt der Langzeitverantwortung“ wird bei weitergehenden Partizipationsprojekten das grundsätzliche Risiko einer hierarchischen Gleichstellung der von verschiedenen Gruppen produzierten Wissensbestände gesehen. Zum einen berge dies die Gefahr der Demontage politischer Institutionen und wissenschaftlicher Expertise. Die Kernfrage sei, ob die Bürger wüssten, was das jeweils Beste für sie sei („Eigenkompetenzthese“). Die Antwort ist die empirisch nicht weiter belegte Aussage, dass die Bürger eigentlich nicht in Entscheidungsprozesse eingebunden werden wollten, sondern mit der Delegation durch die Instrumente der repräsentativen Demokratie zufrieden seien (S. 262). Die Partizipation der „Betroffenen“ könne evtl. die Akzeptanz für das Projekt erhöhen, jedoch keinesfalls die grundsätzliche Standortentscheidung legitimieren.

Im Kapitel „Leitlinien für eine sozial verträgliche und gerechte Standortbestimmung“ wird von der Notwendigkeit der Einbeziehung aller relevanten Gruppen ausgegangen, da diese „two-way communication“ Vertrauen schaffen könne (S. 345). Über die Möglichkeit einer rein diskursiven Lösung des Problems macht man sich keine Illusionen, da in der Endlagerdebatte ein so polarisiertes Klima herrsche, dass zumindest einige Akteure Interesse „in paralysing practical politics“ haben könnten. An anderer Stelle wird eine ausgeweitete Partizipation erst als sinnvoll erachtet, nachdem die Standortentscheidung gefallen ist, sich also Gorleben und ggf. weitere Regionen als geeignet oder nicht geeignet herausgestellt haben. Bei einer Eignung solle die lokale Bevölkerung so schnell wie möglich einbezogen werden, jedoch nur „for the local and regional implementation of the decision. At that point the question would not be ‚if‘ but ‚how‘“ (S. 350).

In beiden Kapiteln wird herausgestellt, dass die Legitimation der Standortentscheidung nicht über Partizipation zu erreichen sei, sondern nur über „die legitimatorische Kraft von Prozeduren“ (S. 24).

3 Fazit

Die vorliegende Publikation bietet einen facettenreichen und gut strukturierten Einblick in die gegenwärtigen Probleme der Endlagerung von HAW. Es sind zahlreiche grundlegende technische und sozialwissenschaftlich relevante Informationen ebenso enthalten wie konkrete Beiträge zur anhaltenden Debatte und Vorschläge für das weitere Vorgehen in Deutschland. Eine sich durchziehende klare Struktur und verschiedene inhaltliche Zugriffsebenen machen den Band für eine breite Leserschaft zugänglich. Zu bemerken bleibt jedoch, dass die einzelnen Kapitel über die gemeinsame Thematik hinaus inhaltlich häufiger aufeinander Bezug nehmen könnten. Dass die Zusammenstellung der vielen endlagerrelevanten Themen trotzdem einen Mehrwert erzeugt, bleibt davon unbenommen.

In der öffentlichen Diskussion taucht immer wieder die Aussage auf, Gorleben sei „verbrannt“, da während des jahrzehntelangen Konflikts das Vertrauen und die Akzeptanz der lokalen Bevölkerung verspielt worden sei. Diesen Aspekt des verlorenen Vertrauens, der ja auch bei eventuellen anderen Standortregionen zum Tragen kommen könnte, wird von den Autoren der Studie zwar gesehen, aber eher vage angegangen mit der Forderung „ein auf Legitimation und Konfliktminderung ausgerichtetes Entscheidungsverfahren“ (S. 41) zu installieren. Da der Fokus darauf liegt, „zeitnah und ressourcenschonend“ zu einem Endlager zu kommen, bleibt Gorleben im favorisierten Szenario „Gorleben plus“ im Spiel, um nicht eine mögliche Standortoption aufzugeben. Dabei sehen die Autoren durchaus die Attraktivität im Hinblick auf die öffentliche Akzeptanz, die eine komplett neu beginnende Standortsuche mit sich brächte (S. 44), schätzen jedoch die Maximierung der Chancen, zeitnah über einen Endlagerstandort zu verfügen, höher ein. Hier wäre ein deutlicherer Hinweis, wie konkret mit der verfahrenen Situation in Gorleben umzugehen sei, wünschenswert gewesen.

Insgesamt werden im rezensierten Band viele TA-typische Problemstellungen angesprochen und grundlegend angegangen. Dass die Bundesregierung momentan auf dem Weg zu sein scheint, den von den Autoren empfohlenen Weg („Gorleben plus“) einzuschlagen, macht die Lektüre umso lohnenswerter.

Anmerkungen

- 1) Zur Ankündigung einer möglichen Ausweitung des Suchverfahrens siehe: http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_standortsuche_bf.pdf.
- 2) Einleitung und Zusammenfassung der Studienergebnisse (deutsch): http://www.ea-aw.de/fileadmin/downloads/Projektgruppen/Auszug_Radioactive_Waste_deutsch.pdf.
- 3) Die Sicherheitsanforderungen sind verfügbar unter: http://www.ea-aw.de/fileadmin/downloads/Projektgruppen/Auszug_Radioactive_Waste_deutsch.pdf.

« »

Pflichtlektüre für Forscher der Technikbewertung

K. Wieglerling: Philosophie intelligenter Welten. München: Wilhelm Fink Verlag 2011, 236 Seiten, ISBN 978-3-770551-002, 29,90 €

Rezension von Arno Rolf, Universität Hamburg

Die rasant voranschreitende Digitalisierung der Welt verändert unser Leben grundlegend und wirft neue Fragen für die Philosophie auf. Dies ist der Ausgangspunkt des vom Philosophen Klaus Wieglerling vorgelegten Buches „Philosophie intelligenter Systeme“. Die Schrift beruht auf Publikationen, die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „Nexus – Umgebungsmodelle für kontextbezogene Modelle“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft entstanden sind.

Die informationstechnischen Stichworte, an denen Wieglerling diese Entwicklung festmacht, sind „Ubiquitous Computing“, „Ambient Intel-

ligence“, „Pervasive Computing“, „Internet der Dinge“ und „RFID“. Auch wenn sie sich durch ihren perspektivischen Blick unterscheiden, so verweisen sie doch auf eine gemeinsame Vision: Unsere künftige Lebenswelt soll durch Implantierung von Chips in Objekten wie in Subjekten „intelligent“ werden und so Kommunikations- und Organisationspartner der menschlichen Akteure werden. Welt- und Selbsterfahrung verändern sich dadurch grundlegend, Gegenstände wie Körper sind medial durchdrungen. Es etabliert sich ein totales, sich selbst organisierendes Verknüpfungsnetzwerk mit eingebauter Gedächtnisleistung, die sichtbare Schnittstelle zwischen Mensch und Computer verschwindet weitgehend. Diese informatisch ergänzte Realität – „augmented reality“ – hält den Nutzer beständig online. Kontextsensitive Systeme interpretieren Handlungssituationen wie jeweilige Präferenzen. Sie treten in Dialog mit uns und den Dingen. Die unausgesprochene Leitfigur ist die informatisch erschlossene Welt, die so rational und effizient sein soll, wie nie zuvor. Die digitale Schattenwelt läuft parallel zur physikalischen aber auch zur sozialen ab.

Wieglerling fragt nach der lebensweltlichen Anbindung, der Kontrollierbarkeit und Steuerbarkeit dieses Systems. Er rückt drei philosophische Fragen ins Zentrum: Zum ersten geht es ihm um die Wahrung der Autonomie des Menschen, wobei er den Anspruch formuliert, dass Technik der besseren Lebensbewältigung dienen muss. Des Weiteren muss Technik daraufhin geprüft und bewertet werden, wie weit sie gesellschaftliches Konfliktpotenzial generiert, sie also überhaupt gesellschaftliche und individuelle Akzeptanz finden kann. Zum Dritten fragt er nach den längerfristigen Auswirkungen, insbesondere hinsichtlich Ressourcenschonung und Generationengerechtigkeit.

Die mit dem Internet der Dinge vermuteten Probleme fasst Wieglerling mit dem Stichwort Wirklichkeitsverlust zusammen. Er benennt das Problem des Widerständigkeitsverlustes, das sich aus dem Verschwinden der Schnittstelle zwischen medialer und nichtmedialer Welt ergibt. In einer so angelegten Welt wird es möglich, mehr zu bewirken, als ich zu erkennen vermag. Die Wirkabsicht stimmt nicht mehr mit meinen Intentionen überein, eine Vielzahl von verknüpften Handlungsketten wird ausgelöst. „Das heißt, sie

löst sich letztlich auch vom Leib und seiner konkreten Positionierung und Empfindung und wird zum Produkt einer Konstruktion, die allerdings nicht ich geleistet habe, sondern die für mich als ein bestimmter Nutzertypus geleistet wurde“ (S. 30). Durch diese informatische Aufladung wird die Welt und meine Wirklichkeit vorauseilend im Sinne bestimmter ökonomischer Präferenzen hergestellt und sie beraubt mich gleichzeitig meiner Widerständigkeit. Das System wird anstelle des Subjektes Handlungsträger, es ist auf Gestaltung von Handlungsstereotypen angewiesen. Dies alles hat Auswirkungen auf die Selbstwahrnehmung und die Ausbildung von Identität.

Wiegerling formuliert vier Bewertungskriterien, die an ubiquitäre Systeme anzulegen sind, wie Erkennbarkeit der Schnittstelle, Kontrolle und Eingriff in das System, Erhalt der Privatsphäre und der Selbstbestimmung sowie Eröffnung neuer Handlungsmöglichkeiten.

Der Autor kritisiert, dass bislang die philosophische Diskussion dieser zunächst informatischen Konfiguration an der Oberfläche bleibt – er spricht von einer Art Autismus – weil eine Reihe philosophischer Beiträge zwischen Philosophie und Informatik „zu erheblichen Teilen ein Missverständnis bzw. ein Restbegriff bzw. eine auf eine Schwundstufe geratene Art des Philosophierens“ darstellt (S. 9). Das mag aus der disziplinären Sicht des Philosophen berechtigt sein, übersieht aber, dass es interdisziplinären Diskursen inhärent ist, für eine Seite unbefriedigend zu bleiben, weil die jeweils disziplinären Ansprüche nicht gänzlich zur Geltung gebracht werden können.

Diese Anmerkung kann nicht schmälern, dass Wiegerling hier eine hochbrisante, hervorragend zu lesende Schrift vorgelegt hat, der zu wünschen ist, dass sie in philosophischen Fachkreisen einen Diskurs anstößt. Zugleich aber sollte sie für Forscher der Technikfolgenabschätzung und -bewertung sowie für Informatiker absolute Pflichtlektüre sein. Gerade Informatiker, die in Forschung und Lehre mit diesen Techniken befasst sind, neigen häufig zu einem disziplinären Tunnelblick. Wiegerlings Schrift kann hier das Blickfeld erheblich erweitern und Orientierung geben.

Der Autor schränkt gleich zu Beginn unnötigerweise die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung der angestrebten Ubiquität ein, indem er vermu-

tet, dass sie zumindest im globalen Maßstab noch in weiter Ferne liegt. Gibt es nicht einige Belege, dass die vor Jahren gescheiterten Versuche, z. B. für den hochtechnisierten „Metro Future Store“, der über RFID-Chips den Handel der Zukunft vorbereiten sollte, uns eine trügerische Sicherheit vermitteln? Findet nicht vielmehr längst eine „stille Entwicklung“ der RFID-Nutzung statt? Man schaue sich beispielhaft nur einmal den Hafen Hamburg-Altenwerder an. Dort lässt sich in einem Mikrokosmos schon heute die ubiquitäre Realität erzählen: Ein umzäuntes Hafengebiet mit sich selbst steuernden Containertransportern und Kränen, das kein Mensch mehr betreten darf. Zur Realität gehört auch, dass der Kunde oft diese Technik verlangt, z. B. bei der Ausleihe von Büchern, und selber Treiber dieser Entwicklung ist.

« »

ITAS-Newsletter

Mit dem online verfügbaren ITAS-Newsletter informiert das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) über Projekte, neue Publikationen, Personalia und kommende Veranstaltungen des Instituts. Der Newsletter bündelt und komprimiert für einen Zeitraum von etwa vier bis sechs Wochen die Neuigkeiten, die zuvor sukzessive im Internetangebot des Instituts angezeigt wurden. Vom Online-Newsletter führen Links direkt zu den ausführlicheren Informationen auf dem ITAS-Server. Damit erhält der interessierte Nutzer über das sich laufend erweiternde Serverangebot ein zeitnahes Informationsangebot. Für den Vertrieb des ITAS-Newsletters wird ein Dienst des Deutschen Forschungsnetzes verwendet. Anmeldungen sind möglich unter <http://www.itas.fzk.de/deu/itasnewsletter/itasnewsletter.htm>. Bei Fragen und auftretenden technischen Problemen schicken Sie bitte eine E-Mail an itas-newsletter-request@listserv.dfn.de.

TAGUNGSBERICHTE

Schrittweise Veränderung statt radikalem Wandel

Zur Herbsttagung der DGS-Sektion
„Wissenschafts- und Technikforschung“

Stuttgart, 24.–25. November 2011

von Nele Hinderer, Robert Kosche, Mario
Neukirch und Jan-Felix Schrape, Universität
Stuttgart

Das Internet hat beträchtliche Auswirkungen auf die Restrukturierung etablierter und die Konstitution neuer Medienangebote. Zum einen setzen veränderte Rezeptions- und Kommunikationsweisen klassische Mediensektoren unter einen mitunter radikalen Veränderungsdruck. Zum anderen tragen „Social Media“ nicht nur zur Herausbildung neuer Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten bei, sondern fördern auch das Auftreten neuer Akteure, Regeln und (Öffentlichkeits-)Strukturen.

Mit diesen sozioökonomischen Veränderungsprozessen beschäftigte sich die Herbsttagung der Deutschen Gesellschaft für Soziologie (DGS), die unter dem Titel „Das Internet und der Wandel von Mediensektoren“ im November 2011 in Stuttgart stattfand. Sie wurde durch die Abteilung für Organisations- und Innovationssoziologie der Universität Stuttgart organisiert und versammelte 30 einschlägige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Folgende Themenbereiche standen im Mittelpunkt der Diskussion:

- die Veränderungen in klassischen Mediensektoren, insbesondere in der Buch- und Musikindustrie;
- die Rolle der Nutzer in Veränderungsprozessen und die Relevanz räumlicher Nähe in der Medienbranche;
- veränderte Wertschöpfungsmodelle im Kontext der Online- und Mobiltechnologien;
- das Verhältnis zwischen Social Media und Massenmedien in der Herstellung von Öffentlichkeit sowie neue Qualitäten der Online-Kommunikation.

1 Wandel klassischer Mediensektoren

Im Fokus des ersten Panels standen Beiträge, die sich mit dem Wandel in klassischen Mediensektoren beschäftigten. Den Auftakt bildete ein Vortrag von Stefan Heng (DB Research) zu den Umbrüchen im deutschen Verlagswesen: Während die Buchverlage nach wie vor relativ stabile Umsätze verzeichnen können, sind insbesondere Tageszeitungen von der Konkurrenz im Web betroffen. Die Vermutung, dass diese Verschiebungen primär aus dem veränderten Nutzungsverhalten der jüngeren Generationen und aus Beharrungstendenzen in der Branche resultieren, wurde allerdings sowohl im Vortrag als auch in der Diskussion konterkariert: Einerseits lässt sich auch bei höheren Altersgruppen ein Rückgang der Reichweiten feststellen. Andererseits richten sich viele Zeitungsverlage schon seit geraumer Zeit crossmedial aus, d. h. sie generieren neben der Printversion z. B. auch ein Internetangebot.

Dass auch im Falle des Buchhandels nicht pauschal von Adaptionsschwierigkeiten der gesamten Branche gesprochen werden kann, zeigte Simon Hiller (Universität Erlangen) in einem Vergleich des amerikanischen und des deutschen Marktes: In den USA wie in der Bundesrepublik fanden sich 2011 neben neuen Akteuren auch etablierte Anbieter unter den führenden E-Book-Händlern. Am Beispiel des insolventen US-Unternehmens „Borders“ wurde überdies deutlich, dass auch ein schnelles proaktives Verhalten nicht zwangsläufig zum Erfolg führt: Borders entschied sich schon 2001 für das Outsourcing aller E-Commerce-Aktivitäten an „Amazon“ und konnte auch deshalb im Online-Bereich keine eigene Identität entwickeln.

Daran anknüpfend beschäftigte sich Kristian Kunow (FU Berlin) mit der pfadabhängigen Kompetenz- und Routineentwicklung in Organisationen am Beispiel der Musikindustrie, welche durch die „digitale Revolution“ bislang besonders hart getroffen wurde. Am Beispiel zweier deutscher Major-Labels führte Kunow vor Augen, dass sich die Unternehmen angesichts eines wahrgenommenen „dysfunctional flip“ ganz bewusst für oder gegen einen Pfadbruch entschieden haben: Während Label A an den Routinen der Hit-Kreation

festhielt, gab Label B diesen Anspruch auf und konzentrierte sich auf das Lizenzierungsgeschäft.

Erheblich unbeschadeter als die Musikindustrie haben hingegen die Wissenschaftsverlage die Umstellung auf die digitale Verwertung von Inhalten überstanden. Warum kommerzielle Verlage insbesondere im journalbasierten Publikationssegment seit einigen Jahren wieder hohe Wachstumsraten erfahren, zeichnete Heidmarie Hanekop (SOFI Göttingen) nach: Die Herstellung von Online-Verfügbarkeit war im Falle der etablierten Journale bereits um die Jahrtausendwende abgeschlossen. Diese frühe Umstellung lässt sich zum einen auf die Internetaffinität der Wissenschaftler, zum anderen aber auch auf die offensive Adaption neuer Publikationsmodelle durch klassische Verlage zurückführen.

2 Mediensektoren: Internationale und regionale Aspekte

Im Anschluss daran diskutierten die nachfolgenden Beiträge regionale und internationale Aspekte des strukturellen Wandels in Medien-sektoren. Zunächst präsentierte Esther Ruiz Ben (Universität Essex) die Resultate einer Studie zur Rolle der Endverbraucher in der Transformation der Breitbandversorgungssysteme in Schweden und Großbritannien, wobei sich erhebliche Unterschiede in den Strukturmustern identifizieren ließen: Während in Großbritannien z. B. ein neuer Dienstleistungssektor für Installations- und Reparaturhilfen entstanden ist, bildeten sich in Schweden diesbezüglich eher informelle nutzerzentrierte Strukturen heraus, was sich auch auf jeweils unterschiedliche Interventionsstrategien der Politik zurückführen lässt.

Gerhard Fuchs (Universität Stuttgart) hingegen beleuchtete in seinem Beitrag die nach wie vor nicht zu vernachlässigende Bedeutung räumlicher und sozialer Nähe in der Medienindustrie: Obwohl die Relevanz geografischer Nähe vor dem Hintergrund der Online- und Mobiltechnologien nach gängiger Meinung abnehmen sollte, bleibt die Medienwirtschaft durch räumliche Konzentrationsprozesse gekennzeichnet, u. a. da die formale und informale Face-to-Face-Kommunikation sowohl in der Produktion von Medieninhalten als auch in der Bildung von

Vertrauensnetzwerken nach wie vor eine zentrale Rolle spielt.

3 Internet-Ökonomie

Die Forschungen, die im darauffolgenden Panel zur Internetökonomie präsentiert wurden, zeichnen sich durch vorwiegend empirische Herangehensweisen aus. Michaela Pfadenhauer und Tilo Grenz (KIT, Institut für Soziologie) untersuchten zunächst anhand zweier Fallbeispiele, wie die Nutzer kommerzieller Webportale in ökonomische Wertschöpfungsprozesse eingebunden werden: Durch ihre Aktivität hinterlassen die Anwender „Spuren im Netz“ und geben auf diese Weise persönliche Daten preis, die von Dritten ausgewertet werden können. Im Vortrag wie in der Diskussion wurde der verbreitete Begriff der „kollaborativen Wertschöpfung“ indes als euphemistisch kritisiert, da in den beobachteten Fällen vielmehr die nicht intendierten Folgen des individuellen Handelns von Nutzern in Ressourcen intendierten Handelns von Produzenten umgewandelt werden.

Im zweiten Beitrag des Panels gingen Tobias Bergmann, Benjamin Gundermann und Daniel Kerpen (TU Kaiserslautern) auf der Grundlage relationaler und institutionalistischer Überlegungen der Frage nach, welche Formen der Konkurrenz, Kooperation und Netzwerkbildung sich gegenwärtig im Bereich der Social-Media-Beratung beobachten lassen. Als Fallbeispiel wurde der „Bundesverband Digitale Wirtschaft“ gewählt, der seinen Mitgliedern als Kooperationsplattform dient, gegenüber Politik und Gesellschaft als Interessenvertretung der beteiligten Unternehmen auftritt und regulative Rahmenbedingungen setzt.

Gerd Möll (Sozialforschungsstelle Dortmund) beschäftigte sich anschließend mit der Konstruktion neuer Medienwelten am Beispiel des weltweiten Poker-Booms: Im Jahr 2010 erzielte die Branche einen Umsatz von 3,7 Milliarden Euro bei ca. 20 Millionen Teilnehmern. Neben der positiven medialen Rezeption hoher Gewinne einzelner Spieler waren technische Neuerungen bei Fernsehübertragungen wie z. B. Mikro-Kameras an Spieltischen die wichtigsten Gründe für die neue Popularität des Kar-

tenspiels. In der Akzeptanz des Glücksspiels spiegle sich Möll zufolge darüber hinaus die Vorstellung einer „Erfolgsgesellschaft“ wider, in der „nicht mehr der Input zählt, sondern nur noch das Resultat“.

Im letzten Vortrag des Panels setzten sich Thomas Döbler und Anna-Maria Wahl (Macromedia Hochschule für Medien und Kommunikation, Stuttgart) mit der mutmaßlich erhöhten Zahlungsbereitschaft von Smartphone-Nutzern für mobile Unterhaltungsangebote auseinander: Die Ergebnisse einer ersten Befragung unter 500 Mobiltelefonnutzern führten zu dem Eindruck, dass die steigende Nutzung mobiler Internetdienste allgemein „kein Ende der Kostenloskultur“ einleitet, wobei sich iPhone-Besitzer durch eine höhere Zahlungsbereitschaft auszeichnen als andere Smartphone-Nutzer. Als mögliche Gründe für diese Heterogenität wurden in der Diskussion das höhere Einkommen von „iPhonern“ sowie die intuitive Benutzerführung der iOS-Geräte genannt.

4 Online-Öffentlichkeit

Ein vieldiskutiertes Feld, das sich eng mit dem Wandel von Mediensektoren verknüpfen lässt, befasst sich mit den Rückwirkungen der neuen Kommunikations- und Informationsmöglichkeiten im Web (2.0) auf die Öffentlichkeitsstrukturen. Den Auftakt zu diesem Panel bildete ein Beitrag zu den Relationen von Social Media und Massenmedien in der gesellschaftlichen Wirklichkeitskonstruktion: Darin kontrastierte Jan-Felix Schrape (Universität Stuttgart) die Visionen zu den partizipationsfördernden und demokratisierenden Effekten des Internets mit empirischen Daten zu den bisherigen Nutzungspräferenzen der deutschen Onliner. Aus systemtheoretischer Perspektive leitete Schrape die These ab, dass Social Media und Massenmedien auf unterschiedlichen Ebenen gesellschaftlicher Wirklichkeitskonstruktion wirken und insofern weniger in einem konkurrierenden, sondern eher in einem komplementären Verhältnis stehen.

Ausgehend von einer Online-Befragung im „GuttenPlag Wiki“ zur Hochzeit des Projekts im Februar 2011 beobachteten Julius Reimer und Max Ruppert (TU Dortmund) anschließend die Interaktionen zwischen Medienakteuren im So-

cial Web und etabliertem Journalismus: Einerseits lassen sich die „GuttenPlagger“ im journalistischen Kontext angesichts ihres Rückgriffs auf eingespielte Selektions- und Darstellungsprogramme zwar als sekundäre Leistungsrollenträger charakterisieren, andererseits aber erfüllen Projekte wie „GuttenPlag“ kaum zentrale journalistische Identitätsindikatoren wie Universalität oder Periodizität. Die Referenten vermuteten dementsprechend, dass die beobachteten Akteure nicht in einer Konkurrenz-, sondern in einer Kooperationsbeziehung zueinander stehen.

Der nachfolgende Beitrag von René König (KIT, ITAS) erörterte die Frage, inwieweit Suchmaschinen im Web dazu beitragen können, dass vormals durch Wissenschaft und Massenmedien geprägtes Wissen neu verhandelt wird: Zwar haben die Massenmedien ihre Monopolstellung als Filter zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit verloren, als Stellen der Wissensvermittlung nehmen Suchmaschinen jedoch eine ebenso ambivalente Position ein, da sie einerseits zu einer Neuordnung wissenschaftlichen Wissens beitragen, aber andererseits auch die Reproduktion etablierter Sichtweisen fördern (z. B. durch Ranking-Algorithmen).

Sascha Dickel (Universität Bielefeld) nahm anschließend die kommunikativen Strukturmerkmale von „Facebook“ in den Blick und beschrieb die Plattform als eine „neue Form der Agora“, in der zwar die Selbstinszenierung in relativ geschlossenen Freundesnetzwerken im Vordergrund stehe, die in ihren technischen Gestaltungsmerkmalen aber gleichzeitig innovative Formen der politischen Mobilisierung befördere: Die Kommunikationsbeiträge auf „Facebook“ oszillieren zwischen den Logiken des Privaten und Öffentlichen und damit zwischen expressivem und einem strategisch-inszenatorischen Handeln.

Das Panel fand seinen Abschluss in drei Fallstudien zu den Qualitäten von Online-Kommunikation: Andreas Wenninger (Universität Bielefeld) thematisierte anhand des Online-Portals „Science Blogs“ die Grenzziehungsprozesse in Wissenschaftsblogs und stellte erste Projektergebnisse vor. Diese deuteten darauf hin, dass die jeweiligen Blogger aufgrund des unklaren Status des Formats die Wissenschaftlichkeit ih-

rer Beiträge kommunikativ konstruieren müssen. Im nachfolgenden Vortrag setzte sich Linda Groß (HafenCity Universität Hamburg) mit widerstreitenden Deutungsmustern in der Nutzerkommunikation der „Wikipedia“ auseinander und zeigte, wie sich die Eigenbeschreibung als Flaggschiff der Open-Content-Bewegung und ein neues Selbstverständnis als marktwirtschaftlich operierender Akteur entgegenstehen. Schließlich berichteten Robin Fink und Dennis Busse (TU Dortmund) über einen Wettbewerb der „Wikimedia Foundation“ zur Erstellung eines Prognosemodells zum Editierverhalten von „Wikipedia“-Autoren.

5 Fazit und Ausblick

Die Tagung brachte aufgrund ihrer gegenstandsbezogenen Anlage Forscher aus unterschiedlichen Fachbereichen zusammen und ermöglichte produktive interdisziplinäre Diskussionen, wodurch sich viele offene Fragen herauskristallisierten, die in einem an die Tagung anknüpfenden Sammelband beleuchtet werden sollen: Inwieweit führt der gegenwärtige Wandel zu einer Öffnung klassischer Mediensektoren gegenüber angrenzenden Bereichen? Lassen sich etablierte sozialwissenschaftliche Methoden auf die Online-Kommunikation anwenden oder sollten neue Herangehensweisen entwickelt werden? Wie viel Veränderung wird notwendig, um die relative Stabilität von Branchen oder eingespielten Geschäftsmodellen zu erhalten?

Mit Blick auf die diskutierten Forschungsergebnisse lässt sich zwischenzeitlich bilanzieren, dass die Online-Technologien zwar einen substanziellen Wandel in den Akteurskonstellationen, institutionellen Bedingungen und Marktstrukturen der betrachteten Mediensektoren und Öffentlichkeitsfelder angestoßen haben, sich die entsprechenden Veränderungen aber eher als graduelle Transformationsverläufe denn als radikale Umbrüche charakterisieren lassen.

« »

Climate Engineering aus transdisziplinärer Perspektive Bericht von der zweiten Sommerschule zu Climate Engineering

Banff, Kanada, 1.–7. August 2011

Nils Matzner, Goethe Universität Frankfurt a. M., und Stephanie Uther, Universität Heidelberg

Mit dem erklärten Ziel, speziell für Nachwuchswissenschaftler ein Forum für die Entwicklung und den Austausch neuer Forschungsideen zu schaffen, wurde in der ersten Augustwoche 2011 zum zweiten Mal eine transdisziplinäre Sommerschule zu Climate Engineering¹ veranstaltet. Der Schwerpunkt lag diesmal auf sozialwissenschaftlichen Aspekten des Climate Engineering. Wie auch im Vorjahr wurde die Sommerschule gemeinsam von der Universität Heidelberg (Marsilius-Kolleg), der University of Calgary und der Carnegie Mellon University organisiert² und fand inmitten des kanadischen Nationalparks Banff statt. Die in den einzelnen Vorträgen und Workshops diskutierten Themen zeigten das breite Spektrum an Risiken, Chancen und Herausforderungen im Umgang mit den vorgeschlagenen Technologien. Diese werden gegenwärtig aufgrund ihrer zahlreichen technischen, sozialen, ökonomischen, ethischen und politischen Unsicherheiten kontrovers diskutiert.

1 Interdisziplinäres Teilnehmerfeld

Insgesamt nahmen rund 60 Nachwuchswissenschaftler aus den USA, Europa (Großbritannien, Deutschland, Finnland) sowie Kanada, China und Indien teil. Die Teilnehmer kamen sowohl aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften als auch aus den Wirtschafts-, Sozial- und Geisteswissenschaften. Begleitet wurde die Sommerschule durch Präsentationen verschiedener Wissenschaftler aus der internationalen Climate-Engineering-Forschung: David Keith (Harvard University), Granger Morgan (Carnegie Mellon University), Ted Parson (University of Michigan), Jane Long (UC Berkeley), Tim Kruger (University of Oxford), Joachim Funke (Universität Hei-

delberg), Hans Gebhardt (Universität Heidelberg) und Ulrich Platt (Universität Heidelberg). Während im Jahr 2010 die Präsentationen einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt hatten, standen 2011 Probleme von Politik, (sozialem) Risiko und **Governance-Aspekte im Vordergrund**. Insgesamt blieb jedoch die Zeit für Vorlesungen und Workshops begrenzt, um den Teilnehmern die Möglichkeit zu Diskussionen und Ideenentwicklung in Gruppenarbeit zu geben. Darüber hinaus sollten Aktivitäten wie Szenariospiele und ein „Idea-Speed-Dating“ **den interdisziplinären Dialog** zwischen den Teilnehmern stärken.

2 Vorträge

Die Präsentation von Joachim Funke umfasste eine kurze Einführung in die psychologischen Aspekte des komplexen Problemlösens. Nach Funke müsse Climate Engineering als Prototyp eines „komplexen Problems“ angesehen werden. Er warnte in seinem Vortrag vor typisch menschlichen Fehlern im Umgang mit Technologien, u. a. im Bereich der Modellbildung oder wertbasierter Entscheidungen. Der Vortrag von Jane Long befasste sich mit geeigneten Strategien, um Climate Engineering besser zu kommunizieren und mit der Öffentlichkeit in einen Dialog zu treten. Long kritisierte die unterschiedlichen Begriffsverständnisse und Definitionen von Climate Engineering und betonte die Notwendigkeit eines unabhängigen Organs zur politischen Regulierung der Technologien. Tim Kruger machte in seiner Präsentation „Engagement, Communication and Magic“ auf die unterschiedlichen Risikodimensionen von Climate Engineering aufmerksam und verwies auf die Notwendigkeit, möglichst früh über aufkommende Risiken zu sprechen.

Ulrich Platt, der ankündigte, mit seinem Vortrag sowohl zu informieren als auch zu unterhalten, begab sich auf die Suche nach ganz neuen Ansätzen: Sonnenrückreflexion mittels feiner Wasserbläschen im Ozean, der Herstellung von Aerosolen direkt in der Atmosphäre durch einen Terawatt-Laser oder der Beförderung von Aerosolen in die Stratosphäre mittels eines Vortex-Ringes. Unterhaltend waren Kreativität und Gewagtheit der neuen Anwendungsideen. Alle unterliegen jedoch deutlichen Restriktionen, wie etwa

der mangelnden Verfügbarkeit großer Mengen von TNT zum Schießen der Vortex-Ringe oder den gigantischen Mengen an Energie, die für den Terawatt-Laser notwendig wären. Der Beitrag von Platt machte dennoch Mut, über den Tellerrand bisheriger Technologieentwürfe hinauszuschauen.

Zu den Herausforderungen der Regulierung von Climate Engineering äußerten sich Granger Morgan und Ted Parsons in ihren Vorträgen, ohne jedoch politische Handlungsempfehlungen zu liefern. Die bisherige regulative Orientierungslosigkeit sei laut Morgan das Problem: „There is no utility for the world.“ Climate Engineering als Risikotechnologie könne nicht mit bisherigen Mitteln des Risk Management angegangen werden. Für die Entscheidungsfindung lasse sich nicht von einem einzelnen Entscheider ausgehen, ebenso seien keine einheitlichen Maßstäbe vorhanden und Unsicherheiten erschwerten den Prozess zusätzlich. Diese Schwierigkeiten fasste Ted Parsons als „Morgans Dilemma“ zusammen und schlug dagegen einige Rahmenbedingungen vor. Wichtig sei es, auch die „schlechten“ Entscheidungen mit in das Regulierungsmodell einzubeziehen. Wir müssten damit rechnen, dass wir „zu viel“ oder „zu wenig“ Climate Engineering einsetzen, und deshalb sei es wichtig, Forschung kontrolliert voranzutreiben. Insgesamt brauche man ein forschungspolitisches, ein regulatives und ein sicherheitspolitisches Regime, welches nach und nach entwickelt werden müsse.

3 Neue Forschungsansätze

Gegen Ende der Sommerschulwoche bekamen die Teilnehmer Gelegenheit, in kleinen Gruppen neue Forschungsprojekte zu entwickeln und ihre Ideen in Form kurzer **Proposals bei der Sommerschulleitung** einzureichen. Dabei wurden ganz unterschiedliche Projektvorschläge vorgebracht: Eine Gruppe befasste sich beispielsweise mit der Konzeptentwicklung eines Online-Computerspiels zu Klimawandel und den Möglichkeiten des Climate Engineering. Eine andere Gruppe hatte es sich zum Ziel gesetzt, aus naturwissenschaftlicher Sicht die Effekte einer kombinierten Anwendung der Methoden „Solar Radiation Management“ und „Carbon Dioxide Removal“ in einem Klimamodell zu untersuchen. Ein weiteres

Team stellte Überlegungen zu völkerrechtlichen Aspekten des Climate Engineering im Hinblick auf Menschenrechte an.

4 Die Zukunft des Climate Engineering

Mit den Worten „The year is 2050. CO₂ concentrations are 550 ppm“ begann die Beschreibung einer Szenario-Aufgabe für die Teilnehmer. Zwei derart düstere Zukunftsszenarien wie auch ein positives Szenario sollten als Grundlage für eine Rückwärtsprognose dienen („backcasting“). Vom Standpunkt der beiden negativen Zukünfte und der einen positiven möglichen Zukunft aus (genannt „good“, „bad“ und „ugly“) sollten Arbeitsgruppen diejenigen Wendepunkte antizipieren, die zu eben dieser Zukunft geführt haben könnten. Von den Teilnehmern wurden schlechte Zukunftsaussichten mit starken Nebenfolgen von Climate Engineering, internationalen Konflikten und einem politischen Dilemma kollektiven Handelns begründet. Dagegen sahen sie einen Ausweg in der Stärkung der Vereinten Nationen als Institution für Technologieregulierung. Die Lösungsansätze waren phantasievoll – und wie von der Aufgabenstellung vorgesehen nicht immer ganz realistisch –, jedoch konnten kaum gänzlich neue Ideen generiert werden. Gleichzeitig wurde deutlich, wie wichtig und schwierig interdisziplinäre Arbeit bei einer Zukunftstechnologie wie Climate Engineering ist.

Bei einer kurzen Übung in Form eines Gedankenexperiments dachte die Plenumsgruppe gemeinsam mit David Keith und Ted Parsons über Wahrscheinlichkeit und Auswirkung eines sog. „Klimanotstandes“ sowie die Problematik eines solchen Konzepts nach. Genannt wurden zunächst die bekannten möglichen Folgen globaler Erderwärmung, wie steigender Meeresspiegel, Unwetterlagen und Dürren. Zwei zentrale Argumente sprachen dagegen, jene potenziellen Ereignisse als Notfall anzusehen: Auf der einen Seite wäre die Menschheit möglicherweise in der Lage, sich an alle diese Folgen anzupassen. Auf der anderen Seite bliebe das Problem der Zurechenbarkeit, d. h. die Frage, ob diese schadensreichen Ereignisse tatsächlich auf den Klimawandel zurückgeführt werden können. Für Keith und Parsons sollte Climate Engineering damit als

wählbare Option diskutiert werden, jedoch nicht als eine, die aufgrund der Wahrnehmung eines Klimanotstandes eingesetzt werden müsse.

5 Ausblick

Die Unsicherheiten und Risiken des Climate Engineering bleiben weiterhin eines der wichtigsten Forschungsanliegen. Um Unsicherheiten in kalkulierbare Risiken zu transformieren³, ist mehr Forschung notwendig, die stärker gefördert werden sollte; darin waren sich die Teilnehmer einig. Die Diskussionen auf der Sommerschule machten allerdings auch deutlich, dass Forschung und in erster Linie auch der potenzielle Einsatz der Technologien politisch reguliert werden sollte. Erste Ideen zu einer „research governance“ konnten gesammelt werden, ebenfalls wurde stärker an der Vernetzung auf interdisziplinärer Ebene gearbeitet.

Anmerkungen

- 1) Climate Engineering oder auch Geoengineering umfasst technikgestützte, großskalige Maßnahmen, um in das Erdsystem einzugreifen und damit die Folgen des Klimawandels abzumildern (vgl. Keith 2000, S. 246).
- 2) Die erste transdisziplinäre Sommerschule wurde im Juli 2010 am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg ausgerichtet (s. auch Uther, Matzner 2011).
- 3) Schon der Bericht der Royal Society stellt für den Umgang mit Climate Engineering heraus, dass sich aus Unsicherheiten keine Handlungsanweisung ableiten lässt, während Risiken wählbare Optionen beinhalten, deren Schaden nach Wahrscheinlichkeiten kalkulierbar ist. Forschung soll Wissenslücken möglichst weit schließen, damit zwischen Risikooptionen entschieden werden kann (Royal Society 2009, S. 37f.).

Literatur

Keith, D., 2000: Geoengineering the Climate: History and Prospect. In: Annual Review of Energy and the Environment 25, S. 245–284

The Royal Society (Hg.), 2009: Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty. London

Uther, St.; Matzner, N., 2011: Initiativen in der Climate-Engineering-Forschung. Projekte, Konferen-

zen, Netzwerke: Ein Bericht über ausgewählte Forschungsaktivitäten in Deutschland. In: Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis 2/20 (2011), S. 94–98; <http://www.itas.fzk.de/tatup/112/utma11a.pdf> (download 26.1.12)

« »

Nano is dead: Lang leben die neuen, emergierenden Technologien!

Bericht von der S.NET 2011

Tempe, Arizona, USA, 7.–10. November 2011

von Arianna Ferrari, ITAS

S.NET hat einen hohen Anspruch: Die internationale Gesellschaft mit dem Namen „Society for the Study of Nanoscience and Emerging Technologies“ möchte den intellektuellen Austausch und das Verständnis für Nanotechnologien und für neue, in der Entstehung befindliche (emergierende) Technologien im gesellschaftlichen Kontext fördern. Nach den Jahrestagungen in Seattle (USA) und Darmstadt (Deutschland) hat die in Tempe (USA) abgehaltene dritte Konferenz die Vitalität dieser Gesellschaft erneut bestätigt. Mit der Jahrestagung wurden nicht nur die Aktivitäten der Gesellschaft fortgesetzt. Die erneut gestiegene Zahl der Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus aller Welt zeigte das breite Interesse an der von S.NET angestrebten offenen Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure. Zu diesen Akteuren gehören Nichtregierungsorganisationen, Wissenschaftsverbände und Forschungspolitiker ebenso wie die Öffentlichkeit, die jeweils für unterschiedliche Herangehensweisen und Perspektiven bezüglich des Verhältnisses von technowissenschaftlicher Entwicklung und Gesellschaft stehen. Die Tagung in Tempe war gekennzeichnet durch ihre Vielfalt an Themen und Perspektiven. Einige der neuen Trends bei den emergierenden Technologien, die in Tempe diskutiert wurden, werden in diesem Tagungsbericht dargestellt.¹

1 Walking vor der Konferenz

Die zwei unmittelbar vor der Konferenz organisierten „Walkings“ in Phoenix gaben die Möglichkeit, bestimmte urbane Szenarien und ihre Zusammenhänge mit technologischer Entwicklung kritisch zu reflektieren. Das „Walking Audit & Reflection Gateway Community“, organisiert von Arnim Wiek, Rider Foley und Braden Kay (School of Sustainability, Arizona State University) thematisierte die Probleme eines Viertels (Gateway) von Phoenix, das an andere problematische Wohngebiete grenzt und dessen Probleme eventuell durch technologische Innovationen (v. a. aus dem Bereich der Nanotechnologie) gelöst oder reduziert werden können. Die Gateway-Community liegt auf verseuchtem Boden, bei dem das Grundwasser verunreinigt ist. Einer großen Mehrheit der Bewohnerinnen und Bewohner ist dies nicht bewusst. Der Beitrag von Nanotechnologien für die Reinigung von Grundwasser wurde im Walking kritisch diskutiert: Die finanziellen Bedingungen für solche technologischen Innovationen, d. h. die Frage danach, wer die Kosten trägt, spielen eine entscheidende Rolle, da die überwiegende Mehrheit der Anwohner unter der Armutsgrenze lebt. Auch andere sozioökonomische Faktoren wären für eine nachhaltige Einführung technologischer Innovationen entscheidend. Der mögliche Beitrag von Nanotechnologien im Lebensmittelbereich gewinnt eine andere Bedeutung, wenn man bedenkt, dass dieser Gemeinschaft der Zugang zu Einkaufsmöglichkeiten von frischen Nahrungsmitteln fehlt: Die am nächsten liegenden Supermärkte sind Discounter, die nur Fertigprodukte und verpackte Lebensmittel verkaufen. Diese strukturellen Einschränkungen führen zu einer Steigerung von Übergewicht und Diabetes, die wiederum besonders problematisch in einem Gebiet sind, das von medizinischen Leistungen und Einrichtungen (wie dem öffentlichen Krankenhaus) weit entfernt ist.

Ein zweites Unterthema des Walking Audits beschäftigte sich mit den Möglichkeiten, die durch technologischen Wandel im Bereich der Energieversorgung entstehen. Phoenix, in der Wüste gelegen, wäre aufgrund seiner hohen Zahl von Sonnenstunden ein idealer Standort für Photovoltaiktechnologien. Auch in diesem Technikfeld verspricht

Nanotechnologie seit einiger Zeit Effizienzgewinne und Kostenreduktion. Doch wie kann man Bürgerinnen und Bürger für eine Nutzung solcher, zunächst kapitalintensiven Techniken an ihren Wohnorten gewinnen, wenn ihr Einkommen sehr gering ist und – so die Diskussion mit den ortsansässigen Forschern – eines ihrer wichtigsten Ziele sei, schnellstmöglich in eine „bessere“ Gegend zu ziehen? Eine Reihe von Anreizprogrammen wurde bereits getestet, doch viele wurden aufgrund der Skepsis der Einwohner, fehlenden Kapitals für Investitionen und geringen Vertrauens in die Kontinuität der Einspeisevergütung wieder aufgegeben.

2 Nano: Schon ein „altes“ Thema?

Dass der Nano-Hype fast passé erscheint, war von Anfang an einer der stärksten Eindrücke der Konferenz. Zwar sind „Nanotechnologien“ prominent im Namen der veranstaltenden Gesellschaft platziert, die ersten zwei Plenary Lectures wurden aber dem Thema „Geoengineering“ gewidmet. Steve Rayner, Direktor des „Institute for Science, Innovation and Society“ (Universität Oxford), bemühte sich noch, Zusammenhänge zwischen Nanotechnologien und Geoengineering zu betonen. Rayner zog eine Parallele zwischen klein und groß: Beide Bereiche seien durch eine Stabilisierung heterogener technischer Praktiken gekennzeichnet, die bereits existieren. In anderen Worten seien „Geo“ und „Nano“ zwei neue Labels, die verschiedene Technologien zur Lösung spezifischer Probleme bestimmen und die von daher einen ubiquitären und unsicheren bzw. ungewissen Raum eröffneten. Nach einer kurzen, aber prägnanten Einführung in die Ziele und Probleme der Geoengineering-Forschung erläuterte Rayner die „Oxford-Prinzipien“ des Geoengineering², die von einer interdisziplinären akademischen Gruppe (zu der auch der Vortragende gehörte) im Rahmen einer britischen parlamentarischen Initiative zu diesem Thema formuliert wurden. Diese fünf Prinzipien, die als Basis für die Regulierung und Governance dieses neuen Bereichs formuliert wurden, sind von der Idee dieses Forschungsbereichs als „public good“ geprägt. Er sollte daher auch für die Partizipation der Öffentlichkeit im Entscheidungsprozess offenstehen und erfordert eine unabhängige Abschätzung der Folgen, Veröf-

fentlichung aller (auch der negativen!) Ergebnisse sowie eine Regulierung vor der Nutzung. Aufgrund des „neuen und emergierenden“ Charakters dieses Bereichs wurde in der anschließenden Diskussion die Frage gestellt, ob diese Prinzipien auch für andere neue technowissenschaftliche Bereiche gelten könnten.

Auch Nicholas Pidgeon (Universität Cardiff) plädierte für einen öffentlichen Dialog über Geoengineering und illustrierte das Projekt IAGP („Integrated Assessment of Geoengineering Proposals“)³ am Beispiel der Deliberation über die Injektion von stratosphärischen Aerosolpartikeln in die Umwelt für Solar Radiation Management (SRM). Das Involvieren der Öffentlichkeit ist im Fall von Geoengineering aber kein einfaches Unternehmen, nicht nur weil die Folgen unterschiedlicher Interventionen in der Atmosphäre schwer abzuschätzen und deshalb auch sehr kontrovers sind, sondern auch weil für eine erfolgreiche Partizipation eine breite Diskussion über unterschiedliche technowissenschaftliche Lösungen des Klimawandels sowie über Fragen der Kontrolle, Verantwortung und Eigentum technologischer Innovationen zu führen wäre (Corner, Pidgeon 2010). Die Herausforderungen für das Geoengineering liegen auf der Hand: Gerade weil die Forschung in diesem Bereich noch am Anfang steht, sind selbstreflexive Governance sowie eine Beteiligung der Öffentlichkeit für eine sozial nachhaltige technologische Entwicklung dringend erforderlich.

Interessant war auch die Thematisierung einer anderen emergierenden Technowissenschaft, der sog. „Translational Research“, der zwei von Marianne Boenink (Universität Twente) organisierte Sektionen gewidmet waren. Dieses neue Feld, für das noch keine allgemein akzeptierte Definition steht, entwickelt sich aus der Unzufriedenheit über den Beitrag der medizinischen Grundlagenforschung für die klinische Praxis und bezeichnet im Allgemeinen interdisziplinäre Anstrengungen im Bereich der Biowissenschaften, um „Brücken“ zwischen Grundlagen- und angewandter medizinischer Forschung zu schaffen. Neue Zentren für Translational Research werden gerade überall (auch an der Arizona State University) gegründet; ebenso werden neue wissenschaftliche Zeitschriften herausgegeben, die sich

speziell diesem Thema widmen. Hier wird ein wissenschaftstheoretisches Problem (die Kluft zwischen Theorie und Anwendung) die Quelle für ein neues Forschungsfeld. Da hier außerdem eine Untersuchung der sozialen und materiellen Bedingungen in diesem Feldes noch fehlt, eröffnen sich viele Räume für eine philosophische, soziologische und STS-Reflexion.

Vorträge über Nanotechnologien fehlten aber nicht: Sektionen wurden u. a. den Zusammenhängen zwischen Nano- und Lebensmittelbereich, Geschlechts- und Rassenkriterien, Nachhaltigkeit, Gesellschaft, Gerechtigkeit und Bildern gewidmet. Ziemlich stark war die Präsenz von Berichten aus Lateinamerika im Bereich der Nanotechnologien, die von RELANS („Latin American Network on Nano and Society“) koordiniert wurde.

Immer wieder interessant bei den S.NET-Tagungen sind die multidisziplinären Diskussionen. Dadurch, dass Vertreter unterschiedlichster Disziplinen und Forschungstraditionen teilnehmen, ergeben sich zahlreiche Anregungen durch die so entstehende Multiperspektivität. Als ein Beispiel dafür mag das Thema Risikowahrnehmung und Governance von Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch neue Nanomaterialien dienen. So wurde z. B. die Frage möglicher Regulierungsansätze für Nanomaterialien unter den Bedingungen unsicheren und unzureichenden Wissens aus rechtswissenschaftlicher, politikwissenschaftlicher, innovationstheoretischer und psychologischer Perspektive diskutiert. Dabei nahmen die Beiträge aus den USA (u. a. Jennifer Kuzma, Joseph Conti, Jeff Morris und Cassandra Engeman), sicher auch bedingt durch den Veranstaltungsort, den breitesten Raum ein. Präsentationen aus Indien (Indrani Barpujari), Südkorea (Ivo Kwon und Jeongyim Seo), den Niederlanden (Lotte Krabbenborg), Belgien (Francois Thoreau) und Deutschland (Torsten Fleischer, ITAS) fügten dem nicht nur Ansätze aus anderen Regulierungssystemen und Kulturräumen hinzu, sondern diskutierten auch die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Governance-Instrumente (sowohl verbindliche gesetzliche Regelungen als auch „weichere“ Ansätze wie Dialogverfahren, Produktregister oder „Codes of Conduct“) vor dem Hintergrund unterschiedlicher analytischer Zugänge.

3 Zur Dekonstruktion der Zukunft und Konstruktion der Governance

Zukunft ist ein konstitutives Element der Auseinandersetzung mit technologischer Entwicklung, vor allem, wenn man mit *emergierenden* Technologien zu tun hat. Zwei Sektionen der Tagung, koordiniert von Christopher Coenen (ITAS) und Simone Arnaldi (Universität Padua), wurden dem Thema der Governance ethisch kontroverser emergierender Technologien gewidmet. Mit Beiträgen aus der Philosophie (die Autorin dieses Beitrags gemeinsam mit Armin Grunwald, beide ITAS), aus den Rechtswissenschaften (Elena Parriotti und Simone Ruggiu, Universität Padua) und aus der Soziologie (Luigi Pellizzoni, Universität Triest) wurde die Konstruktion ethischer und politischer Diskurse über neue Technologien interdisziplinär erörtert. Die Sektionen waren interaktiv angelegt, und so fanden lebhafte Diskussionen zwischen den Vortragenden, den eingeladenen Diskutanten George Khushf und Elena Simakova sowie den anderen Teilnehmerinnen und Teilnehmern statt. Dabei stand die Relevanz von Visionen, Erwartungen und Technologiebildern im Mittelpunkt, aber es wurden beispielsweise auch Regulierungsfragen diskutiert. Besondere Beachtung fand zudem die Frage, welche Rolle ethische Reflexion und die Ethik als Disziplin derzeit in politischen und gesellschaftlichen Diskursen zu emergierenden Technowissenschaften spielen. Dabei wurden gewisse Tendenzen der „Ethisierung“ aus verschiedenen Perspektiven kritisiert.

Die Reflexion über den Umgang mit Zukunft wurde auch in anderen Sektionen breit diskutiert: Ulrike Felt (Universität Wien) setzte sich mit den unterschiedlichen Arten der Thematisierung von Zukunft auseinander. Sie plädierte für die Entwicklung einer Grammatik der Zukunftsszenarien, die unterschiedliche Funktionen haben – je nachdem, an welche materiellen Praktiken, sozialen Konstellationen sowie ökonomischen und politischen Bedingungen diese gekoppelt sind. Kornelia Konrad (Universität Twente) analysierte die Rolle der Erwartungen in der Governance neuer Technologien und plädierte für eine Weiterentwicklung der Soziologie der Erwartungen sowie des „Foresight-Technology-Assessment“ für ein vertieftes Verständnis des Zusammenhangs zwischen technologischen Auswirkungen und an-

deren antizipatorischen Prozessen. Alfred Nordmann (TU Darmstadt) kritisierte die Konstruktion von Zukunft in unterschiedlichen Disziplinen und plädierte damit für eine Forschungsagenda, die sich von der Illusion einer direkten Beeinflussung künftiger technologischer Entwicklungen durch gegenwärtige Entscheidungen (Zukunft als Objekt von Design) verabschiedet. Obwohl die Arbeit von Nordmann noch „work in progress“ war, plädierte er bereits dezidiert für die Wahrnehmung der Zukunft als eine „historische“ Kategorie, die Aktion orientieren kann, d. h. als eine Art von „erweiterter Gegenwart“ und damit eine Projektionsfläche für unsere (gegenwärtigen) Wünsche und Bedürfnisse. Damit könne auch auf Spekulationen über mögliche Wünsche und Vorstellungen einer künftigen Menschheit verzichtet werden.

4 Abschließende Bemerkungen

S.NET in Tempe war Ort der Begegnung für eine internationale und interdisziplinäre Community, die sich der Analyse der emergierenden Technologien widmet. Die Organisatorinnen und Organisatoren waren bemüht, unterschiedliche Perspektiven zu integrieren: Die Open Lectures am Abend des ersten Tages beschäftigten sich mit dem Thema Immigration und neue Technologien. Darren Petrucci, Architekt und Direktor der Design School an der Arizona State University, illustrierte diverse Projekte für die Entwicklung von Technologien in urbanen Kontexten. Ricardo Dominguez, Künstler, Schriftsteller und Mitgründer des Netzwerks „Electronic Civil Disobedience“ berichtete über die Initiative eines virtuellen Nano-Sit-ins zum Protest gegen wichtige Unternehmer in den Biotechnologie-Branchen, die Profit aufgrund ihrer Forschung im militärischen Bereich erzielen. Zudem setzte er sich allgemein mit den Potenzialitäten des „Hacktivism“⁴ im Bereich technowissenschaftlicher Entwicklung auseinander. Simone Browne, Soziologin und Professorin für African Diaspora Studies an der Universität Texas in Austin illustrierte den Zusammenhang zwischen Diskriminierung und der Konstruktion von Rassenunterschieden in der Entwicklung und Nutzung von Überwachungstechnologien. Geri Augusto, Watson Fellow in International Studies, bot in einer Plenary Lecture einen interkulturellen

Überblick über die Praktiken der Konstruktion von Wissen und diskutierte die Möglichkeit einer globalisierten Imagination in der technologischen Entwicklung. Sie plädierte außerdem für eine verstärkte Erforschung der kulturellen, historischen und politischen Hintergründe von emergierenden Technologien und der sie prägenden Bilder und Visionen.

Der einzige große Mangel dieser Tagung war die geringe Beteiligung von NGOs und anderen nichtakademischen Institutionen. Womöglich verhindert im Fall der NGOs v. a. der Mangel an Ressourcen Tagungsbesuche. Im Vergleich zu anderen Veranstaltungen im Bereich der Wissenschafts- und Technikforschung zeichnen sich S.NET-Konferenzen jedoch weiterhin durch eine „bunte Mischung“ der Teilnehmenden aus, und es ist bemerkenswert, wie oft das stark interdisziplinäre Gespräch gelingt. In der abschließenden Diskussion über die Zukunft von S.NET wurde betont, dass die Beteiligung von NGOs und anderen nichtakademischen Akteursgruppen mittels verschiedener Strategien weiter gesteigert werden sollte. An ihrem Bezug auf „Nano“-(-wissenschaft) im Namen will die Gesellschaft bis auf Weiteres festhalten: Neue und emergierende Nanotechnologien und ihre gesellschaftlichen Aspekte bieten zahlreiche Anknüpfungspunkte für die Arbeit der Gesellschaft und ihrer Mitglieder, und „die Nanotechnologie“ kann als paradigmatisches Beispiel für neue Tendenzen in der gesellschaftlichen Konstruktion von Forschungs- und Technologiefeldern gelten. Wenn sich S.NET nun verstärkt auch der „Entflechtung“ (Nordmann 2007) anderer emergierender Technowissenschaften widmet, können die Erfahrungen, die bisher in der Auseinandersetzung mit „Nano“ gemacht wurden, hilfreich sein.

Anmerkungen

- 1) Ein spezieller Dank geht an Christopher Coenen und Torsten Fleischer für wichtige Ergänzungen.
- 2) Diese Prinzipien wurden als Antwort einer parlamentarischen Untersuchung über die Regulierung von Geoengineering (House of Commons' inquiry into the regulation of geoengineering) formuliert, die in Zusammenarbeit mit der US-Kongress geführt wurde. Siehe dazu <http://www.parliament>.

uk/business/committees/committees-archive/science-technology/s-t-geoengineering-inquiry/.

- 3) Für Information zum Projekt siehe <http://www.iagp.ac.uk/>.
- 4) Hacktivism bezeichnet den Gebrauch von Computern und Informationstechnologien als Mittel zum Protest bzw. zu zivilem Ungehorsamkeit und zur Unterstützung politischer Ziele. Dieser Begriff wurde zum ersten Mal Ende der 1990er Jahre in Verbindung mit den Protestaktionen von Aktivisten im Internet verwendet.

Literatur

Corner, A.; Pidgeon, N., 2010: Geoengineering the climate: the social and ethical implications. In: *Environment Magazine* 52 (2010), S. 26–37

Nordmann, A., 2007: Entflechtung. Ansätze zum ethisch-gesellschaftlichen Umgang mit der Nanotechnologie. In: Gaszó, A.; Greßler, S.; Schiemer, F. (Hg.): *Nano. Chancen und Risiken aktueller Technologien*. Wien, S. 215–230

« »

Wie geht Governance?

Bericht vom Workshop der AG „Governance“ im Netzwerk TA
Berlin, 21.–22. November 2011

von Christoph Schneider, ITAS

Wenn wirtschaftliche, zivilgesellschaftliche und staatliche Akteure zusammenwirken, um Karrieren von Innovationen zu beeinflussen, dann greift der Begriff „Technology Governance“ als Beschreibung dieser Praxis und als Analyseperspektive auf diese Praxis. Ein solcher Zugriff wurde in der Ankündigung zum Workshop versprochen, den die sechs Jahre alte Arbeitsgruppe „Governance“ des Netzwerks TA (NTA) organisierte und der im Anschluss an das Jahrestreffen des NTA stattfand. Ziel war es, Technology Governance fester in der TA zu verankern und auch die eigenen Praxen der TA an diese Perspektive rückzubinden. Es gelte, die Wechselwirkungen zwischen Steuerungsmechanismen und TA immer wieder neu ins Blickfeld zu rufen, so Stefan Bröckler (FernUniversität in Hagen) aus der

Vorbereitungsgruppe des Workshops, der auch Claus Seibt und Petra Schaper-Rinkel (beide AIT, Wien) angehörten. Rund 20 Personen fanden sich hierzu im Zentrum für Technik und Gesellschaft der TU Berlin ein.

1 Zurück zu den Innovationen

Armin Grunwald (ITAS, Karlsruhe) unterzog das Konzept der „Responsible Innovation“ einer Bestandsaufnahme und prüfte dessen Konsequenzen für Technology Governance. Es handele sich bei Responsible Innovation vornehmlich um ein politisches Schlagwort mit eher dürftigem Forschungsprogramm, so Grunwald. Was darunter in der EU und in ersten Versuchen der Umsetzung kursiere, sei eine Mischung aus TA, Engineering Ethics und epistemischen Konzepten wie Risiken und Folgen. Dabei werde versucht, Verantwortung in moralischer, sozialer und epistemischer Dimension mit Innovationsprozessen zu verknüpfen, welche vermehrt im Fokus der Politik stünden. Bislang schlage sich Responsible Innovation etwa in der Beteiligung von Stakeholdern in Prozessen der Forschungsförderung nieder. Dabei sei nicht allzu viel neu, vielmehr verleihe das Schlagwort dem alten Ziel der sozialverträglichen Technikgestaltung neuen Schwung. Diesen Schwung solle die TA Community aufnehmen, wie in der Diskussion deutlich wurde. Bevor Responsible Innovation zum reinen Legitimationsbeschaffer werde, käme es, ähnlich wie beim Begriff der Nachhaltigkeit erfolgt, darauf an, das Konzept durch wissenschaftliche Arbeit zu präzisieren und für die Praxis fruchtbar zu machen.

Einen anderen Zugang zu Innovationsgestaltung hatte Urte Brand (Universität Bremen) mit Fokus auf leitbildorientierte Technikgestaltung, wie sie am Lehrstuhl von Arnim von Gleich praktiziert wird. Im von ihr vorgestellten Projekt „Klimmzug“ werde ein Leitbild erarbeitet, welches in der Metropolregion Bremen Entwicklungen zur Anpassung an den Klimawandel ein- und anleiten soll. Oft bestehe das Problem, dass Technikbewertung typischerweise spät ansetze, wenn schon starke Pfadabhängigkeit eingetreten sei. Im Gegensatz hierzu zielen leitbildorientierte Technikgestaltung nicht auf Nachbesserung, sondern auf die Gestaltung von Innovation. Leitbil-

der seien in drei Ebenen unterteilbar: Weltbilder, Leitkonzepte und Gestaltungsleitbilder, die mit abnehmender Verbreitung, aber zunehmender Handlungsorientierung mehrere Funktionen in Vergesellschaftungs- und Technisierungsprozessen spielten. Neben dieser konzeptionellen Arbeit haben die Bremer Forscher die Karriere des Leitbilds „Energieautarkie“ in drei energieautarken Regionen analysiert und konnten verschiedene Phasen idealtypisch unterscheiden. Mithilfe dieser Ergebnisse solle nun dem Leitbild der Resilienz zur Karriere in der Region Bremen verholten werden. In der Diskussion wurde allerdings angemerkt, dass Leitbilder retrospektiv auch in die falsche Richtung geführt haben könnten.

2 Hin zur Theorie?

Für Technology Governance seien die Begrifflichkeiten zu schärfen, so der Ausgangspunkt von Georg Simonis (FernUniversität in Hagen). Da Governance den Blick auf Institutionen zur Koordinierung von Akteuren richte, handle es sich um ein analytisches Konzept und nicht um eine Theorie. Diese Analyseperspektive solle zudem mit einer Differenzierung in Teilsysteme wie Wissenschaft, Wirtschaft, Politik operieren. Technology Governance aus politikwissenschaftlicher Sicht befasse sich allerdings mit öffentlichen Gütern und legitimierten Handlungsprogrammen wie Gesetzen. Für diese leiste Technikfolgenabschätzung integrale Zuarbeit. Diese These verdeutlichte Simonis empirisch am Bericht der Ethikkommission zum Atomausstieg. Dort finden sich Argumentationsmuster, die im Laufe der letzten Jahrzehnte durch TA etabliert wurden. TA habe den Energiediskurs entscheidend geprägt, Handlungsoptionen aufgezeigt und Alternativen legitimiert. Ob ein einzelnes Fallbeispiel die These der integralen Vernetzung von TA und Technology Governance tatsächlich trägt, bleibt fragwürdig und sollte in Vergleichsstudien geprüft werden, so ein Fazit der anschließenden Diskussion.

Nach den Regeln der Thermodynamik könnten Hummeln nicht fliegen, aber sie tun es doch. Ebenso dürften nach Luhmannschen Regeln, also unter Bedingungen funktionaler Differenzierung, Verhandlungssysteme nicht funktio-

nieren, da die Teilsysteme aneinander vorbeiredeten, aber sie tun es doch – zumindest teilweise. So leitete Marc Mölders (TU Dortmund) seinen Vortrag zum „Hummel-Paradox“ der Technology Governance ein. Zunächst fragte Mölders danach, was gelingende Governance überhaupt bedeuten könne. Es stelle sich am Schnittpunkt von Theorie und Empirie v. a. die Frage, wie Systeme trotz ihres Eigensinns bzw. ihrer Systemlogik Entscheidungen aus anderen Systemen übernehmen. Diese Frage diskutierte Mölders detailliert anhand verschiedener systemtheoretischer Positionen. Überzeugend sei der Vorschlag, anzunehmen, dass die Systeme aneinander vorbeireden müssen, aber in je eigener Weise auf dieses reagieren. Ausgehend hiervon skizzierte Mölders ein empirisches Forschungsprogramm, welches der Präzisierung dieser Frage nachgehen soll. Empirisch ließen sich evtl. gezielte und direkte Irritationen von Systemen nachweisen – letztendlich müsse die Theorie an die Empirie angepasst werden, so auch das Fazit der Diskussion.

Gerhard Fuchs (Universität Stuttgart) sprach zu „Governance von neuen Technologien im Energiesektor: Zwischen Anpassung und Erneuerung“. Ein grundlegendes Problem der Governance-Forschung sei ihre statische Ausrichtung, die wenig mit Prozessen arbeiten könne und deshalb ein unklares Verhältnis zu Veränderungen habe. Um die Regelungs- und Prozessperspektive vereinen zu können, biete es sich an, Technikentwicklung als in strategischen Handlungsfeldern stattfindend zu konzeptualisieren. In diesen interagieren verschiedene Akteure in bestimmten Konstellationen, welche sich im Laufe der Zeit ändern können. Empirisch gelte es also, zu prüfen, wie sich Akteurskonstellationen verändern und wie diese Veränderungen mit Governance zusammenhängen. Fuchs spürte diesen Veränderungen in einem mehrere Staaten umfassenden Vergleich von Photovoltaik- und „Carbon Capture and Storage (CCS)“-Technologien nach. In den Wechselspielen innerhalb der strategischen Handlungsfelder führten verschiedene Wege zum „Erfolg“, es ließen sich aber bestimmte Schlüsselmechanismen ausweisen, die die Handlungsfelder änderten. Zentral sei, wie Chancen und Risiken kollektiv konstruiert würden und welche innovativen Handlungen die Felder prägten.

3 Wohin geht's?

Die Fruchtbarkeit der Governance-Forschung für die TA wurde in der Schlussdiskussion hervorgehoben, dennoch ging es v. a. darum, wie diese Fruchtbarkeit erhöht werden könne. Es zeigte sich das Problem, dass die eher statische Governance-Perspektive hin zur Prozessperspektive, die soziotechnischen Wandel erfasst, dynamisiert werden müsse. Ein besonderes empirisches Problem seien die Innovationen, die scheitern und die die Mehrheit der Innovationsversuche ausmachen. Weil diese weniger sichtbar sind, sei Innovationsforschung auf Erfolgsgeschichten fokussiert. Wie kann nun die Governance-Forschung helfen, eine grundsätzlichere Gestaltungsperspektive voranzubringen? Wie kann Governance-Forschung dazu beitragen, dass alternative Gestaltungsperspektiven befördert werden, solange noch Hoffnung auf deren Innovation besteht?

Das Feld, welches die Technology-Governance-Forschung in den Griff zu bekommen versucht, ist in Bewegung. Innovation ist deshalb auch in der Governance-Perspektive vonnöten, um mit neuen Dynamiken – evtl. auch neuen Rollen der Bürger? – Schritt zu halten. Theoretische und empirische Werkzeuge müssen weiterentwickelt werden, um im besten Falle Innovationsfelder nicht nur zu verstehen, sondern fruchtbar in ihnen mitzuwirken. In Berlin deutete sich an, dass dies eher in einer Verknüpfung von Theorie und Praxis zu machen ist als in rein beobachtender Perspektive. Dennoch ist v. a. mehr empirische Forschung zu leisten, um die Dynamik im Feld erst einmal besser zu verstehen.

« »

20 Jahre Lokale Agenda 21 in Deutschland

„RIO+20 – Nachhaltig vor Ort!“ &
5. Netzwerk21-Kongress

Hannover, 7.–9. Dezember 2011

von Melanie Oertel und Marius Albiez, ITAS

Die lokalen Agenden haben in Deutschland viel bewegt, aber unzureichende Vernetzung und bürokratische Hürden bremsen leider oft das Engagement, so der Tenor der Kongressteilnehmer in Hannover. „Rio+20 – Nachhaltigkeit vor Ort“ fand im Dezember 2011 zusammen mit dem 5. Netzwerk21-Kongress statt, welche die Stadt Hannover und 23 weitere Organisationen ausrichteten. Der Kongress richtete sich vor allem an lokale Nachhaltigkeitsakteure aus Kommunen, NGOs, Verbänden, Unternehmen, Kultur, Medien und der Zivilgesellschaft, die sich auch unter den knapp 600 TeilnehmerInnen wiederfanden. Vorrangig wurde während der drei Tage diskutiert, wie sich Lokale-Agenda-21-Prozesse und die Nachhaltigkeitsbewegung im Allgemeinen in Deutschland entwickelt haben. Von den Organisatoren wurden 24 Arbeitsgruppen zu zwölf Themen angeboten. Zusätzlich konnten sich auf dem „Markt der Möglichkeiten“ circa 35 Institutionen, Firmen und Projekte mit nachhaltigkeitsbezogenen Themen präsentieren. Die Ergebnisse des Kongresses wurden in einer Abschlusserklärung festgehalten, welche in den nationalen Vorbereitungsprozess für den Erdgipfel 2012 in Rio eingebracht werden soll.

1 Lokale Agenda 21: Prozesse in Deutschland

Umsetzungen und Entwicklungen der Lokalen Agenda 21 innerhalb von deutschen Kommunen während der letzten 20 Jahre wurden in Vorträgen, Ausstellungen und offenen Diskussionen präsentiert. Bereits die Eröffnung des Kongresses mit Beiträgen von Klaus Töpfer, Vandana Shiva (der Trägerin des alternativen Nobelpreises) und einer Videobotschaft von Norbert Röttgen von der Klimakonferenz in Durban unterstrich die politische Relevanz der Veranstaltung. Ausge-

sprochenes Ziel von Rio+20 war es, eine Strategie zu finden, wie die angestoßenen Projekte erfolgreich weitergeführt und -entwickelt werden können. Bereits am ersten Tag wurden im World Café mit unterschiedlichen Akteuren Schwächen und Stärken der lokalen Agenden angesprochen sowie weitere Schritte angedacht. Als ein großer Schwachpunkt wurde die unzureichende Vernetzung (lokal und national) zwischen den Akteuren herausgestellt. Als positive Stadtbeispiele auf mehreren Ebenen dienten die Gastgeberstadt Hannover (z. B. Klima-Allianz Hannover 2020) und die Stadt Bottrop, die den Wettbewerb „Innovation City Ruhr“ für sich entschieden hatte.

2 Hauptthemen des Kongresses

Die inhaltlichen Schwerpunkte des Kongresses lagen auf Stadtentwicklung, Energie, Klimaschutz, Mobilität und soziale Gerechtigkeit, welche unter dem Gesichtspunkt der regionalen und kommunalen Ebene miteinander verknüpft wurden. Die Themengebiete wurden in zahlreichen Arbeitsgruppen und Plenen erörtert. Referenten aus Forschung, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik regten die inhaltlichen Debatten an.

Ein Hauptaugenmerk lag auf der konkreten Umsetzung nachhaltiger Entwicklung und auf der Frage, wie zivilgesellschaftliche Akteure besser in Entscheidungsprozesse eingebunden werden können. Insbesondere Ehrenamtliche und interessierte Bürger beklagten, dass die Umsetzung von Projekten oftmals nicht am fehlenden Engagement scheitere, sondern dass bürokratische Hürden oder fehlende Partizipationsmöglichkeiten die konkrete Umsetzung vor Ort erschwerten. Entscheidend für die Umsetzung sei, so der Tenor, die Verankerung der lokalen Agenda in der Stadtverwaltung.

Als weiteres Problem wurde angeführt, dass oftmals geeignete Leitbilder fehlten, um regionale Projekte auf ihre Nachhaltigkeit prüfen und anpassen zu können. Nicht zuletzt aufgrund der zunehmenden Verstädterung in Deutschland und einem wachsenden Bevölkerungsdruck in den Großstädten stand die Stadt als solche im Mittelpunkt der Diskussionen. Zukunftsvisionen einer klimaneutralen Stadt wurden ebenso debattiert wie Stadtbegrünung und Gerechtigkeitsthemen

(Verdrängung durch Luxussanierungen etc.). Der ländliche Raum wurde mit seiner demografischen Entwicklung und seinem Potenzial als regenerativer Energieerzeuger thematisiert. Im Zuge der gegenwärtigen finanziellen Schieflage vieler Kommunalhaushalte wurden Lösungsvorschläge auch unter dem Gesichtspunkt zunehmender Verschuldung erörtert.

3 Markt der Möglichkeiten

Mehr als 30 Aussteller präsentierten ihre Projekte und Ideen im Themenfeld der nachhaltigen Entwicklung auf der begleitenden Ausstellung zum Kongress, die gut platziert in den zentralen Räumlichkeiten stattfand. Das ITAS nutzte die Möglichkeit und präsentierte unter anderem die Schule der Nachhaltigkeit des KIT und Projekte, die sich mit Herausforderungen in Städten beschäftigen (CONCERTO, Climate Adaptation Santiago und das Quartier Zukunft), sowie Querschnittsthemen im Rahmen des KIT-Schwerpunkts Mensch und Technik. Nachfragen am Stand bezogen sich auf die verwendeten wissenschaftlichen Methoden sowie die Möglichkeiten, insbesondere die junge Generation an Nachhaltigkeitsthemen heranzuführen und ihr Engagement zu wecken.

4 Besonderheiten des Kongresses

Die Organisatoren bemühten sich, bei der Durchführung des Kongresses ihrem eigenen Nachhaltigkeitsbild gerecht zu werden. So waren angebotene Speisen aus ökologischem Anbau, Kongressstaschen aus fair gehandelter Biobaumwolle und dekoriert wurde mit regionalen Kräutern. Außerdem wurden die anfallenden CO₂-Emissionen während des Kongresses auf www.atmosfair.de ausgeglichen. Zum Kongressabschluss wurde eine Erklärung verfasst, die Impulse für die deutsche Delegation des UN-Gipfels für Nachhaltige Entwicklung in Rio de Janeiro 2012 geben soll. Während in früheren Erklärungen die ökologische und klimaschutzrelevante Dimension im Vordergrund standen, finden sich in der Abschlusserklärung gerade auch Forderungen für soziale und ökonomische Belange. Hier einige Auszüge:

- „[...] es mangelt jedoch an richtungsweisen- den Regulierungen für eine flächendeckende nachhaltige Entwicklung für die Real- und für die Finanzwirtschaft.“
- „Nachhaltigkeit muss als Prinzip in das Alltagshandeln eingebettet werden: in die Erzeugung, effiziente Nutzung und Einsparung von Energie, in das Mobilitätsverhalten sowie in den täglichen Konsum, in die Betreuungsaufgaben sowie in das Erwerbsleben.“
- „Internationale Organisationen, die Europäische Union, die Bundesregierung und die Länder müssen die lokale Ebene als zentralen Partner in Nachhaltigkeitsprozessen von Anfang an einbeziehen. Auch müssen die EU, die Bundesregierung und die Bundesländer ihre eigene Politik stärker als bisher an den Prinzipien der Nachhaltigkeit ausrichten.“

5 Fazit und Ausblick

Der Kongress bot eine Austauschplattform, die von über 600 Vertretern aus Wirtschaft, Kommunen, Wissenschaft und Bürgerinitiativen sehr gut angenommen wurde. Dabei stand die Umsetzungsebene deutlich im Fokus und wurde auf verschiedenen Ebenen diskutiert. Inhaltliche Debatten über Nachhaltigkeit (Fragen zum Beispiel nach der Begriffswandlung oder Messbarkeit von Nachhaltigkeit während der letzten 20 Jahre) wurden nicht geführt. An der einen oder anderen Stelle hätte eine tiefere Reflexion aus wissenschaftlicher Sicht die Diskussionen bereichert (Stadt Begrünung z. B. ist nicht nur qualitativ schön anzuschauen und steigert die Lebensqualität, sondern hat weitere positive messbare Auswirkungen auf Mikroklima, Ökosystem und Wasserhaushalt). Auch der Nachhaltigkeitshorizont der Wirtschaft könnte durch mehr wissenschaftliche Unterstützung erweitert werden. Der gesellschaftliche Wandel in Punkto Mobilität wurde von der Industrie ausführlich erläutert, doch eine Betrachtung von Lösungsansätzen ging nicht über bekannte Analysen hinaus. Selbstverständlich muss der zukünftige Bedarf für Elektroautos ermittelt werden, doch deckt dies in keinsten Weise das Spektrum des Themenfeldes E-Mobilität ab, welches in seiner gesamten Breite erst in der Abschlussdiskussion erörtert wurde.

Generell bestand Einigkeit darin, dass Nachhaltigkeit als „common sense“ zu verstehen wäre. Dies lag auch im Interesse der Veranstalter, deren Ziel es war, ein möglichst breites Spektrum an Akteuren anzusprechen. Die Organisation des Kongresses ist zu loben, ebenso die Vielfalt des Programms und das Engagement, das sich auch in der nachhaltig umweltverträglichen Ausrichtung der Gesamtveranstaltung zeigte.

Anmerkung

Weitere Informationen sind zu finden unter: Rio+20 – Nachhaltig vor Ort: <http://www.rioplus20kongress.de/>; CONCERTO: <http://www.concertoplus.eu/concerto/>; CAS: <http://www.climate-adaptation-santiago.ufz.de/>; Schule der Nachhaltigkeit: <http://www.hoc.kit.edu/schule-der-nachhaltigkeit.php>; Quartier Zukunft: http://www.itas.kit.edu/num_lp_parr11_quazu.php; Mensch und Technik Querschnitt Nachhaltigkeit: http://www.mensch-und-technik.kit.edu/img/Q1_Nachhaltige_Entwicklung_Selbstverstaendnis.pdf; Klima-Allianz Hannover: http://www.hannover.de/klimaschutzallianz/Aktuelles/Klima-Allianz_2020/index.html sowie Innovation City: <http://www.i-r.de/projekte/innovationcity-ruhr/> und <http://www.metropoleruhr.de/wirtschaft/zukunftsprojekte/innovation-city-ruhr.html>.

« »

ITAS-NEWS

CONSIDER: Neues Projekt zu Stakeholder-Partizipation in der Forschung

„Partizipative Technikfolgenabschätzung oder „constructive“ TA“ stehen für die Einbeziehung gesellschaftlicher Interessen in die Forschung. Die Diskussion über deren Möglichkeiten, Funktionen, Vor- und Nachteile führen Sozialwissenschaftler seit Jahrzehnten. Argumente leiten sich sowohl aus demokratietheoretischen, wissens- und wissenschaftssoziologischen als auch gesellschaftstheoretischen Ansätzen ab. Zivilgesellschaftliche Organisationen (CSOs), wie Umweltschutzverbände, Verbraucherschutzverbände oder Gewerkschaften, erfüllen mehrere Kriterien, die sie zu passenden Akteuren in Forschungsprojekten machen: Sie repräsentieren die organisierte Meinung vieler und haben oftmals ein Interesse, ihre eigenen Positionen wissenschaftlich zu begründen oder Technologien in ihrem Sinne (z. B. Nachhaltigkeit bei Nanotechnologie) zu gestalten. Bislang ist jedoch unklar, auf welche Weise CSOs mitwirken. Fraglich scheint auch, welche Auswirkungen die Mitwirkung von CSOs auf Forschung oder gesellschaftliche Debatten haben könnte und wie diese insgesamt zu bewerten ist.

Auf diese Unklarheiten geht das von der EU-Kommission finanzierte CONSIDER-Projekt ein, das im Februar 2012 unter Mitarbeit des ITAS gestartet ist. Es möchte unterschiedliche Modelle konstruieren, wie CSOs sich an Forschungsprojekten beteiligen können. Daraus entwickeln die Projektpartner Leitlinien, um interessierten Stakeholdern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Zivilgesellschaft Hilfestellungen zu geben. Um diese Resultate zu erzielen, gilt es zunächst, die theoretische Literatur zu sichten, vor dem besonderen Forschungsfokus zu diskutieren sowie die unterschiedlichen Theoriestränge zusammenzuführen. Mithilfe eines Beobachtungsschemas, das sich auf Ideen der Theoriearbeit aber auch auf stichprobenartige Explorationen des Feldes

stützt, wählt das Projektkonsortium bis zu 30 FP7-Forschungsprojekte aus und analysiert diese.

Neben der Beratschlagung mit der EU-Kommission setzt CONSIDER auf einen engen Austausch mit CSOs. Dazu bindet das Projekt selbst CSOs ein und probiert Möglichkeiten ihrer Mitwirkung in partizipativen TA-Prozessen aus. Außerdem baut das Konsortium ein Netzwerk interessierter CSOs auf, um die Ergebnisse des Projekts auch an Interessierte außerhalb der Forschung weiterzutragen, damit diese sie direkt nutzen können.

Simon Pfersdorf (simon.pfersdorf@kit.edu)

« »

Neue Veröffentlichung

Nr. 2 der VolTA erschienen

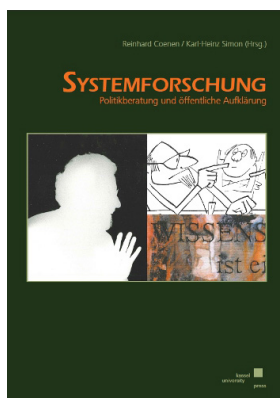
„You have been hacked!“: Die zweite Nummer von VolTA, einem neuen europäischen TA-Magazin, ist erschienen. Themenschwerpunkt sind kritische Infrastrukturen, insbesondere unter dem Aspekt der Cybersicherheit. VolTA ist eine Gemeinschaftsinitiative von 15 europäischen TA-Institutionen, die am EU-Projekt PACTIA (Parliaments and Civil Society in Technology Assessment) beteiligt sind. VolTA erscheint zweimal im Jahr auf Englisch und kann gratis abonniert werden. Die Redaktionsleitung liegt bei Antoinette Thijssen vom niederländischen Rathenau Institut. Zum wissenschaftlichen Beirat gehören neben Leonhard Hennen (ITAS) die TA-Forscher Sergio Bellucci (TA-SWISS), Lars Klüver (Danish Board of Technology) und Iva Vancurova (Technology Centre ASCR, Tschechien).



Systemforschung – Politikberatung und öffentliche Aufklärung

Dieser Band dokumentiert mit seinen zwischen 1966 und 2004 entstandenen Beiträgen den Weg der politikorientierten Systemforschung in Deutschland, die vor allem in ihren Ursprüngen eng mit dem Namen Helmut Krauch verbunden ist.

Die Publikation ist als posthume Hommage an den im Oktober 2010 verstorbenen Helmut Krauch zu verstehen, dessen Bedeutung für die Systemforschung und die Technikfolgenabschätzung in Deutschland sich an den zehn Beiträgen aus seiner Feder ablesen lässt, die in dem Band zusammengeführt und damit wieder gut verfügbar sind. Die beiden Herausgeber, Reinhard Coenen, der langjährige stellvertretende Leiter des ITAS, und Karl-Heinz Simon, Leiter des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltsystemforschung an der Universität Kassel, stehen für die zwei Orte, an denen der Einfluss Helmut Krauchs vielleicht noch am deutlichsten spürbar ist. Der Band bietet deshalb weit mehr als Erinnerung. Zusammen mit den Beiträgen ehemaliger oder noch am ITAS tätiger Kollegen wird eine Traditionslinie des Instituts deutlich, die auch noch heute im Institut wirkt. Diese Bedeutung wird auch daraus ersichtlich, dass der Leiter des ITAS, Armin Grunwald, eigens für diesen Sammelband einen Beitrag verfasst hat. Die Auswahl der Beiträge insgesamt und die damit verbundenen thematischen Linien stellen einen durchdachten Reader für alle dar, die eine historische und praxisnahe Einführung in Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse suchen. Auf der Website der Universität Kassel zu dieser Publikation wird die Veröffentlichung auch zum kostenfreien Download angeboten.



Bibliografische Angaben: Coenen, R.; Simon, K.-H. (Hg.): Systemforschung. Politikberatung und öffentliche Aufklärung. Beiträge von und im Umfeld von Helmut Krauch und der Studiengruppe für Systemforschung. Kassel: university press 2011, ISBN 978-3-86219-204-5, 474 S., Euro 34,00

Die Moderne Lateinamerikas. Weltgesellschaft, Region und funktionale Differenzierung

Mit der Veröffentlichung „Die Moderne Lateinamerikas. Weltgesellschaft, Region und funktionale Differenzierung“ (2012) ist ein ungewöhnlicher Eintrag in das ITAS-Portfolio entstanden. Aldo Mascareño ist Hochschullehrer an der *Escuela de Gobierno – Universidad Adolfo Ibáñez* in Santiago de Chile. Er war 2007 Gastwissenschaftler am ITAS im Rahmen des Forschungsprojekts „Risk Habitat Megacity“. ITAS suchte die wissenschaftliche Zusammenarbeit mit ihm, um einen Eindruck über die sozialstrukturellen Entwicklungen in Lateinamerika zu erhalten, die über statistisch-demografische Analysen hinausgehen.

Aldo Mascareño kritisiert in seinem Buch die allgemeine Interpretation, dass Europa als Endzustand der gesellschaftlichen Entwicklung zu verstehen sei und Lateinamerika demzufolge eine „Unvollkommenheit“ darstelle – eine unzivilisierte, unterentwickelte, fragmentarisch moderne oder periphere Region der Welt. Seine These lautet, es gebe nicht nur die eine Moderne, sondern mehrere. Das Buch beschäftigt sich mit der Entstehung der Moderne in Lateinamerika. Von der Kolonialordnung bis zur Gegenwart verfolgt es den Weg Lateinamerikas als eine Region der Weltgesellschaft und beschreibt die Spannungen und Steuerungsprobleme, die bei der Durchsetzung des weltweit bedeutenden gesellschaftli-



chen Prozesses der funktionalen Differenzierung stattfinden. Das Buch kombiniert soziologische, geschichtliche und literarische Analysen.

Bibliografische Angaben: Mascareño, A.: Die Moderne Lateinamerikas – Weltgesellschaft, Region und funktionale Differenzierung. Bielefeld: transcript 2012, ISBN 978-3-8376-1971-3, 260 S., Euro 29,80

Sustainable Development – The Cultural Perspective. Concepts – Aspects – Examples

Die kulturelle Perspektive, die im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte (von wenigen Ausnahmen abgesehen) höchstens als Beiwerk der sozialen Nachhaltigkeit Eingang in den politischen Diskurs fand, etabliert sich nach und nach als eigenständige Dimension der Nachhaltigkeit. Begleitet wird der aufkommende politische Diskurs von einer zunehmenden Intensivierung der wissenschaftlichen Debatte. Der „Kultivierung“ der Nachhaltigkeit wird die „Vernachlässigung“ der Kultur gegenübergestellt. Gefragt wird vor allem nach den kulturellen Voraussetzungen und Bedingungen, um den Entwicklungspfad „Nachhaltige Entwicklung“ beschreiten zu können. In diesem Band wird „kulturelle Nachhaltigkeit“ auf interdisziplinäre und internationale Weise zum Gegenstand der Analyse gemacht – konzeptionell wie exemplarisch. Die Autoren untersuchen das facettenreiche Spektrum der Interdependenzen von Kultur und Nachhaltigkeit aus unterschiedlichen Blickwinkeln, wagen aber auch eine (disziplinübergreifende) „Gesamtschau“. Auf dieser Basis wird „kulturelle Nachhaltigkeit“ im Spannungsfeld von kulturellem Erbe, Globalisierung und technischem Wandel thematisiert.



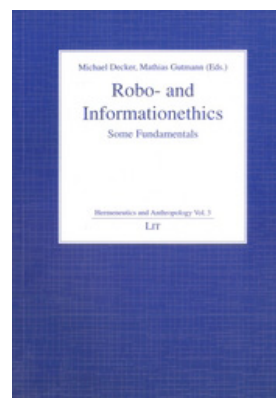
Bibliografische Angaben: Banse, G.; Nelson, G.L.; Parodi, O. (Hg.): Sustainable Development – The Cultural Perspective. Concepts – Aspects – Examples. Berlin: edition sigma 2011 (Gesellschaft – Technik – Umwelt, Neue Folge 15), ISBN 978-3-89404-945-4, 384 S., kartoniert, Euro 27,90. Zusätzlich als E-Book verfügbar: ISBN 9783836009454, 384 S., PDF, Euro 24,90

Robo- and Informationethics

In den Jahren 2010 und 2011 wurde eine Serie von internationalen Workshops zum Thema Roboter- und Informationsethik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) veranstaltet. Diese wurden gemeinsam von der „New Field Group Autonome technische Systeme“ und dem ITAS organisiert. Aus den Workshopbeiträgen wurden einige thematisch besonders interessante ausgewählt und von den Autoren für diesen Band überarbeitet.

Ethische Reflexion zu Robotern ist ein noch junges Teilgebiet der Angewandten Ethik, das sich mit den gleichermaßen faszinierenden wie fundamentalen Transformationen der Robotik auseinandersetzt: Neue Arten von Robotern (wie autonome Systeme und künstliche Agenten) stellen die Vorherrschaft des Menschen infrage, als einziges handelndes Wesen in einem strengen Sinne autonom handeln zu können. In diesem Buch beantworten die Autoren drängende methodologische, ethische und technik-philosophische Fragen, die sich in Bezug auf künstliche autonome Systeme stellen.

Bibliografische Angaben: Decker, M.; Gutmann, M. (Hg.): Robo- and Informationethics. Some Fundamentals. Berlin: LIT 2012. ISBN 978-3-643-90208-5 (Hermeneutics and Anthropology, Vol. 3), 264 S. Euro 29,90



Personalia

Manuel Baumann arbeitet seit Januar 2012 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITAS und hat zuvor in Österreich die Fächer „Energiewirtschaft“ sowie „Energie- und Umweltmanagement“ studiert. Er wirkt am Helmholtz-Portfolio-Forschungsprojekt „Elektrochemische Speicher im System“ mit, wobei sein Schwerpunkt auf der Systemebene im Bereich der Energiewirtschaft sowie der E-Mobilität liegt. Hierbei sollen in einer ganzheitlichen Systembewertung sämtliche (Teil-) Aspekte chemischer Energiespeicher von der Rohstoffverfügbarkeit, Abbau, Ausgangsstoffproduktion, Batterieherstellung und -nutzung in der E-Mobilität, Nutzung auf der Systemebene (z. B. Smart Grids) sowie das Recycling berücksichtigt werden.

Nuno Boavida ist Promotionsstipendiat im PhD-Programm „Technology Assessment“ an der Universidade Nova de Lisboa. Mit einem portugiesischen Stipendium arbeitet er am ITAS weiter an seiner Promotion. Das Ziel seiner Forschung ist herauszufinden, welchen Einfluss Indikatoren für technologische Innovationen auf technikbezogene Entscheidungen haben und, daran anknüpfend, wie sich dies auf die Gesellschaft insgesamt auswirkt.

Der Chemieingenieur **Mauricio Cote** ist seit Januar 2012 Doktorand am ITAS und arbeitet mit an der Weiterentwicklung des aktuellen Kohlenstoffflussmodells „CarboMoG“, um das Kohlenstoffbestandsmodell zu transformieren. Er studierte „Renewable Energy Management“ an der Universität Freiburg und schloss dort mit einem Master of Science ab.

Christina Götz arbeitet seit November 2011 am ITAS. Sie studierte Soziologie, Erziehungswissenschaft und Kriminologie an der Universität Tübingen und wurde 2011 zur Projektmanagement-Fachfrau nach IPMA/GPM zertifiziert. Als wissenschaftliche Mitarbeiterin ist sie in den Projekten „ReNew Town“ und „Periphèria“ tätig, die beide die Stadt als Lebensraum in den Mittelpunkt des Forschungsinteresses rücken.

Andreas Rieder arbeitet seit Mitte April 2012 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ITAS. Im Rahmen des HGF-Allianzprojekts „Energy-Trans“ wird er sich mit der Modellierung regionaler Energiesysteme beschäftigen. Er

hat an der TU Berlin den Bachelor-Studiengang „Energie- und Prozesstechnik“ abgeschlossen und wird in Kürze den Master für Regenerative Energiesysteme erwerben.

Hannot Rodríguez besitzt einen PhD in Philosophie und ist seit April diesen Jahres Gastwissenschaftler am ITAS (University of the Basque Country, UPV/EHU). Schwerpunkte seiner Forschungsarbeit sind „risk governance“ emergierender Technologien und die soziotechnische Integration von Wissenschaft und Technologiepolitik. Als Postdoc forschte er am „Consortium for Science, Policy & Outcomes“ an der Arizona State University. Im Rahmen seines zwölfmonatigen Aufenthalts wird er seine Forschung zur Verknüpfung von Wissensgesellschaft und Wissenspolitik fortsetzen. Die Förderung dieses Gastaufenthalts erfolgt durch das KIT.

Andreas Seebacher ist ebenfalls seit April 2012 am ITAS als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er forscht im Projekt „Quartier Zukunft – Labor Stadt“, in dem es um mehrdimensionale nachhaltige Fortentwicklung eines Karlsruher Stadtteils geht. Nach dem Studium der Architektur (mit städtebaulichen Akzenten) war er seit 1992 wiederholt im Rahmen humanitärer Hilfe und Entwicklungszusammenarbeit in verschiedenen Ländern im Einsatz; daneben übernahm er in Deutschland Tätigkeiten als Architekt. Er promovierte 2003 mit einer Arbeit zu modellhaften Strategien für die Wiederbeschaffung von Wohnraum im Rahmen humanitärer Hilfe nach Kriegen.

Auch **Alexandra Quint** ist seit April 2012 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am ITAS tätig. Sie ist Geografin mit dem Schwerpunkt „Stadt- und Regionalentwicklungsmanagement“ (Master of Science). Am ITAS arbeitet sie im Projekt „Quartier Zukunft – Labor Stadt“ sowie im KIT-Schwerpunkt „Mensch + Technik“.

« »

TAB-NEWS

„Der Lotse geht von Bord“ – Wechsel in der stellvertretenden Leitung des TAB

Dr. Thomas Petermann, seit der Gründung des TAB im Jahre 1990 dessen stellvertretender Leiter, ist zum 31. Dezember 2011 in den Ruhestand getreten.

Thomas Petermann hat Politikwissenschaft, Germanistik, Romanistik und Philosophie studiert. Viele Jahre war er wissenschaftlicher Angestellter und Lehrbeauftragter am Seminar für Wissenschaftliche Politik der Universität Freiburg (1974–1983 und 1995–2000), arbeitete von 1984 bis 1985 als Fellow am Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB) und danach als Wissenschaftler bei der Enquete-Kommission „Technikfolgen-Abschätzung“ des Deutschen Bundestages (1985–1987) „Einschätzung und Bewertung von Technikfolgen; Gestaltung von Rahmenbedingungen der technischen Entwicklung“; hier war er maßgeblich an der Entwicklung des letztlich so etablierten Modells „einer Einrichtung zur Beratung des Parlaments in Fragen der Technikfolgenabschätzung“ beteiligt. Ab 1988 war Thomas Petermann im Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS, zuvor AFAS) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT, vormals Forschungszentrum Karlsruhe) beschäftigt und wurde 1990 vom damaligen Leiter des ITAS und des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), Professor Herbert Paschen, zum stellvertretenden Leiter des TAB berufen. In dieser Funktion hat er die „Geschicke“ des TAB-Büros über mehr als zwei Jahrzehnte ganz wesentlich mitgeprägt. Thomas Petermann hat zahlreiche Bücher, Artikel und Buchbeiträge zu den Themenfeldern Gesellschaft, Politik und Technik, Politikberatung sowie Technikfolgenabschätzung vorgelegt. Neben der Organisation des TAB-Betriebs zeichnete Thomas Petermann für außerordentlich viele und vielfältige TA-Themen und -Projekte verantwortlich. Zuletzt leitete er das nicht nur in der Politik,

sondern auch in Wissenschaft und Öffentlichkeit viel beachtete TAB-Projekt „Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen und langandauernden Ausfalls der Stromversorgung“

Die Fraktionen des Deutschen Bundestages haben die überaus erfolgreiche Arbeit von Thomas Petermann am 29. November 2011 im Rahmen einer Sitzung des Berichterstellerkreises der für TA zuständigen Abgeordneten mit einer Feierstunde gewürdigt. Neben den Abgeordneten nahmen auch deren Mitarbeiter, Fraktionsangestellte und Verwaltungsangehörige die Gelegenheit wahr, sich bei Thomas Petermann für viele Jahre der stets vertrauensvollen und konstruktiven Arbeit und Zusammenarbeit zu bedanken und sein beständiges, souveränes Wirken im Dienste der gemeinsamen Aufgabe „TA beim und für den Deutschen Bundestag“ zu würdigen. Die langjährige Vorsitzende des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung, Ulla Burchardt, MdB, bezeichnete Herrn Petermann als „das Gesicht“ des TAB und der Politikberatung für den Deutschen Bundestag.

Mit dem Abschied von Thomas Petermann wurde die Neubesetzung der stellvertretenden Leitungsfunktion beim TAB notwendig. Professor Armin Grunwald, ITAS-Direktor und dadurch auch Leiter des TAB, hat sich für eine interne Lösung entschieden und seine langjährigen Mitarbeiter Dr. Christoph Revermann und Dr. Arnold Sauter gemeinsam mit der Wahrnehmung dieser Funktion ab dem 1. Januar 2012 betraut. Arnold Sauter kam 1995 als Wissenschaftler zum TAB. Er ist studierter Biologe und hat in Zoologie und Genetik promoviert. Christoph Revermann, seit Ende 1996 beim TAB, studierte ebenfalls Biologie sowie Sozialwissenschaften und ist promovierter Anthropologe.

« »

Neuer Mitarbeiter im TAB

Dr. Christoph Kehl ist ab Februar 2012 neuer Mitarbeiter des TAB. Er studierte an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich

Umweltwissenschaften und nach Abschluss als Dipl.-Naturwissenschaftler Philosophie, Literaturwissenschaft und Geschichte an der Freien Universität Berlin. Anschließend promovierte Christoph Kehl an der Humboldt-Universität zu Berlin und im Promotionsschwerpunkt „Biomedizin – Gesellschaftliche Deutung und soziale Praxis“ des Evangelischen Studienwerks Villigst. In diesen Kontexten hat er sich in den letzten Jahren schon eingehend mit Fragen der Technikfolgenabschätzung befasst. Die Auseinandersetzung mit Wissenschaft über enge Fachgrenzen hinaus zieht sich als „roter Faden“ durch seinen bisherigen akademischen und beruflichen Werdegang. Sein Einstieg im TAB wird voraussichtlich die Mitarbeit an den neuen TA-Projekten „Inwertsetzung von Biodiversität“ und „Medikamente für Afrika“.

« »

TAB-Bericht zu „E-Petitionen“ im Petitionsausschuss präsentiert

Seit 2006 führt der Petitionsausschuss regelmäßig etwa viermal im Jahr öffentliche Ausschusssitzungen durch, zu denen Petenten eingeladen werden, deren Petition mindestens 50.000 unterstützende Mitzeichnungen erreichten oder die der Petitionsausschuss aus anderen Gründen für eine öffentliche Beratung für geeignet hält. Auf einer solchen Sitzung konnte das TAB-Team am 7. November 2011 die Ergebnisse des auf Anregung des Petitionsausschusses durchgeführten TA-Projekts „Elektronische Petitionen und Modernisierung des Petitionswesens in Europa“ vorstellen, nachdem im Oktober 2011 der gleichnamige TAB-Arbeitsbericht Nr. 146 vom Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung (ABFTA) ohne Präsentation abgenommen und die Veröffentlichung als Bundestagsdrucksache vereinbart wurde. Projektleiter Ulrich Riehm präsentierte ausgewählte Ergebnisse der drei Untersuchungsschwerpunkte des Projekts. Er stellte die wichtigsten Ergebnisse der umfassenden empirischen Evaluation des Petitionsverfahrens des Deutschen Bundestages vor und ging insbesondere auf die seit 2005 eingeführten „Öffentli-

chen Petitionen“ ein. Neben dem Überblick über die Erhebung zu den Modernisierungstendenzen im Petitions- und Ombudswesen bei den 27 Mitgliedstaaten der Europäischen Union sowie der Schweiz und Norwegen erläuterte er abschließend einige Besonderheiten der Länderstudie zum Petitions- und Ombudswesen in Großbritannien.

Es schloss sich eine lebendige Diskussion mit den Abgeordneten des Petitionsausschusses an. Die Ausschussvorsitzende, Kersten Steinke, MdB, bedankte sich abschließend für die gute Zusammenarbeit mit dem TAB und hob besonders hervor, dass das TAB-Team die im Bericht enthaltenen Handlungsoptionen mit ihrem „Für und Wider“ diskutierte, was die eigene Meinungsbildung der Abgeordneten gut unterstütze. Die Ausschusssitzung wurde im Parlamentsfernsehen im Internet übertragen und kann aus der Mediathek des Deutschen Bundestages weiterhin abgerufen werden (<http://dbtg.tv/cvid/1404528>).

« »

Weitere TAB-Berichte im Bundestag

Der TAB-Arbeitsbericht Nr. 144 „Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme“ ist als BT-Drs. 17/6904 erschienen.

« »

Neue Veröffentlichungen

TAB-Arbeitsbericht Nr. 146 „Elektronische Petitionen und Modernisierung des Petitionswesens in Europa“ (Juni 2011; Verfasser: Ulrich Riehm, Knud Böhle, Ralf Lindner)

Nachdem das TAB bereits 2008 einen ersten Bericht zum Thema elektronische Petitionen vorgelegt hatte, der sich insbesondere mit dem Modellversuch „Öffentliche Petitionen“ des Deutschen Bundestages beschäftigte, stehen im Mittelpunkt des TAB-Arbeitsberichts Nr. 146 die Weiterent-

wicklung der E-Petitionsplattform des Deutschen Bundestages sowie andere nationale Petitionsverfahren in Europa. Dabei wird der Frage nachgegangen, wie sich die Funktionsweise, die Nutzung sowie die Bewertung der E-Petitionsplattform des Deutschen Bundestages nach einer ersten grundlegenden Modernisierung im fünften Jahr ihres Betriebs entwickelt haben. Dazu wurden u. a. umfangreiche Befragungen von Petenten durchgeführt. Außerdem interessierte, wie sich das nach Ansicht des TAB erfolgreich etablierte Onlineverfahren des deutschen Petitionsausschusses im Vergleich zu entsprechenden Aktivitäten in Europa einordnen lässt. Dazu wurde eine umfangreiche Erhebung zu den parlamentarischen Petitions- und Ombudsstellen in den 27 Mitgliedsländern der EU sowie Norwegen und der Schweiz und außerdem eine gesonderte Länderstudie zum Petitions- und Ombudswesen in Großbritannien, einschließlich Schottland und Wales, durchgeführt. Der Bericht enthält eine Fülle von konkreten Verbesserungsvorschlägen für das derzeitige Petitionsverfahren und diskutiert drei weitergehende, mittelfristige Entwicklungsoptionen mit ihren Vor- und Nachteilen für das Petitionswesen des Deutschen Bundestages:

- die generelle Öffentlichkeit von Petitionen,
- die Einführung einer nationalen parlamentarischen Ombudsstelle für persönliche Beschwerden und
- die Fortentwicklung des Petitionswesens in Richtung eines Instruments direkter Demokratie.

Der TAB-Arbeitsbericht Nr. 146 kann beim TAB-Sekretariat angefordert werden.



Arnold Sauter, Katrin Gerlinger: Der pharmakologisch verbesserte Mensch. Leistungssteigernde Mittel als gesellschaftliche Herausforderung. Berlin: edition sigma 2012 Bd. 34, ISBN 9783836081344, 310 S., 27,90 Euro

Seit einiger Zeit wird diskutiert, ob die gezielte „Verbesserung“ menschlicher Fähigkeiten durch pharmakologische Substanzen – meist unter dem Begriff „Enhancement“ gefasst – eine wünschenswerte Aufgabe der modernen Biowissenschaften ist. Zugleich sind Veränderungen der Arzneimittelnachfrage und -nutzung (Lifestyle-Medikamente) sowie der lauter werdende Ruf nach einer „wunscherfüllenden Medizin“ zu registrieren. Dieses Buch bietet die bislang umfassendste Darstellung zum Stand der Möglichkeiten, mentale Leistungen pharmakologisch zu beeinflussen, sowie zur arznei-, lebensmittel- und gesundheitsrechtlichen Regulierung entsprechender Substanzen. Orientiert an einer systematischen Auswertung sozialwissenschaftlicher Erkenntnisse zur Dopingproblematik im Leistungs- und Breitensport beschreiben die Autoren mögliche zukünftige Dynamiken der Medikamentennutzung in Beruf und Alltag. Sie betrachten den „pharmakologisch verbesserten Menschen“ nicht als unaufhaltsame Zukunftsvision, sondern diskutieren mögliche Konsequenzen einer weiteren Medikalisierung der Gesellschaft für das Gesundheitssystem sowie Auswirkungen auf die individuellen Kompetenzen zur Problembewältigung in Alltags- und Arbeitssituationen.

Die englischsprachige Übersetzung der Buchpublikation ist in Vorbereitung.



STOA-NEWS

New STOA Project on Cloud Computing and Social Networks

As of 15th of April a new STOA project on the “Potential and Impacts of Cloud Computing Services and Social Network Sites” has been launched by ETAG. The project is scheduled to run until December 2013. The project will incorporate and assess the key findings and conclusions of the relevant research conducted in the field of Cloud Computing services and Social Network Websites. Based on the results of this research, options will be developed that are relevant for actions of European decision-makers. The project team is made up of colleagues from the Danish Board of Technology, the Austrian Institute of Technology Assessment, ITAS and Fraunhofer ISI, the latter as the leading partner.

Cloud Computing

The project will analyze the technological, economic and legal foundations of cloud computing. In order to shape the understanding of cloud computing it will also be necessary to research and analyze the evolution of cloud computing technologies and concepts, since the idea behind it has a rather long tradition that can be traced back to the 1960s. Based on the analysis of technical features and requirements, the project aims at identifying driving factors for the diffusion of Cloud Computing services. Different layers of services will be distinguished, making the difference between basic infrastructure layers (such as Google Docs for instance) and value added services that can be added on top of it (such as document management for business).

The main task of the project will be to analyze possible economic and social impacts of cloud computing. Impacts considered are e.g. the direct impacts of cloud computing on the IT services, and on the software and Internet markets and industry in Europe as well as the impacts on existing structures of the industry, especially with regard to the business models of FLOSS (Free/Libre Open Source Software) or proprietary producers.

Direct impacts on private businesses, public authorities, the science and innovation system, and private households will be considered as well. The project will finally deal with questions related to privacy and security threats including their legal aspects. In three strands the project will address the problems of customer rights related to the use of cloud services, the challenges to governance arising from it as well as technical aspects of security, privacy, and intellectual property/copyright protection in cloud computing services.

Social Network Websites

Given the specific context and issues of Social Network Websites, this topic will be treated in an extra module. As a first step the module will review the different types of Social Network Websites, focusing on traditional global open social networks such as Facebook, LinkedIn, XING, on the one hand, and on the VZ group, on the other. The focus will be on identifying the demands, motivations and risks for or of the intensive use of Social Network Websites especially by younger people. Building upon this review of cultural and social factors, the module will analyze legal implications arising from that situation. In further steps, technological and economic factors like different types of business models (membership, data exploitation, in-shop concepts, etc.) or alternative technological approaches like Diaspora will be researched, as well as questions related to security, privacy, and the protection of intellectual property/copyright in SNS. As an emerging segment of social network websites, the project will also address restricted business-oriented social networks like Yammer, Communote and other services categorized as enterprise software. The underlying functions like microblogging, networking and collaboration are essential parts of the Enterprise 2.0 (E2) concept, which evolved in the mid of the 2000s. The basic idea of E2 was to exploit the benefits of social software for improving communication and collaboration within enterprises. In the following several enterprises like, for example, BT (British Telecom) as an early adaptor implemented own solutions. Also many enterprise software developers like IBM, SAP or Oracle subsequently started to implement features in their own systems. In the recent years,

enterprises like Yammer or Communote appeared offering solutions as web-based services that address two major challenges: firstly, the need of especially small and medium sized companies which are not able or willing to implement enterprise systems offered by IBM, SAP or others and, secondly, they also addressed the limitations of such systems which hamper the integration of suppliers or customers using different systems.

Contact

Michael Friedewald

E-mail: michael.friedewald@isi.fraunhofer.de

Timo Leimbach

E-mail: timo.leimbach@isi.fraunhofer.de



European Parliamentary Technology Assessment (EPTA)

The EPTA Partners advise parliaments on the possible social, economic and environmental impact of new sciences and technologies. The common aim is to provide impartial and high quality accounts and reports of developments in issues such as for example bioethics and biotechnology, public health, environment and energy, ICTs, and R&D policy. EPTA aims to advance the establishment of technology assessment as an integral part of policy consulting in parliamentary decision-making processes in Europe, and to strengthen the links between TA units in Europe.

The EPTA network was formally established in 1990 and has a light structure, guided by the EPTA Council and by meetings of the Directors of the EPTA partner organisations. The members of the EPTA network are European organisations, which carry out TA studies on behalf of parliaments. EPTA can decide to make “common EPTA projects”, in which EPTA members and associates can join forces and make trans-European TA activities. The project is decided on a Directors’ meeting or Council Meeting after being contested by the boards of the members. The outcome of an EPTA project is the sole responsibility of the participating members.

For more information and a list of all members see <http://eptanetwork.org/about.php>.

Information about ITAS

The Institute for Technology Assessment and Systems Analysis (ITAS) is a research facility of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). It is assessing technological impacts and comprehensive systemic interrelations of societal transformation processes and developments in science, technology, and the environment. The orientation of research and technology policy, the influence on the design of socio-technological systems and the realization of discursive processes on open and controversial questions on technology policy are some of the most important objectives. Parliaments and governments are the main addressees of this policy advice. The results of research and policy advice are publicly available. Regarding the object of research, work in ITAS is problem-oriented, it is organized in the form of projects and the individual research disciplines are interdisciplinary. ITAS covers the whole spectrum of systems analysis and technology assessment for policy advice and technology design with its scientific, methodological, and procedural competences. Comprehensive analyses of societal problems and technological systems generally require a combination of various analytical processes which have to be coordinated for each individual project. More information about ITAS see <http://www.its.kit.edu/english/index.php>.



Jahrestreffen 2011

Das Jahrestreffen des Netzwerks Technikfolgenabschätzung (NTA) fand am 21. November 2011 im Zentrum Technik und Gesellschaft (ZTG) der TU Berlin statt. Das Koordinationsteam berichtete über die Aktivitäten des vergangenen Jahres und die Planung der NTA5 (siehe Ankündigung unten). Die Arbeitsgruppe „IuK“ berichtete unter anderem von einem DFG-Antrag für ein TA-Fachportal (der Ende Januar 2012 genehmigt wurde). Das Netzwerktreffen wurde abgerundet mit der Vorstellung des EU-Projekts PACITA (Parliaments and Civil Society in Technology Assessment), an dem einige institutionelle Mitglieder des NTA beteiligt sind und das darüber hinaus für die „TA-Gemeinde“ interessant ist, da es die stärkere Verbreitung insbesondere parlamentarischer TA-Ansätze in Europa zum Ziel hat.

Workshop der AG „Governance“

Der Workshop „Theorie und Praxis von Technology Governance. Fragestellungen und Erkenntnisse aktueller Forschung im Kontext Technology Assessment und Governance“, organisiert von der Arbeitsgruppe „TA und Governance“ des NTA und namentlich von Stephan Bröckler, Petra Schaper-Rinkel und Claus Seibt, fand im Anschluss an das Jahrestreffen ebenfalls im ZTG statt. Ein Bericht zu dem Workshop findet sich in dieser Ausgabe von TATuP (Rubrik Tagungsberichte).

TRANSDISS verlängert

Das Doktorandenprojekt „Disziplinäre Forschung in der Transdisziplinarität. Dissertationen in der Technikfolgenabschätzung“ (TRANSDISS) wurde seitens des Bundesministeriums für Bildung und Forschung verlängert. Doktorandinnen und Doktoranden, die sich im Bereich der Technikfolgenabschätzung mit transdisziplinä-

ren Fragestellungen befassen, sind herzlich eingeladen, sich zu bewerben.

NTA5 – Die fünfte Konferenz des Netzwerks TA findet in der Schweiz statt

„Vordenken – mitdenken – nachdenken. Technikfolgenabschätzung im Dienst einer pluralistischen Politik“ ist der Titel der 5. Tagung des NTA, die vom 29. bis 31. Oktober 2012 in Bern stattfinden wird. Integriert in das Tagungsprogramm ist auch die Jubiläumsfeier 20 Jahre TAsWISS. Der Call for Abstracts endet am 29. Mai 2012. Der Text des Calls **beginnt mit einem Zitat**: „Was einmal gedacht wurde, kann nicht mehr rückgängig gemacht werden“, schreibt Friedrich Dürrenmatt in „Die Physiker“ und weiter: „Was alle angeht, können nur alle lösen“. Gesellschaftlicher Kernauftrag der politikberatenden Technikfolgenabschätzung ist es, intendierte und nicht intendierte Folgen, Chancen und Risiken neuer Technologien bzw. technischer Neuerungen frühzeitig zu erkennen und zu untersuchen.

Diese TA betreibt ihre Aufgabe nicht als Selbstzweck: Die (unvoreingenommenen und wissenschaftsbasierten) Ergebnisse ihrer Auseinandersetzungen sollen politischen Entscheidungstragenden als Grundlage dienen, um technologiepolitische Weichen so zu stellen, dass die Gesellschaft daraus den größtmöglichen Gewinn zieht und den kleinstmöglichen Schaden erleidet. Die TA zeigt Fakten auf, entwickelt Leitbilder und normative Konzepte mit, untersucht Nutzungs- und Wirkungskontexte von neuen Technologien, unterstützt innovations- und lösungsorientierte Strategien, orientiert Entscheidungstragende und die Öffentlichkeit, liefert Argumente, formuliert Empfehlungen, versachlicht Debatten und Kontroversen. Die Verantwortung für die Konfliktlösung liegt auf politischer und gesellschaftlicher Ebene.

Sollte Ihr Interesse geweckt sein, finden sie hier den Link: <http://www.netzwerk-ta.net/termin.htm#desNTA>.

« »

VERANSTALTUNGEN

Eine umfangreichere und regelmäßig aktualisierte Liste von Veranstaltungen, die für die Technikfolgenabschätzung interessant sein könnten, befindet sich auf der ITAS-Website unter „TA-Veranstaltungskalender“ (<http://www.itas.fzk.de/veranstaltung/inhalt.htm>).

18.-20.7.2012	Workshop Relocating Science and Technology – Global Knowledge, Traveling Technologies and Postcolonialism – Perspectives on Science and Technology Studies in the Global South Max Planck Institute for Social Anthropology	Halle
9.-13.9.2012	21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication Robots and Human in Daily Life: Scientific, Technical, Ethical, Legal and Economic Issues, Safety of Interaction, Collaborative Environment, Evaluation and Interest ENSAM - Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers http://www.ro-man2012.org/ro-man-2012-145610.kjsp?RH=1326100320468&RF=1325771379429	Paris (FR)
21.-23.9.2012	International Conference 2012 Challenging Philosophy: Interdisciplinary Problems and Disciplinary Philosophy Philosophy of / as Interdisciplinarity Network (PIN) http://pin-net.gatech.edu/international_conference_2012.php Contact: Jan C. Schmidt, email: jan.schmidt@h-da.de	Tübingen
27.-28.9.2012	Workshop Wissenschaftskommunikation, Utopien und Technikzukünfte Institut für Literaturwissenschaft am Karlsruher Institut für Technologie und Institut für Zukunftsorientierte Kompetenzentwicklung an der Hochschule Bochum http://hsozkult.geschichte.hu-berlin.de/termine/id=19527 Kontakt: Andreas Metzner-Szigeth, E-Mail: andreas.metzner-szigeth@hs-bochum.de	Karlsruhe
3.-5.10.2012	Research Conference Reckoning with the Risk of Catastrophe Deutsche Forschungsgemeinschaft und U.S. National Science Foundation http://dfg-nsf2012.mit.edu/	Washington, DC (US)
5.-6.10.2012	2012 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change Evidence for Sustainable Development Environmental Policy Research Centre, Free University of Berlin http://www.berlinconference.org/2012/	Berlin
17.-20.10.2012	Conference EASST 2012 Design and Displacement – Social Studies of Science and Technology Copenhagen Business School with the Society for Social Studies of Science (4S) http://4sonline.org/meeting	Copenhagen (DK)
22.-25.10.2012	Conference S.NET 2012 The Society for the Study of Nanoscience and Emerging Technologies (S.NET) http://www.utwente.nl/igs/conference/2012_snet_conference/	Twente (NL)
29. - 31.10.2012	5. Tagung des Netzwerks Technikfolgenabschätzung Vordenken - mitdenken - nachdenken. Technikfolgenabschätzung im Dienst einer pluralistischen Politik Netzwerk TA und TA-SWISS http://www.itas.fzk.de/veranstaltung/Call_NTA5_Jubiläum_TA-SWISS.pdf	Bern (CH)

IMPRESSUM

Herausgeber:

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Technikfolgenabschätzung
und Systemanalyse (ITAS)
Campus Nord
Karlstraße 11
76133 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 68 93
Fax: +49 (0) 7 21 / 6 08 - 2 48 06
E-Mail: TATuP@itas.kit.edu
peter.hocke@kit.edu
URL: <http://www.itas.kit.edu>

Redaktion:

Dr. Peter Hocke-Bergler
Prof. Dr. Armin Grunwald
Constanze Scherz
Sylke Wintzer

Redaktionsbüro:

Gabriele Petermann

ISSN 1619-7623

TATuP-Beiträge können mit Quellenangabe frei nachgedruckt werden. Eine kommerzielle Verwertung von TATuP-Beiträgen kann nur nach Absprache mit der Redaktion gestattet werden.

Die *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* erhalten Sie kostenlos bei der Redaktion.
Nachdruck mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten.
Gedruckt auf 100 % Recycling-Papier.

Die Zeitschrift „Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis“ erscheint parallel als gedruckte und elektronische Version. Die elektronische Version findet sich unter: <http://www.itas.fzk.de/deu/tatup/inhalt.htm>